

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

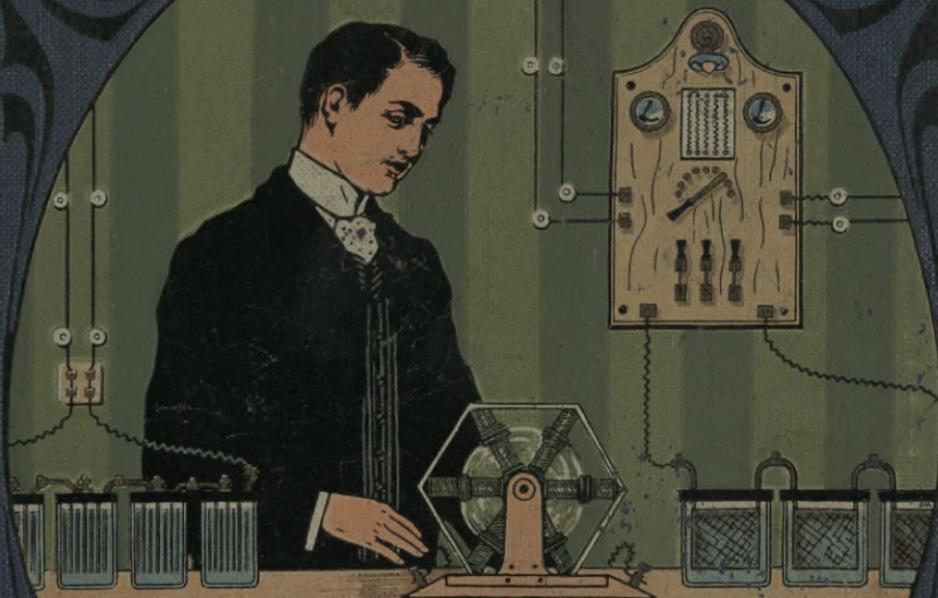
BIBLIOTEKA GŁÓWNA

1

L. inw.

712

SCHNETZLER.



Elektrotechnisches
Experimentierbuch.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296199



Arthur Schuster

Elektrotechnisches Experimentierbuch

Eine Anleitung zur Ausführung elektrotechnischer
Experimente unter Verwendung einfachster, meist
□ selbst herzustellender Hilfsmittel. □

Von **Eberhard Schnetzler.**

Mit 250 Abbildungen.

Sechszwanzigste Auflage.



Stuttgart, Berlin, Leipzig.
Union Deutsche Verlagsgesellschaft.

*10 + 1/3
67.*

Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung wie der sämtlichen
im Werke mitgeteilten Original-Konstruktionen vorbehalten.



I 712

Druck und Copyright 1909 der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Akc. Nr. 4442/50



Bei der Ausarbeitung vorliegenden Buches war ich erstens bestrebt, eine klare Anleitung zur Ausführung von Experimenten zu geben; zweitens sollten die physikalischen Vorgänge soweit wissenschaftlich erklärt werden, als es dem Zwecke des für die Jugend bestimmten Buches entsprechen konnte; drittens habe ich dem Umstande Rechnung getragen, daß unsere jungen Physiker sich oft mit sehr geringen Mitteln begnügen müssen; ich habe deshalb bei jedem Kapitel eine eingehende Beschreibung der Selbstherstellung der nötigen Apparate gegeben und auch hierbei wieder keine zu großen Anforderungen an den Besitz von Werkzeugen oder gar Werkzeugmaschinen gestellt. Diese Anleitungen sind die Ergebnisse praktischer Erfahrungen; nach Möglichkeit habe ich ungeprüfte Ideen vermieden, da sie fast nie einer wirklichen Ausführung entsprechen.

Um den drei Teilen: Anfertigung der Apparate, Ausführung der Experimente und theoretische Erklärung derselben durch das ganze Buch hindurch einen inneren Zusammenhang zu geben, erkläre ich in erzählender Form, wie sich ein Knabe, Rudi, Apparate herstellt für Experimentalvorträge, die er vor einem Auditorium von Verwandten hält, wie er in diesen Vorträgen die Experimente ausführt, und wie er die Vorgänge erklärt. Was sich in diese Form nicht einpassen ließ, aber dennoch nicht fehlen durfte, ist in einem Anhange nachgetragen.

Ich kann dem jungen Leser nichts näher ans Herz legen, als durch Abhalten kleiner Vorträge sich selbst in

seiner Liebhaberwissenschaft zu prüfen; denn: docendo discimus. Ein zweiter Vorteil ist hierbei auch der Umstand, daß man gezwungen ist, auf ein bestimmtes Ziel hinzu- arbeiten; das Experimentieren des jungen Physikers verliert dann den Charakter der gedankenlosen Spielerei, den es sonst so oft trägt, und macht seine Arbeit zu einer angenehmen, unterhaltenden, aber dennoch ernstern und Nutzen bringenden.

Da die ersten Auflagen des Buches bei den jungen Physikern so großen Anklang gefunden haben, sah ich mich veranlaßt, das Buch einer erneuten Durchsicht zu unter- ziehen. Nur wenig, das sich als überflüssig zeigte, konnte gestrichen werden, dafür mußte Neues, Wichtigeres an die Stelle treten. Auch mußten manche älteren Versuchsan- ordnungen durch neuere ersetzt werden, entsprechend den Fortschritten der Physik und Elektrotechnik. Auch wurde der Bau einiger Apparate neu beschrieben.

Eberhard Schnetzler.

Inhalt.

	Seite
1. Vortrag. Reibungs- und Influenzelektrizität	1
2. Vortrag. Der galvanische Strom	55
3. Vortrag. Die praktische Anwendung des elek- trischen Gleichstroms	112
4. Vortrag. Induktions- und Wechselströme	157
5. Vortrag. Von der Geißler- zur Röntgenröhre	209
6. Vortrag. Elektrische Schwingungen	230
Anhang	274
Telephonanlage	274
Rheostat	286
Taschenakkumulator	291
Universal-Volt-Ampere-Meter	294
Elektroskop	306
Anlage für Funken-telegraphie	307
Anfertigung eines Gewichtmotors	311
Bohren von Glas	314
Betrachtungsspiegel bei Vorträgen	314
Drahtmaße	315
Alphabetisches Sachregister	316
Verzeichnis der Abbildungen	320



Es war ein schwüler, heißer Sonntagnachmittag, als unser Rudi in seinem Dachkammerchen, das er sich zur Werkstätte eingerichtet hatte, unwillig die Werkzeuge beiseite legte: „Heute ist es da oben zu heiß,“ seufzte er und ging hinunter in die Wohnung, um zu sehen, was denn seine Geschwister machten. Er hatte noch zwei ältere Schwestern und einen jüngeren Bruder; er fand sie alle drei beisammensitzen und sich eifrig damit beschäftigen, eine Siegellackstange zu reiben und dann damit kleine Papierschnitzelchen anzuziehen. Mit einiger Selbstgefälligkeit fragte er, ob sie denn überhaupt wüßten, was sie da machten, und woher das käme, daß diese Papierschnitzel von dem geriebenen Siegellack angezogen würden. „Ja, der Siegellack wird elektrisch, und die Elektrizität zieht an,“ meinte eine der Schwestern. Ob dieser naiven Erklärung lachte Rudi seine Schwester aus, die ihm nun erwiderte: „Wenn du alles Elektrische so gut verstehst, so könntest du uns auch ab und zu etwas davon erklären; aber du sitzest den ganzen Tag in deiner Dachkammer und läßt uns nichts wissen und nichts sehen von deinen Experimenten.“ — „Und wenn man einmal hinaufkommt,“ meinte die jüngere Schwester, „dann sieht man überall mit großen Buchstaben geschrieben: ‚Berühren gefährlich‘, oder ‚Vorsicht, geladen‘, oder ‚Gift‘; man traut sich kaum, etwas anzusehen.“ — „Ja, das ist gar nicht schön von dir,“ fiel der kleine Karl ein, und nun entspann sich ein kleiner Streit zwischen den Kindern, in dem Rudi angeschuldigt wurde, daß er seine Geschwister vernachlässige. Da kam zur rechten Zeit die Mutter dazwischen und schlichtete den Streit. Sie machte nun Rudi den Vorschlag, er solle in einer Reihe von kleinen Experimental-

vorträgen sie über die Geheimnisse seiner Spezialwissenschaft belehren.

Das war für Rudi ein neuer Gedanke, der ihn nun ganz fesselte. Er ging gleich auf seine „Bude“, wie er sein Zimmer nannte, setzte sich in den bequemsten Stuhl und besann sich, über was er seinen ersten Experimentalvortrag halten und wen er dazu einladen sollte.

Da er ein kluger und ruhig überlegender Kopf war, so hielt er es für das beste, mit dem Einfachsten anzufangen. „Reibungs- und Influenzelektrizität,“ meinte er, „das wird wohl reichen für einen Vortrag.“ Da kam ihm aber ein Bedenken: er hatte ja gar nicht genug Apparate für einen solchen Vortrag; aber auch das war schließlich kein Hinderungsgrund für einen Jungen, der dem Grundsatz huldigte: „Hat man keines, so macht man eines.“ Er stellte sich also zusammen, was er an Apparaten schon habe, und was er sich noch machen müsse.

Eine Reibungselektrifiziermaschine, ein Elektrophor, ein Elektroskop und zwei Leidener Flaschen hatte er sich schon hergestellt; es fehlten ihm nur noch eine Influenzelektrifiziermaschine und einige zur Demonstration besonders geeignete Apparate. So brauchte er zwei genügend große Gestelle zum Aufhängen von elektrischen Pendeln und einen sogenannten Konduktor, um die elektrische Verteilung zeigen zu können, ferner einen Apparat zum Nachweis der ausschließlich oberflächlichen Verteilung der Elektrizität auf Leitern. Außerdem wollte er auch zeigen, daß die Elektrizität Wärme erzeugen könne; auch hierzu mußte er sich einen geeigneten Apparat machen, und die Franklinsche Tafel durfte natürlich nicht fehlen.

Wir wollen nun zunächst sehen, wie Rudi sich die Reibungselektrifiziermaschine und die Leidener Flaschen hergestellt hat und wie man sich die übrigen Apparate mit einfachen Mitteln ohne große Kosten herrichten kann.

Glas, Hartgummi, Holundermark. Eine rote Siegellackstange, einen Hartgummistab, der aber auch durch einen Hartgummifamm oder -federhalter ersetzt werden kann, sowie einen Glasstab und einige Holundermarkkügeln muß man sich kaufen.

Glas und Hartgummigegenstände beschafft man sich am besten und sichersten bei einem Mechaniker. Das Holundermark kann man auch selbst gewinnen: Im Winter sammelt man einige starke einjährige Triebe und macht das Mark durch Abspalten des Holzes frei. Mit einem scharfen Messer werden die Kügelchen roh geschnitzt und schließlich durch Rollen zwischen den Händen schön rund gemacht.

Seide.

Außerdem brauchen wir eine Anzahl guter Seidenfäden. Nicht alle Sorten sind gleich gut, da sehr oft das zum Färben verwandte Pigment metallhaltig ist. Die äußere Seidenumspinnung der elektrischen Leitungsfchnüre (meist grün) ist ziemlich zuverlässig; man wickelt davon einen Strang, etwa 30 bis 40 cm, ab und auf ein Stückchen Karton auf.

Elektrisches Pendel.

Zwei Gestelle für die elektrischen Pendel werden folgendermaßen hergestellt: Man richtet sich ein kreisrundes Brettchen von 10 cm Durchmesser und 1 cm Dicke, rundet die Kanten mit Feile und Glaspapier ab und klebt auf die Unterseite an drei Stellen nahe dem Rande je ein 3 bis 4 mm starkes Korkscheibchen fest. Aus 2 mm starkem Eisen- oder besser Messingdraht biegen wir nun einen Bügel, dessen Maße, Form und Befestigungsart wohl zur Genüge aus Abb. 1 hervorgehen.

Verwendung von Messing.

Es sei an dieser Stelle gleich noch einiges über die Verwendung von Messing gesagt. Messing ist nicht gerade billig und kann wohl meistens durch Eisen ersetzt werden. Da es sich aber viel

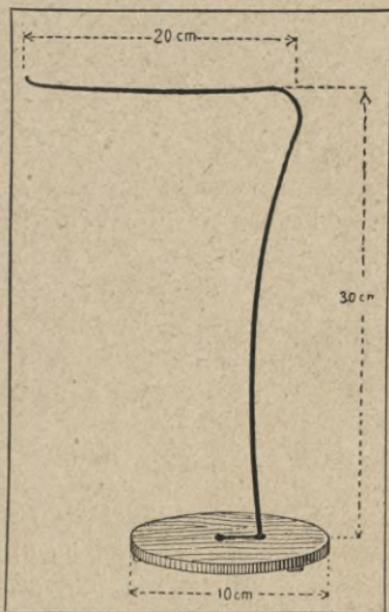


Abb. 1. Gestell zum elektrischen Pendel.

leichter bearbeiten läßt als Eisen und nicht rostet, so wird man es in den meisten Fällen diesem vorziehen. Außerdem sind die blanken Messingteile an physikalischen Apparaten viel schöner; sie sind leicht zu reinigen und machen dann durch ihren Glanz einen erfreulichen, sauberen Eindruck. Eisen darf oft wegen seiner magnetischen Eigenschaften gar nicht verwendet werden.

Elektrophor.

Elektrophore können auf sehr verschiedene Arten hergestellt werden; es sei hier nur eine angegeben; die Anfertigung erfordert einige Aufmerksamkeit, sichert aber schließlich ein zweifellos gutes Ergebnis.

Wir machen uns aus starkem Papier, etwa Packpapier, einen Luchtenblechförmigen Behälter, 20 bis 30 cm im Durchmesser, 1 bis 1,5 cm hoch. Während der Boden nur eine

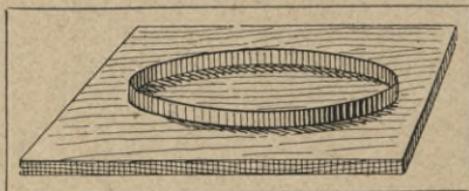


Abb. 2. Form zum Elektrophor.

Lage stark zu sein braucht, muß das Papier für den Rand mindestens fünffach genommen werden. Zum Gießen muß die Form auf eine ebene Unterlage ge-

stellt werden, und der Boden darf keine Falten werfen. — Eine bessere Form erhält man, wenn man auf ein völlig ebenes und glattes Brett ein kreisrundes, ziemlich starkes und völlig glattes Stanniolblatt legt und darum herum einen Papierrand wie oben aufklebt (Abb. 2).

Die Herstellung der Masse erfordert nun einige Sorgfalt: Wir wägen 5 Teile (ca. 250 g) ungebleichten Schellack, 1 Teil Terpentin und 1 Teil Wachs ab. In einer reinen Pfanne werden zuerst über mäßigem Feuer das Wachs und das Terpentin zusammengeschmolzen; dann wird bei stärkerer Hitze und unter ständigem Umrühren mit einem Glasstabe der Schellack ganz langsam in kleinen Portionen zugegeben; man warte mit der folgenden Portion jeweils so lange, bis die vorausgegangene völlig vergangen ist. Ist so aller Schellack zusammengeschmolzen, so nimmt man das Gefäß vom Feuer und läßt es ein paar Minuten ruhig stehen. Zum Gusse muß die Form ein wenig angewärmt

und völlig eben gestellt worden sein. Darauf wird die Masse langsam eingegossen und die etwa entstehenden größeren Luftblasen werden mit dem Glasstabe beseitigt. Ist alle Masse eingelaufen und gleichmäßig verteilt, so darf sie vor dem völligen Erkalten nicht mehr berührt werden. Am sichersten ist es, man läßt sie 5 bis 6 Stunden stehen; nun wird der Papierrand abgerissen, und etwa zurückbleibende Papierreste werden mit kaltem Wasser abgewaschen. Der Stanniolbelag auf dem Boden wird sorgfältig abgezogen, und die Kanten rundet man mit Messer und Feile säuberlich ab. Zum Gebrauche nehme man die Seite nach oben, welche beim Gusse unten war.

Den Deckel für das Elektrophor kann man auf verschiedene Arten herstellen. Er soll im Durchmesser etwa 3 cm kleiner sein als der Kuchen und kann aus Messing-, Kupfer- oder Zinkblech gefertigt werden: man schneidet eine kreisrunde Scheibe und wölbt durch Hämmern den Rand etwas nach oben, doch achte man sehr darauf, daß die Scheibe selbst völlig eben bleibe. In der Mitte der Scheibe wird ein Stückchen Messingrohr mit etwa 1 cm lichter Weite aufgelötet und in dieses ein Glasstab eingekittet.

Schellackkitt.

Als Kitt kann gewöhnlicher roter Siegelack verwendet werden; besser, aber etwas schwieriger herzustellen ist der Schellackkitt: Man gibt in einen großen Blechlöffel oder in ein kleines Pfännchen etwa drei Teelöffel Schellacklösung — Schellack wird in Weingeist gelöst — und stellt das Gefäß auf einem großen Eisenblech, welches das Entzünden der Masse verhindern soll, über die Flamme eines Bunsenbrenners.

Sobald die Lösung heiß geworden ist, wird ungelöster Schellack beigegeben, und zwar so viel, bis eine dickflüssige Masse entstanden ist. Dann gießt man noch einige Tropfen Spiritus zu, rührt mit einem Glasstab um, zündet die Masse an, bringt sie brennend an die zusammenzukittenden Teile, die schon vorher etwas angewärmt werden mußten, und bläst dann sofort die Flamme aus; man hat nun noch Zeit, die einzelnen Teile in die richtige Stellung zueinander zu bringen; war das Verhältnis von geschmolzenem und gelöstem Schellack richtig, so ist der Kitt nach 12 bis

24 Stunden hart und ohne spröde zu sein derartig fest, daß an ein Trennen der zusammengekitteten Teile nicht mehr zu denken ist. Dieser Kitt erträgt sogar eine ziemlich hohe Temperatur, ohne weich zu werden.

Prüfung der Isolierfähigkeit des Glases.

Zum Griff läßt sich nicht jedes Glas gleichgut verwenden, da manche Sorten schlecht isolieren. Um die Isolierfähigkeit von Glas zu prüfen, verfährt man folgendermaßen: Man hängt an zwei leinenen Fäden je ein Holundermarkkügelnchen auf und befestigt die Fäden an der Glasstange. Das Glas muß vorher gründlich gereinigt, dann mit destilliertem Wasser und endlich mit Weingeist abgewaschen werden. Ladet man nun die beiden Kügelnchen durch Berühren mit einer geriebenen Siegellackstange negativ elektrisch, so stoßen sie sich ab und dürfen bei trockenem Wetter während der ersten 20 Minuten sich nur wenig nähern, wenn das Glas als ein hinreichend guter Isolator gelten soll. Zuverlässiger ist die Prüfung mit dem Elektroskop, das auf Seite 9 beschrieben ist. Man ladet das Elektroskop und beobachtet, wie weit die Blättchen in einer bestimmten Zeit zusammengehen; dann ladet man wieder bis zum gleichen Ausschlag und berührt mit dem Glasstab, den man fest in der Hand hält, den Knopf des Elektroskopes; gehen jetzt die Blättchen rascher zusammen, als das erste Mal, so ist das Glas kein guter Isolator.

Wir können uns auch noch auf eine etwas einfachere Art einen Elektrophordeckel herstellen: Wir überziehen eine Scheibe aus starker Pappe sorgfältig mit Stanniol, das wir mit dem Eiweiß eines ungekochten Eies aufleimen. Als Griff verwenden wir hierbei drei Seidenfäden, die wir am einen Ende zusammenknüpfen; die drei freien Enden werden an der Pappescheibe befestigt.

Konduktor.

Abb. 3 zeigt den Konduktor; er besteht aus einem viereckigen Brettchen (a), das an den Ecken mit Korkstollen versehen ist, aus dem Glasfuß (b), der mit Siegellack in ein entsprechendes Loch des Grundbrettes eingekittet ist, und dem oberen, metallenen Teil; diesen stellen wir uns aus einer etwa 3 cm weiten und 15 cm langen Messingröhre her (c). Nun beschaffen wir

uns zwei messingene Herdkugeln (d, d), deren Durchmesser etwa 5 mm größer ist als der der Röhre, und welche so in

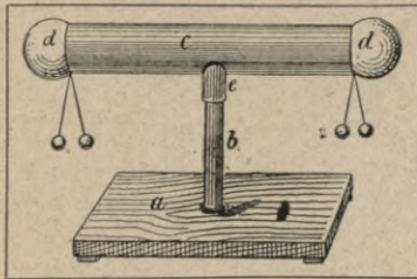


Abb. 3. Konduktor.

diese eingelötet werden, daß die Ansätze der Kugeln nach innen kommen. An der Mitte wird nun noch ein etwa 2 cm langes Messingröhrchen (e) angelötet, in welches das obere Ende des Glasstabes eingefittet wird. Statt Messing zu verwenden,

kann man sich auch den oberen Teil des Konduktors bei einem Drechsler von Holz drehen lassen; dieser Teil wird dann sorgfältig mit Stanniol überklebt, oder mit Graphitstaub eingepinselt und dann galvanisch verkupfert.

Grosse Messingkugeln.

Nun sollten wir noch eine Messingkugel von etwa 7 cm Durchmesser haben; diese sind oft sehr schwer zu beschaffen, aber wir können uns auch hier mit einer mit Stanniol zu überziehenden Holzkugel begnügen. Man kann sich aber auch anders helfen: In jedem Metallwaren- oder Küchengerätegeschäft kann man sich zwei gleichgroße, halbkugelförmige Messingschöpflöffel kaufen, von denen man die meist angenieteten Stiele entfernt, die Nietlöcher zu- und die beiden Halbkugeln aufeinander lötet. Gleichzeitig kauft man sich noch zwei etwas größere Schöpflöffel, die zusammengelegt einen genügenden Hohlraum bilden, um die eben erwähnte Kugel völlig zu umhüllen. Auch hier werden die Stiele entfernt. Die geschlossene Kugel erhält nun noch einen Ansatz von Messingrohr, in den man den Glasfuß einfittet, der wie

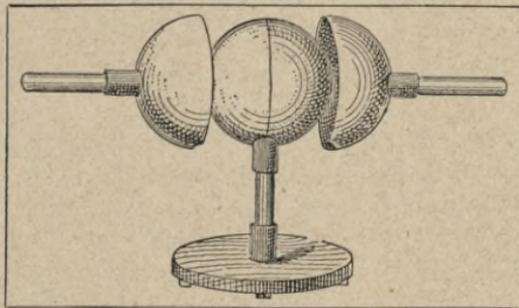


Abb. 4. Messingkugeln für den Konduktor.

Die geschlossene Kugel erhält nun noch einen Ansatz von Messingrohr, in den man den Glasfuß einfittet, der wie

bei dem Konduktor auf einem Holzbrettchen befestigt wird. Die beiden größeren Halbkugeln erhalten, wie das aus der Abb. 4 zu ersehen ist, je einen Glasgriff, der in der üblichen Weise befestigt wird. Da man mit ihnen die Kugel soll völlig umschließen können, so müssen sie da, wo sie den Fuß der Kugel umfassen sollen, je einen halbkreisförmigen Ausschnitt von entsprechender Weite erhalten.

Franklinsche Tafel.

Die Franklinsche Tafel: Eine auf ihre Isolierfähigkeit geprüfte Glas-tafel 30 : 30 cm groß, bekleben wir beiderseits je mit einem 15 : 15 cm großen Blatt Stanniol, so daß ringsherum ein $7\frac{1}{2}$ cm breiter Rand frei bleibt. Auf ein ovales Brett, 30 cm lang, 12 cm breit, nageln wir zwei 2 cm hohe Leistchen auf, die um etwa 2 mm mehr, als die Glasdicke beträgt, voneinander entfernt sind, und kitten die Scheibe in den so erhaltenen Spalt. Nun wird noch der freie Glasrand mit dünner Schellacklösung bestrichen. (Über Schellackbezug siehe bei der Influenzelektrifiziermaschine, Seite 20.)

Leidener Flasche.

Die Leidener Flasche: Bevor wir uns eine solche herstellen, wollen wir sehen, wie wir die guten Glasorten schon äußerlich, so weit als das überhaupt möglich ist, von den schlechten unterscheiden können. Betrachten wir ungefärbte Gläser im durchfallenden Lichte, so erscheinen sie uns meist alle farblos; betrachten wir sie dagegen auf der Schnittfläche, so scheinen die einen grün, die anderen blau, seltener rot oder farblos. Gläser, die auf der Schnitt- oder Bruchfläche bläulich oder rötlich erscheinen, sind von vornherein für elektrische Zwecke unbrauchbar. Grünliches Glas, gewöhnliches Fensterglas, ist oft recht gut; am sichersten geht man mit farblosem; doch unterlasse man auch hier nicht, die zu verwendenden Gläser erst auf ihre Isolierfähigkeit nach der oben angegebenen Methode zu prüfen.

Für Leidener Flaschen, an die keine allzugroßen Anforderungen gestellt werden, kann man gewöhnliche Einmachgläser gut verwenden. Diese werden gründlich gereinigt und zuletzt mit etwas Weingeist abgewaschen. Nun wird das Stanniol zuerst innen, dann außen möglichst blasen- und faltenlos mit Eiweiß aufgeklebt. Wer nicht sehr

gewandt ist, wird gut daran thun, den Belag nicht in einem Stück aufzukleben, sondern in etwa 5 bis 10 cm breiten Streifen. Die Höhe des Belags soll bei kleinen Flaschen $\frac{3}{4}$, bei großen $\frac{2}{3}$ der Gesamthöhe der Flasche betragen. Der oben frei gebliebene Glasrand wird mit einem dünnen Schellacküberzug versehen. Ähnlich wie es nachher beim Elektroskop beschrieben ist, wird hier eine mit einer Messingkugel versehene Metallstange in der Flasche befestigt. Um das untere Ende dieser Stange wird ein aus mehreren Stanniolfstreifen bestehendes Büschel herumgelegt und mit Bindfaden befestigt; die freien Enden dieser Streifen sollen auf dem Boden der Flasche aufliegen.

Wir können uns auch aus großen Reagenzgläsern eine große Anzahl kleiner Leidener Flaschen machen und sie zu einer Batterie zusammenstellen, indem wir alle inneren Beläge miteinander verbinden und ebenso alle äußeren.

Elektroskop.

Zur Herstellung eines Elektroskopes brauchen wir eine etwa 10 cm hohe, 7 cm breite, sehr gut isolierende Flasche mit nicht zu engem Hals. Ein etwa 5 mm starkes Messingstängchen wird an einem Ende meißelartig zugeseilt und an das andere Ende wird eine Messingkugel oder ein Blechscheibchen, dessen Rand abgerundet ist, aufgelötet. Nun wird diese Messingstange in ein Glasrohr gesteckt, in das sie aber nur knapp hineingehen soll, und das so lang sein muß, daß nur das zugespitzte Ende frei bleibt. Ein Kork, der gut auf die Flasche paßt, erhält ein Loch, durch das die Glasröhre mit der Messingstange so weit hindurchgesteckt wird, daß das untere Ende der Stange etwa 7 cm vom Boden der Flasche entfernt ist. Aus ganz dünnem Stanniol, oder besser aus unechtem Blattgold schneiden wir uns zwei 4 mm breite, 5 cm lange Streifen, die man übrigens auch von einem Goldschläger vorrätig beziehen kann, und kleben sie mit einer möglichst geringen Spur von Eiweiß so auf den beiden zugespitzten Seiten der Messingstange an, daß sie dicht nebeneinander



Abb. 5. Elektroskop.

und parallel zueinander herunterhängen. Die Arbeit des Aufhängens der Blättchen erfordert vollkommen ruhige Luft; man halte womöglich auch den Atem an. Die Abb. 5 zeigt das fertige Elektrokop. (Über die Herstellung eines feineren Instrumentes siehe im Anhang.)

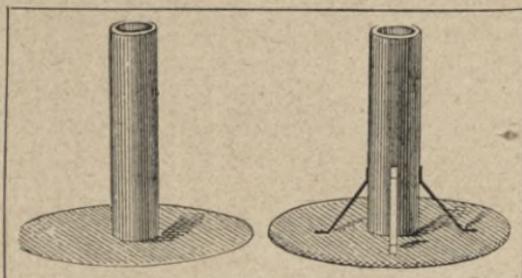
Nun wollen wir sehen, wie sich Rudi seine Reibungs-elektrifiziermaschine mit verhältnismäßig wenig Mitteln hergestellt hat. — Zuerst sah er sich nach einer geeigneten **Reibungselektroskopmaschine.** Scheibe um. Sich eine solche bei dem Mechaniker zu kaufen, war ihm zu teuer. Da er einmal einen alten, schon mehrfach gesprungenen Spiegel in der Gerätekammer gesehen hatte, so fragte er seine Mutter, ob er diesen für seine Zwecke verwenden dürfte, und er erhielt die Erlaubnis. Ein ziemlich großes Stück des Glases war noch unbeschädigt; dies trug er zum Glaser und ließ es sich zu einer runden Scheibe schneiden, die einen Durchmesser von 30 cm bekam.

Er schabte mit einem alten Messer den Quecksilberbelag ab und ging mit der Scheibe zu einem Glasgraveur, um sich ein Loch in die Mitte der Platte bohren zu lassen. Da der Graveur aber keine Gewähr für die Platte übernehmen wollte und sagte, bei dem Bohren springe jede dritte Platte, so besann sich Rudi, wie er diesem Übel abhelfen könnte. Mit Flußsäure ätzen, das wäre ihm bei dem dicken Glase zu langsam gegangen; aber er hatte eine andere Idee: ließe sich denn nicht die Notwendigkeit eines Loches umgehen? Gewiß, und zwar ganz

Befestigung der Achsen an Glasscheiben.

leicht. Triumphiierend über den guten Einfall ging nun Rudi mit seiner Scheibe wieder nach Hause. Hier suchte er zuerst nach einer geeigneten Metallstange oder Röhre für die Achse und fand dann auch ein 20 cm langes und 1,5 cm dickes Stück eines Gasrohres, das er in zwei gleiche Teile auseinandersägte, worauf er die Schnittländer völlig eben feilte. Nun schnitt sich Rudi aus 1,5 bis 2 mm starkem Messingblech zwei 6 cm große Scheiben aus und lötete sie so auf die eben gefeilte Schnittfläche, wie es Abb. 6 zeigt; dabei mußte er besonders

darauf achten, daß die Längsachse des Rohres völlig senkrecht auf der Ebene der Blechscheibe stand; um einem Verbiegen der Blechscheibe gegen die Achse vorzubeugen, lötete er vier 3 mm breite Blechstreifen so an die Scheibe einerseits und an dem Rohr andererseits an, wie dies in Abb. 7 zu erkennen ist. Den Rand der Blechscheibe krümmte er mit einer Flachzange etwas von der Achse weg um, wie dies ebenfalls

Abb. 6. Angelötete
Scheibe.Abb. 7. Die Stützen des
Rohrs.

aus der Abb. 7 hervorgeht. Nachdem so zwei völlig gleiche Achsenstücke hergestellt waren, bezeichnete Rudi den Mittelpunkt der Scheibe mit einem kleinen Tintenpunkt; er hatte die Mitte mit Hilfe der beiden Mittelsenkrechten zweier Sehnen gefunden. Nun bereitete er sich einen Schellackfitt, wie dies Seite 5 schon beschrieben wurde, goß davon in genügender Menge um den Mittelpunkt der Scheibe herum und drückte die Blechscheibe mit der angelöteten Achse darauf; dann bemühte er sich, diese noch möglichst senkrecht zur Glasplatte zu stellen. Allein sein Bemühen war vergebens, denn der Kitt war zu rasch hart geworden. Nun hieß es, die Achse nochmals von der Scheibe los zu bekommen; Erwärmen hätte nicht viel geholfen und zudem die Glasplatte gefährdet; den Schellack mit Spiritus aufzulösen ging auch nicht, da er zum größten Teil unter der Blechscheibe lag. Rudi versuchte nun mit einem spitzen Instrument zwischen Glas- und Blechscheibe einzudringen; dies brachte ihm schließlich Erfolg. Er besreite beide Scheiben von dem alten Schellack und begann die Arbeit von neuem. Was für Fehler trugen an dem Mißerfolge die Schuld? Erstens hatte er den Schellackfitt beim Auftragen zu lange brennen lassen; dadurch war nicht nur zu viel Spiritus verbrannt, sondern der geschmolzene Schellack war überhitzt worden, was ihn in eine fast un-

schmelzbare harte Masse verwandelte. Zweitens hätten beide Gegenstände, Glas- und Messingscheibe, etwas vorgewärmt werden müssen; doch daß er letzteres vergessen hatte, war sein Glück, denn sonst wäre es ihm wohl kaum noch gelungen, die beiden Teile unbeschädigt wieder zu trennen. Beim zweiten Versuch gelang ihm nun das

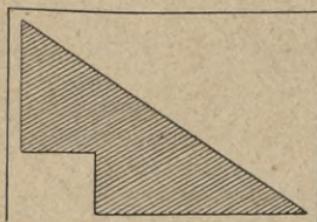


Abb. 8. Winkelscheit.

Zusammenkitten zu voller Zufriedenheit. Er hatte sich diesmal auch einer recht praktischen Hilfseinrichtung zum raschen Senkrechtstellen der Achse bedient: Er machte sich aus starker Pappe ein Winkelscheit, dessen Form aus Abb. 8 hervorgeht; der Ausschnitt im Scheitel des

rechten Winkels dient dazu, daß das Winkelscheit, ohne durch die Messingscheibe behindert zu werden, sowohl auf der Glasplatte, als auch an der Achse angelegt werden kann; sobald er die Achse auf den Schellack aufgedrückt hatte, überzeugte er sich mittels dieses Winkelscheites von ihrer richtigen Stellung. In der gleichen Weise befestigte Rudi die andere Achse, genau in der Verlängerung der ersten.

Glasätzen mit Flußsäure. Für solche, die es vorziehen, das Loch durch die Platte mit Flußsäure zu äzen, sei erwähnt, daß mit Flußsäure sehr vorsichtig umgegangen werden muß, schon weil ihre Dämpfe den Schleimhäuten des Mundes und der Nase äußerst gefährlich sind, und weil sie, auf die Haut gebracht, sehr bössartige Wunden verursacht. Sie wird in Gummi- oder Bleigesäßen aufbewahrt und ist in jedem Geschäft, das Chemikalien führt, zu haben. Es ist sehr zu empfehlen, beim Hantieren mit dieser Säure ein Fläschchen mit konzentriertem Ammoniak bereitzustellen; ist von der Säure etwas an einen unrichtigen Platz gekommen, so gießt man reichlich Ammoniak zu, wodurch ein Schaden sicher verhindert wird.

Um ein Loch in die Platte zu äzen, muß man erst die ganze Platte auf beiden Seiten mit einer Wachsschicht überziehen und dann an der Stelle und in der Größe des

erwünschten Loches das Wachs abschaben und den Wachsrand noch bis zu 5 mm wallartig erhöhen. In das dadurch entstandene Näpfschen wird Flußsäure gegossen und mit einem Papierhütchen wird es zugedeckt. So bleibt dann die Platte etwa 2 Stunden liegen, nach welcher Zeit das angeätzte Glas mit einem Nagel oder sonst einem spitzen Gegenstand aufgeschabt wird; dies wird alle 2 bis 3 Stunden wiederholt. Über Nacht läßt man stehen; am nächsten Tag wird mit Fließpapier die noch vorhandene Flüssigkeit aufgesaugt und durch frische Flußsäure ersetzt. Dies setzt man fort, bis ungefähr die Hälfte der Glasdicke durchgeätzt ist, und beginnt dann mit dem gleichen Verfahren von der anderen Seite. Hat sich eine kleine Öffnung gebildet, so reinigt man die Scheibe von Säure und Wachs und feilt das Loch mittels einer mit Terpentin benetzten Rundfeile glatt aus. — Hat man eine durchbohrte Scheibe, so kann man die Achse aus einem Stück machen. Etwas mehr als halbe Glasdicke neben der Mitte der Achse wird auf diese eine Messingscheibe aufgeschoben und angelötet, und daran wird die Glasplatte mit Schellack angeklebt. Dann wird eine zweite Messingscheibe auf die Achse geschoben und auf der Glasplatte festgekittet.

Nachdem nun Rudi die Achsen in der erwähnten Weise an der Scheibe angebracht hatte, schritt er zur Anfertigung des Gestelles. Abb. 9

zeigt die fertige Maschine. (Da die einzelnen Maße von der Größe der Scheibe abhängen, geben wir keine Zahlen an, sondern verweisen nur auf die aus der Abbildung hervorgehenden Größenverhältnisse.)

a ist ein starkes Brett aus hartem Holz; Rudi

hatte zuerst Tannenholz verwendet; doch da dieses sich nach gar nicht langer Zeit warf, so mußte er es durch Nußbaumholz ersetzen. Wer dennoch Tannenholz verwenden will, muß

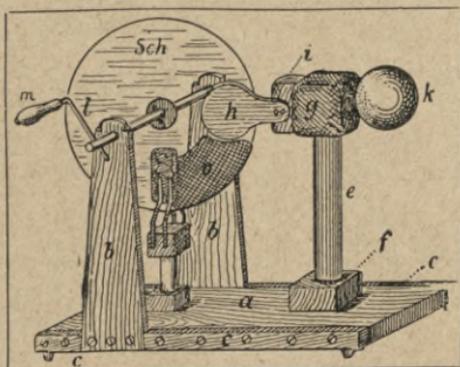


Abb. 9. Reibungselektrifiziermaschine.

auf der Unterseite mindestens drei Leisten aus hartem Holz quer zu den Fasern des Brettes einschieben (Schiebeleisten). Eventuell empfiehlt es sich, diese Arbeit vom Schreiner machen zu lassen; b, b sind die beiden Lagerträger, die aus Tannen-



Abb. 10. Lagerträger.

holz gefertigt sein dürfen; sie werden an die Seiten des Brettes a angeschraubt. Um ihnen noch mehr Halt zu geben, schraubte Rudi in der Art Leisten an den Rand des Brettes, daß die Träger gewissermaßen in einer Vertiefung festsaßen. Die Lager selbst machte er folgendermaßen: er wickelte um die Achse einen 2 mm starken Kupferdraht, Windung hart an Windung, bis er auf diese Weise ein 6 cm langes Stück umwunden hatte, das er von der Achse abstreifte, mit Lötwaſſer bestrich, mit einem Plättchen dünn gehämmerten Lotes umgab und so lange in eine Bunsenflamme hielt, bis alles Lot sich schön zwischen den Windungen verteilt hatte. Es war so ein Röhrchen entstanden, das er in zwei gleiche Teile zersägte, welche die Achsenlager bilden sollten; als er sie jedoch wieder auf die Achse schieben wollte, paßten sie nicht mehr darauf, denn es war etwas zu viel Lot in das Innere gelaufen; dies entfernte er mit der Rundfeile, bis sie sich ohne zu großen Spielraum aber doch leicht auf der Achse hin und her schieben ließen. Nun bohrte Rudi in die oberen Enden der Lagerträger je ein Loch, das so groß war, daß ein Lageröhrchen gerade noch hindurchgesteckt werden konnte, und sägte, die Mitte dieses Loches kreuzend, den oberen Teil des Lagerträgers ab (siehe Abb. 10). Mit zwei Holzschrauben konnte er diesen wieder aufschrauben und so das Lageröhrchen fest einklemmen.

Für die Kurbel benutzte Rudi eine 4 mm starke Eisenstange (l in Abb. 9), die er rechtwinkelig umbog, worauf er über das eine Ende einen hohlen Griff (m) stülpte und

Um ihnen noch mehr Halt zu geben, schraubte Rudi in der Art Leisten an den Rand des Brettes, daß die Träger gewissermaßen in einer Vertiefung festsaßen. Die Lager selbst machte er folgendermaßen: er wickelte um die Achse einen 2 mm starken Kupferdraht, Windung hart an Windung, bis er auf diese Weise ein 6 cm langes Stück umwunden hatte, das er von der Achse abstreifte, mit Lötwaſſer bestrich, mit einem Plättchen

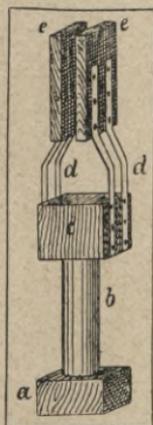


Abb. 11. Gestell des Reibzeugs.

das andere in das an dem einen Ende der Achse angebrachte Loch einnietete.

Abb. 11 zeigt das Gestell des Reibzeuges. Hierbei bediente sich Rudi eines starken massiven Glasstabes (b), den er in den Holzklotz a fest einkittete; den Holzklotz c machte er etwas höher und bohrte ein Loch ein, in das der Glasstab nur knapp hineinging; hier kittete er ihn nicht ein. Nun sägte er sich aus starkem (3 bis 4 mm) Zigarrenkistenholz zwei gleiche rechteckige Brettchen, deren Länge etwa $\frac{2}{3}$ des Scheibendurchmessers betragen und die halb so breit als lang waren. Diese Brettchen beklebte er je auf einer Seite mit einer nicht zu dicken Lage von gewöhnlicher Watte. Dann richtete er sich aus 1 bis

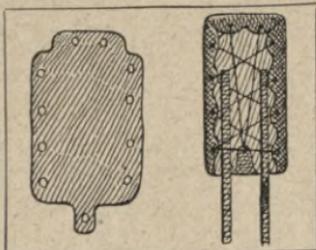


Abb. 12.

Abb. 13.

Reibfläche.

2 mm starkem Messingblech vier etwa 5 mm breite Streifen (d in Abb. 11), die er einerseits an dem Brettchen e, andererseits an c festschraubte und derart zusammenbog, daß sich die gepolsterten Seiten der Brettchen e, die nach innen gerichtet waren, berührten.

Aus Kalbleder fertigte Rudi die Reibfläche: er schnitt sich zwei Stücke, deren Form aus Abb. 12 hervorgeht; die Löcher am Rande dienten dazu, um das Leder auf die in Abb. 13 angegebene Art über das Reibzeugbrettchen zusammenzuzuschnüren; er hatte dabei auch nicht vergessen, daß die Fleischseite des Leders das Glas berühren muß.

Amalgamieren.

Obgleich Rudi die Amalgamierung der Reibkissen erst zuletzt vornahm, so sei dies doch schon hier beschrieben. Er holte sich das Amalgam bei einem Mechaniker, hätte es sich aber auch selbst bereiten können: man schmilzt in einem Tontiegel zuerst 1 Gewichtsteil Zinn, und wenn alles geschmolzen ist, gibt man in kleinen Stücken 1 Gewichtsteil Zink zu; hat sich auch dieses alles verflüssigt, so wird der Tiegel vom Feuer genommen, und es werden unter Umrühren 2 Gewichtsteile Quecksilber, das vorher etwas angewärmt wurde, zugeschüttet; das Ganze wird nun unter ständigem, tüchtigem Umrühren

— man kann dazu den Stiel einer Tonpfeife verwenden — in Wasser gegossen. Die dabei entstandenen Amalgamkörnchen werden zwischen Filtrierpapier getrocknet und in einem Reibschälchen zu Pulver verrieben. — Mit solchem Amalgam rieb er die Fleischseite der beiden Lederlappen tüchtig ein und spannte sie dann wieder auf die Reibzeugbrettchen.

An dem Holzkloze c (Abb. 11) kann man entweder eine große Herdkugel oder eine mit Kugelenden versehene Messingröhre anbringen, ähnlich der in Abb. 3 dargestellten, aber kürzer als diese; dieser Teil der Maschine ist in den Abbildungen nicht gezeichnet; Rudi ließ ihn auch anfangs weg, brachte ihn aber später doch noch an.

Spitzenkamm.

Wir wollen nun noch sehen, wie der Spitzenkamm hergestellt und an der Maschine angebracht wird. Rudi verwendete als Träger wieder einen starken Glasstab, doch es genügt hier auch eine starke Glasröhre. Den Stab kittete er wie bei dem Reibzeug in die Ausbohrung des Klötzchens f (Abb. 9). Auf ihn setzte er das etwas größere Holz g und kittete auch dieses, nachdem er das Brettchen i und die Kugel k daran befestigt und alle seine Kanten und Ecken wohl abgerundet hatte, fest; k soll möglichst groß sein und kann wie die in Abb. 4 ersichtliche Kugel des Konduktors hergestellt werden. Das Brettchen i hatte Rudi nur angeleimt; da es ihm aber später einmal wegbrach, so ist es ratsam, es mit einer Schwalbenschwanzfuge in g einzulassen.

Für den Spitzenkamm sägte sich Rudi zwei handspiegelförmige Brettchen aus Zigarrenkistenholz und schnitt sich zwei gleichgeformte Pappscheiben; letztere beklebte er beiderseits mit starkem Stanniolpapier und steckte in je drei konzentrischen Kreisen eine große Anzahl kurzer Stecknadeln hindurch. Diese stacheligen Pappscheiben klebte er mit der Seite, auf welcher die Köpfe der Stecknadeln waren, auf dem Holzbrettchen fest, das er an das Brettchen i anschraubte. Dabei zeigte sich aber, daß sich jetzt die Spitzen so nahe gegenüberstanden, daß sich die Glasscheibe nicht zwischen ihnen hätte drehen können, ohne verkratzt zu werden oder die Nadelspitzen umzu-

biegen; er legte deshalb zwei kleine Pappestückchen zwischen i und die Spizenkämme h, wodurch diese, nachdem sie wieder befestigt waren, den richtigen Abstand erhielten. Die Kugel k mußte nun noch mit den Nadeln in leitende Verbindung gebracht werden; Rudi bohrte durch g in Abb. 9 ein Loch, das hart neben dem Ansatz von k begann und neben dem Brettchen i bei dem Ansatz des einen Spizenkammes endete. Durch dieses Loch führte er einen Kupferdraht, den er einerseits mit dem Stanniolbelag des Spizenkammes in innige Berührung brachte, anderseits an den Ansatz der Kugel k anlötete.

Nun mußte Rudi noch den Reibzeug- und den Spizenkammträger auf dem Grundbrett a befestigen, was er dadurch erreichte, daß er beide mit je vier Schrauben von unten her an a festschraubte. Das Reibzeug ließ sich trotzdem noch leicht abnehmen, da ja das Klötzchen c (Abb. 11) nicht auf b aufgeklittet, sondern nur darübergeschoben war. An diesem Reibzeug befestigte Rudi nachträglich zwei Flügel aus Seide (man kann auch Wachstafel verwenden), die sich beiderseits an die Scheibe anlegen sollten und die an ihrem äußeren Rande zusammengenäht waren; ihre Form ist aus Abb. 9, o zu ersehen. Sie sollen verhindern, daß auf dem Wege vom Reibzeuge zum Spizenkamme die Glascheibe von ihrer Elektrizität verliere.

Zuletzt überzog Rudi alle Holzteile und die beiden Glasäulen mit Schellackfirnis.

Um diese Maschine vor dem für viele elektrische Apparate sehr schädlichen Verstauben zu bewahren, fertigte er sich als Schutz aus starkem Packpapier eine große Hülle, die er, wenn die Maschine nicht gebraucht wurde, käseglockenartig darüber stülpte.

Elektrisches Flugrad.

Das elektrische Flugrad ist sehr einfach herzustellen: man schneidet sich aus gewöhnlichem Weiß- oder Messingblech ein rundes Scheibchen, das man genau in der Mitte mit einem Körnerpunkt versieht; auf dieses Scheibchen lötet man nach den vier verschiedenen Seiten radial nach außen gerichtet vier lange Stecknadeln, deren Spitzen dann alle

rechtwinkelig nach der gleichen Seite umgebogen werden. Ein 20 cm langes und 4 bis 5 mm starkes Glasröhrchen wird in ein Fußbrettchen eingekittet, und mit Siegelack wird eine lange Stecknadel im oberen Ende befestigt. Das Flugrädchen wird nun mit dem Körnerpunkt auf die Stecknadelspitze aufgesetzt und muß in horizontaler Lage im Gleichgewichte schweben; sollte dies nicht zutreffen, so kann man durch Austropfen von etwas Siegelack auf die Unterseite des Scheibchens das Flugrädchen ausbalancieren.

Lanesche Massflasche.

Es sei nun noch die elektrische Maßflasche von Lane erwähnt: auf einem mit Stanniol überzogenen Grundbrettchen wird eine kleine Leidener Flasche aufgeleimt oder festgekittet, jedoch so, daß der äußere Flaschenbelag in leitender Verbindung bleibt mit dem Belag des Brettchens; 5 cm neben der Flasche wird ein Messingstab in dem Brette befestigt, der oben in Höhe der Kugel der Leidener Flasche ein 2 bis 3 mm weites Loch erhält, in welchem sich ein entsprechend starker etwa 10 cm langer Messing- oder Kupferdraht leicht hin und her schieben läßt; diesen Draht versieht man an dem einen Ende mit einer Kugel, am andern biegt man ihn zu einer kleinen Schleife (siehe Abb. 36).

Luftthermometer.

Nun können wir uns noch einen einfachen Apparat herstellen, mit dem wir die Erwärmung von Leitern beim Durchgang von Elektrizität durch sie nachweisen können. Abb. 14 zeigt diesen Apparat im Schnitt: auf dem Grundbrett a wird

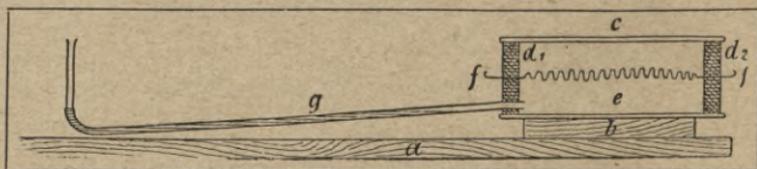


Abb. 14. Luftthermometer.

ein kleineres Brettchen b befestigt; darauf wird ein Glaszylinder c aufgeleimt. Für diesen Glaszylinder kann man einen glatten Lampenzylinder eines Kerlichtes verwenden, von dem man sich ein entsprechendes Stück absprengen läßt. d_1 und d_2 sind zwei in Paraffin gekochte Korke,

durch welche ein innen und außen zu Hälften f umgebogener Draht führt; in d_1 ist außerdem noch eine Öffnung, in die die Glasröhre g einmündet, deren Form aus der Figur hervorgeht; o ist eine aus dünnem Eisendraht gewundene Spirale. Wer einem gelegentlichen Durchschmelzen dieser Spirale vorbeugen will, muß Platindraht verwenden. Die Spirale wird auf folgendem Wege in den Zylinder gebracht. Sie wird mit ihrem einen Ende in den Haken des Korkes d_1 eingehakt, worauf dieser, die Spirale voran, in den Zylinder geschoben wird; nun zieht man von der anderen Seite das noch freie Ende der Spirale vorsichtig aus dem Zylinder heraus, hakt es in den Haken von d_2 und drückt darauf d_2 in den Zylinder. Darauf bringt man in die Glasröhre g etwas gefärbtes Wasser und steckt sie, wie aus der Abbildung ersichtlich, in die Öffnung von d_1 .

Die Influenzelektroskopmaschine.

Rudi brauchte zu seinem Vortrag noch eine

Influenzelektroskopmaschine; diese ließ er sich einstweilen bei einem Schulkameraden, weil er die Anfertigung dieser Maschine für später aufschieben mußte. Da es jedoch für manchen jungen Bastler von Interesse sein wird, zu erfahren, wie man die verschiedenen Schwierigkeiten, die sich der Selbstanfertigung einer Influenzmaschine entgegenstellen, leicht umgehen kann, so wollen wir schon jetzt davon eine Beschreibung geben.

Glasscheiben.

Wir beginnen zunächst mit den Glasscheiben; die Scheiben, die für Reibungselektroskopmaschinen gut verwendet werden können, sind für Influenzmaschinen nicht immer die geeignetsten; die Hauptsache ist, daß das Glas gut isoliert. Wir suchen zuerst, ob wir in unserem Glasvorrat etwas Geeignetes finden ¹⁾; wenn nicht, dann suchen wir bei einem Glaser die beste Glasorte aus, wobei auch darauf zu achten ist, daß die Glastafeln möglichst eben sind. Wir lassen uns zwei kreisrunde Scheiben schneiden, deren Durchmesser womöglich 60 cm, keinesfalls aber weniger als 30 cm betragen darf. Wer ganz sicher

¹⁾ Siehe auch, was bei den Leidener Flaschen über die Glasfarbe gesagt ist.

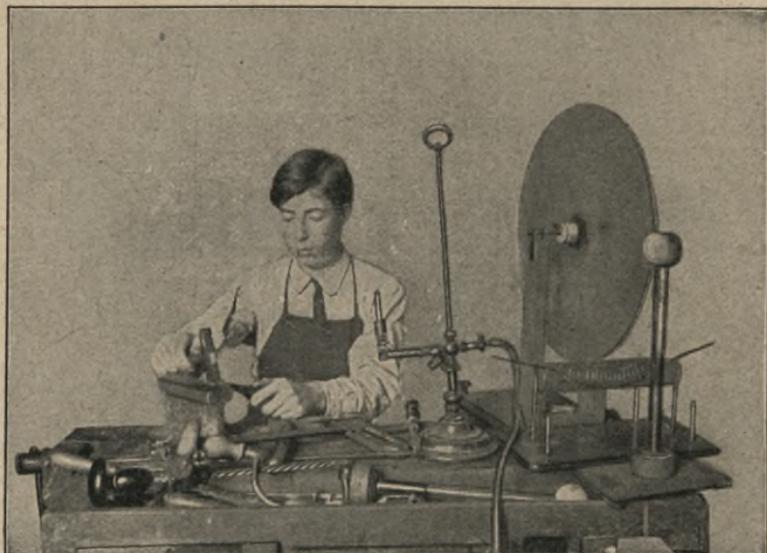


Abb. 15. Rubi bei der Anfertigung einer Influenzelektrifiziermaschine.

gehen will und größere Auslagen nicht scheut, besorgt sich die Glasscheiben bei einem Mechaniker oder von Warbrunn, Quilitz u. Co. zu Berlin, welche Firma auch ausgezeichnete Gläser für Leidener Flaschen liefert.

Durch die Mittelfenkrechten zweier Sehnen finden wir die Mitten der Scheiben und bezeichnen sie je mit einem Tuschepünktchen; ist die Tusche fest aufgetrocknet, so werden die Scheiben zuerst mit Seifen-, dann mit reinem, gewöhnlichem, endlich mit destilliertem Wasser und zuletzt mit Weingeist abgewaschen; der Weingeist muß selbst rein sein und darf nur mit einem ganz reinen Schwämmchen auf-

Der Schellacküberzug.

getragen werden. Die zweite Aufgabe ist, beide Scheiben mit einem feinen Überzug von Schellackfirnis zu versehen. Wir lassen 30 g Schellack in $\frac{1}{4}$ Liter Spiritus sich vollständig lösen und gießen kurz vor dem Gebrauch noch 100 cem reinen Spiritus zu und schütteln kräftig; die Lösung wird noch filtriert und ist dann gebrauchsfertig; soll sie längere Zeit aufbewahrt werden, so lege man, um die Feuchtigkeit zu binden, ein paar Gelatinestreifen hinein und halte die Flasche stets gut geschlossen. Das Auftragen der Lösung

geschieht mit einem großen, weichen Pinsel, der vor dem Gebrauch durch Klopfen und Waschen von allem Staub befreit werden muß. Es ist ziemlich wichtig, einen schönen gleichmäßigen Schellacküberzug zu erzielen, und es dürfte wohl manchem nicht auf das erste Mal gelingen. Die Scheibe wird auf eine Zigarrenkiste oder besser auf eine runde Pappschachtel gelegt, deren Durchmesser etwas kleiner ist als der der Scheibe. Die Schellacklösung wird in ein offenes Gefäß gegossen. Doch bevor wir mit dem Überstreichen beginnen, muß die Scheibe angewärmt werden; ist es Sommer, so können wir sie einfach etwa eine halbe Stunde den Sonnenstrahlen aussetzen, andernfalls muß die Erwärmung künstlich geschehen (natürlich nicht über einer offenen Flamme). Die Scheibe darf so warm sein, daß wir sie gerade noch mit der Hand anfassen können, wobei jedoch darauf zu achten ist, daß die zunächst zu streichende Seite nicht mehr mit den Fingern berührt wird. Nun wird sie auf die oben erwähnte Unterlage gelegt, so daß der äußere Rand auf der Unterseite frei bleibt. Das Überstreichen muß recht gewandt ausgeführt werden; mit großen Strichen überfahren wir die Fläche und achten darauf, daß keine Stelle frei bleibt, aber auch keine zweimal überstrichen wird, damit wir einen möglichst gleichförmigen Überzug erhalten. Wir streichen mit der rechten Hand, in der linken haben wir ein in Spiritus getauchtes Läppchen, mit welchem wir alles, was von der Lösung am Rand auf die Unterseite der Scheibe gelangt, sofort abwischen. Hat man keinen gleichmäßigen Überzug erzielt, so tut man am besten, die ganze Scheibe mit Spiritus abzuwaschen und von vorn zu beginnen. Ist der Anstrich bei beiden Scheiben gelungen, so läßt man sie an einem staubfreien Orte, etwa in einer großen Tischschublade, einen Tag liegen. Die anderen Seiten der Scheiben werden genau so behandelt, nur dürfen sie diesmal nicht so stark erwärmt werden und es muß ein Überlaufen von Schellackfirnis unbedingt vermieden werden. Man bezeichne sich die zuerst bestrichenen Seiten der Scheiben. Diesmal lassen wir sie nur 5 bis 6 Stunden in der Schublade liegen und stellen sie dann senkrecht an einem staubfreien Orte so auf, daß sie außer an den Ranten nirgends anliegen; so lassen wir sie 2 Tage unberührt stehen.

Die Achsenansätze.

Unterdessen fertigen wir die beiden Achsen an. Dazu brauchen wir zunächst zwei Messingstäbe, je 15 cm lang und 5 bis 7 mm dick, ferner 50 cm blanken, geglähten, 2 mm starken Kupferdraht. Den Draht reiben wir mit Glas- oder Schmirgelpapier sauber und wickeln ihn dann in dicht nebeneinanderliegenden Windungen zu einer 3 cm langen Spirale auf einen der Messingstäbe auf (Abb. 16); ein Stück Lötzinn wird zu einem feinen Plättchen ausgehämmert und um die mit Lötwasser bestrichene Spirale herumgebogen, aus der wir den Messingstab herausziehen und sie dann in die Flamme eines Spiritus- oder Bunsenbrenners halten, bis sich das Lot gleichmäßig zwischen den Windungen verteilt hat. Nachdem sich dies so entstandene

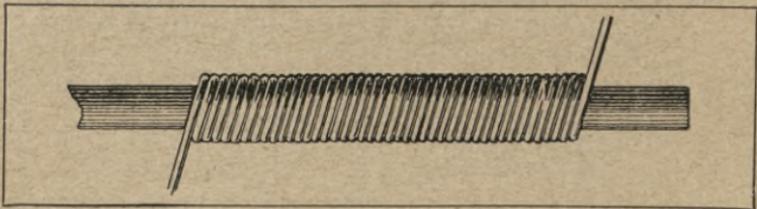


Abb. 16. Anfertigung der Achsentrohre.

Rohr abgekühlt hat, sägen wir es mit einer in den Laubsägebogen eingespannten Metallsäge in vier gleiche Teile. Diese vier Ringe sollen sich immer noch bequem über die Messingstange schieben lassen; sollte dies Schwierigkeiten machen, weil vielleicht etwas zu viel Lot in das Innere gedrungen ist, so entferne man dies mit der Rundfeile. Nun schneide man aus 0,5 bis 1 mm starkem Messingblech zwei Rechtecke von je 30×65 mm. Bei jedem machen wir an dem einen Ende mit einer Blechschere 10 bis 12 Einschnitte von je 2 cm Länge parallel zu den Längskanten, so daß also 45 mm uneingeschnitten übrig bleiben. Auf jedes Blech legen wir zwei von den vier Ringen, den einen am inneren Ende der Einschnitte nach innen zu, den anderen am entgegengesetzten nicht eingeschnittenen Rande, so daß zwischen ihnen etwa 3 cm Raum bleibt; dann rollen wir das Blech fest um die Ringe. Es wird keinen vollständig geschlossenen

Zylinder bilden, vielmehr wird ein etwa 4 mm breiter Zwischenraum frei bleiben. Wir umwickeln nun diesen Blechzylinder fest mit Draht und löten ihn mit den Kupfer- ringen zusammen. Nach dem Abkühlen entfernt man den Draht. Eines der so erhaltenen Achsenrohre zeigt Abb. 17:

a sind die Kupferdraht- ringe, b ist der Blech- zylinder mit den durch Einschneiden entstandenen Streifen c.

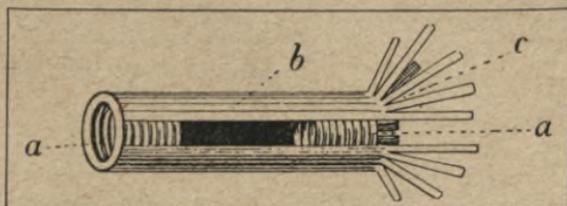


Abb. 17. Achsenrohr.

Um nachher diese beiden Achsenrohre an den Glasscheiben ankitten zu können, schneiden wir uns aus Messingblech zwei Scheiben von je 6 cm Durchmesser und sägen bei jedem genau in der Mitte ein Loch, durch welches das in Abb. 17 dargestellte Achsenrohr sich gerade noch hindurchschieben läßt; nachdem wir das getan haben, biegen wir die Blechstreifen

um und löten sie an der Messing- scheibe fest (Abb. 18). Nunmehr wird die ebene Blechscheibe a mit einer Flachzange am ganzen Rande, von der Achse weg ein wenig krumm gebogen, wie das in der Abb. 19 deutlich zu sehen ist; aus dieser Zeichnung geht auch hervor, wie dieser in der Abb. 18 abgebildete Teil auf der Glasscheibe aufzu- kitten ist: G ist die Glasscheibe, S der Schellackkitt, B die Messing- scheibe, R die Kupferringe und H die Messinghülse. Das Aufkitten mit Schellack erfolgt genau in der

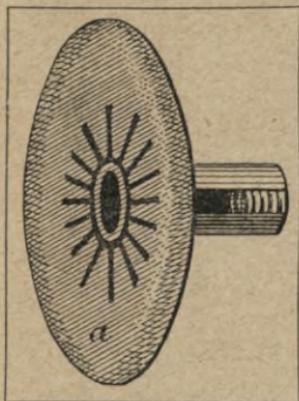


Abb. 18. Aufgelötete Messing- scheibe.

schon bei der Reibungselektrifiziermaschine angegebenen Weise; nur müssen wir, um das Achsenrohr mit dem schon erwähnten Winkelmaß (Abb. 8) genau senkrecht zu stellen, eine der beiden Messingstangen in das Rohr stecken und dann wie

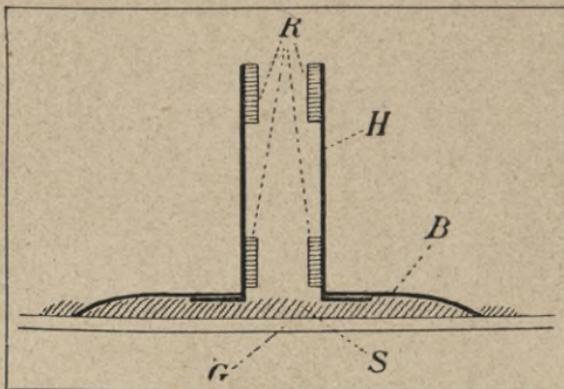


Abb. 19. Aufstiftung auf die Glasscheibe.

Austrocknen des Mittes herausstellen, daß die Achsenrohre doch nicht genau senkrecht stehen, was man am deutlichsten erkennt, wenn man die

Scheiben auf ihren Achsen rotieren läßt, so kann man noch folgende Vorkehrung treffen: Wir löten, wie aus Abb. 21 hervorgeht, eine Messingscheibe M, ähnlich der Scheibe B, nur etwas kleiner, aber dicker

als diese mit ein paar Millimeter Abstand an. (Mit dem Böttkolben rasch anlöten, damit sich das Glas nicht zu sehr erwärmt!) Am sichersten geht man, wenn man diese Vor-

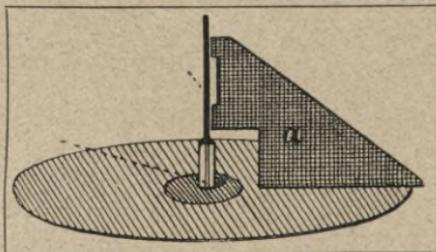


Abb. 20. Anlegen des Winkelmahes.

richtungsgleich von vorn herein, also schon vor dem Aufstiftung, an dem Achsenrohr anbringt. Vorher haben wir schon nahe dem Rande in gleichen Ab-

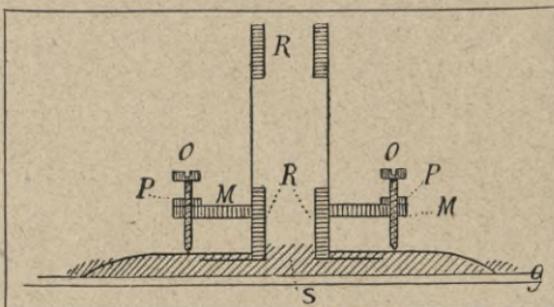


Abb. 21. Vorrichtung zur Erzielung der senkrechten Achsenstellung.

ständen drei Löcher gebohrt und über jedes Loch eine Schraubenmutter (P) gelötet. (Wir können auch das Muttergewinde in die Scheibe M selbst bohren.) Mit drei Metallschrauben, die wir durch diese Muttern eindrehen und verschieden stark anziehen, können wir nun mit Leichtigkeit die senkrechte Stellung der Achsenrohre erreichen. Nun müssen wir noch auf die Innenseite der einen Scheibe genau in der Mitte, also dem Achsenrohr gegenüber, mit einem Tropfen Schellack ein Zweifspennigstück aufkleben.

Während der übrigen Arbeit sollen die Scheiben unberührt liegen bleiben. Wir richten uns deshalb zwei Holzklötzchen her, die wir je mit einem Loch versehen, in das die Achsenrohre eingesteckt werden, so daß die Scheiben in horizontaler Lage aufbewahrt werden können, ohne daß das Glas selbst irgendwo aufliegt. An einem staubfreien abgeschlossenen Platze werden die Scheiben bis auf weiteres aufbewahrt.

Das Maschinengestell.

Wir wenden uns nun zu dem Maschinengestell. Zuerst schneiden wir uns eine Pappscheibe, genau so groß wie die Glasplatten, und stecken durch sie eine Messingstange, 30 cm lang und genau so stark (5 bis 7 mm), wie die schon erwähnten Achsen. Abb. 22 zeigt das Gestell im Grundriss; Gl sollen die später einzusetzenden Glasscheiben sein. Entsprechend ihrer Größe wählen wir nach Anleitung des

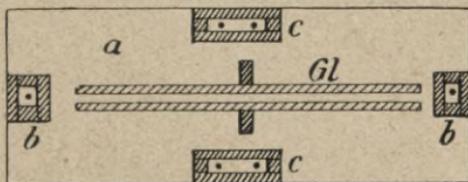


Abb. 22. Maschinengestell.

Grundrisses ein starkes Grundbrett a von ausreichender Länge und Breite. c in Abb. 22 zeigt die Befestigungsstelle der Achsenträger (Abb. 23). Man fertige sie beide aus Holzstücken, deren Länge je um

Die Achsenträger.

7 cm mehr als der Scheibenradius beträgt und mache sie unten 10, oben 6 cm breit. Oben ist ein etwa 15 mm weites Loch a zu bohren, und daneben fügen wir zu beiden Seiten einen Schlitz b von 20 mm Länge und 5 mm Breite. Auf der Innenseite des Achsenhalters befestigen wir mit vier Holzschrauben eine Eisen-

oder Messingplatte (in Abb. 23 durch die punktierte Linie und mit *b* bezeichnet), die das Loch *a*, nicht aber die seit-

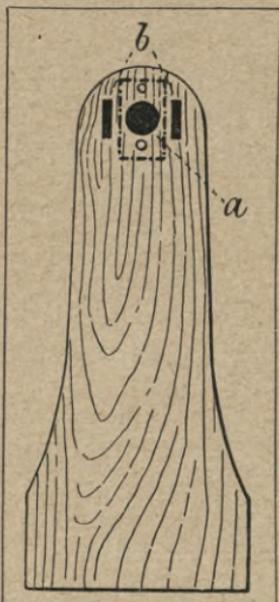


Abb. 23. Achsenträger.

lichen Schlitze verdeckt. Die Platte muß ziemlich stark sein (3 mm) und kann nötigenfalls durch Aufeinanderlöten von zwei oder drei Blechscheiben hergestellt werden. Ehe diese Platte aufgeschraubt wird, ist sie mit einer mittleren Durchbohrung zu versehen, weit genug (5 bis 7 mm), daß die Scheibenachse gerade noch hindurchgesteckt werden kann. Die Platte ist so aufzuschrauben, daß ihre Durchbohrung mit dem Loche *a* konzentrisch wird. Abb. 24 zeigt in etwas größerer Darstellung die Außenseite eines Achsenträgers und eine daraufliegende Metallplatte *a* von etwa $5 \times 1,5$ cm Größe, die das Loch *c* und die beiden Schlitze *d* bedeckt und drei Durchbohrungen hat: eine runde in der Mitte (5 bis 7 mm weit) und zwei viereckige, die Schlitze *d* rechtwinklig kreuzend. Diese Metallplatte wird folgendermaßen befestigt: man steckt durch die einander kreuzenden Schlitze je eine Metallschraube von 5 mm Dicke, deren Kopf man durch Überschieben eines breiten flachen Metallringes vergrößert, und schraubt eine passende Schraubenmutter auf das Gewinde. Die Platte *a* in Abb. 24 wird dadurch festgehalten und kann nach Lüftung der beiden Muttern nach oben, unten und der Seite ver-

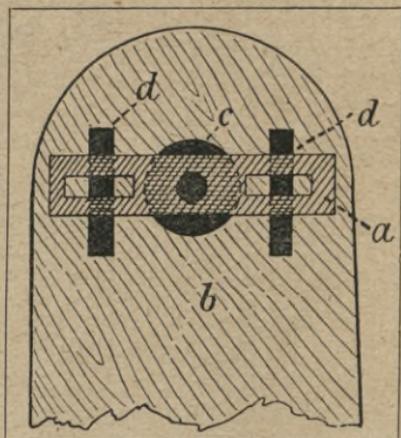


Abb. 24. Außenseite eines Achsenträgers.

geschoben werden; denselben Teil zeigt Abb. 25 im Schnitt, a ist die verstellbare Metallplatte, b der hölzerne Achsenträger, c das runde Loch darin und d die Achse.

Die beiden Achsenträger sind an den zwei in Abb. 22 mit c bezeichneten Stellen auf dem Grundbrette zu befestigen, indem wir zunächst von dessen Unterseite her je zwei Schrauben eindrehen, durch das Brett hindurch bis in die Achsenträger.

Da diese Befestigung wahrscheinlich nicht ausreichen würde, so schneiden wir von einer sogenannten Glaserlatte vier längere (je 10 cm) und vier entsprechend kürzere Stücke ab und schrauben sie bei jedem Achsenträger um dessen Fuß herum so auf das Grundbrett auf, daß sie seitlich ganz fest an den Trägern anliegen und diese wie in

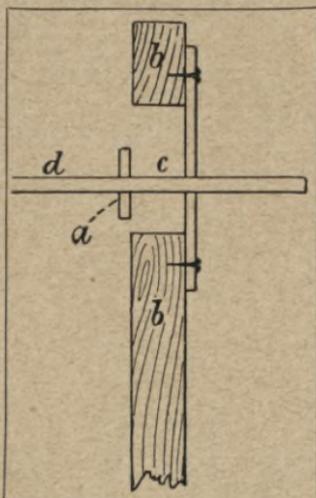


Abb. 25. Achse im Träger.

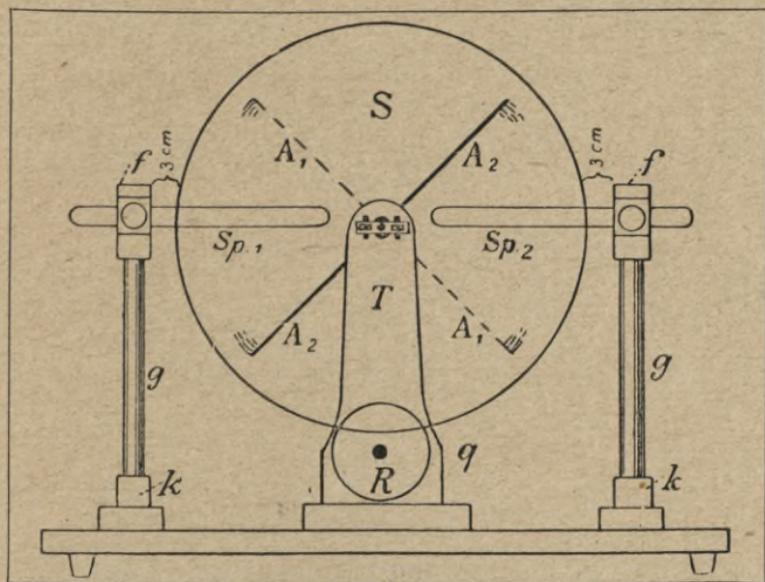


Abb. 26. Schematischer Aufsicht der Maschine.

einer Versenkung stehen. Zur Probe und Abschätzung der Größenverhältnisse kann nun die Pappscheibe mit ihrer Achse in die Achsenlager der Träger eingesetzt werden. Abb. 26 zeigt einen schematischen Aufriß der Maschine, wobei S die Scheibe, T die Achsenträger bezeichnet.

Die Spitzenkammträger.

Nunmehr sind die Träger g der beiden Spitzenkämme Sp anzubringen. Die Träger g sind Glasstäbe oder dickwandige Glasröhren, etwa 2 cm im äußeren Durchmesser und an Länge etwa gleich den Achsenträgern T. Sie sind innen und außen genau so zu reinigen wie die Glasscheiben und auch in der gleichen Weise ebenfalls innen und außen mit einem Schellacküberzug zu versehen und dann 1 bis 2 Tage an einem staubfreien Orte liegen zu lassen. Unterdessen besorgen wir uns zwei Holzklöße (Abb. 26 k), jeden 4×4 cm breit und 5 cm hoch. Jeder dieser Klöße erhält von oben nach unten eine 3 cm tiefe Bohrung, die so weit ist, daß wir die Glasäule bequem mit Siegellack oder Schellack einfetten können. Das obere Ende der Röhre (wenn wir eine solche und keinen Glasstab benutzt haben) wird mit einem Kork verschlossen und dann, wenn wir sicher sind, daß keine Feuchtigkeit in dem Rohre ist, das heißt, wenn es sich auf der Innenseite nach ein paar Stunden noch nicht beschlagen hat, mit Siegellack abgedichtet. Nachdem letzteres geschehen ist, krönen wir die Glasäule mit einem Holzklöß f, 4×4 cm breit, 7 cm hoch. Die Kammträger werden 3 cm vom Scheibenrande entfernt an den in Abb. 22 mit b bezeichneten Stellen aufgeschraubt und ebenso wie die Achsenträger mit Lattenstückchen umgeben.

Die Triebräder.

Die nächste Arbeit besteht in der Anfertigung der Triebräder, die in Abb. 27 mit R bezeichnet sind. Man stellt sie aus Holz her und versieht sie am Rande mit einer Furche zur Aufnahme der Triebseilnur. Die Achse dieser Triebräder muß durch entsprechende Löcher gehen, die in T einzubohren sind, und soll nahe unter den untersten Scheibenrand zu liegen kommen. Um einen leichteren Gang zu erreichen, können wir die Lager dieser Achse T mit Lagerröllchen ausstatten, deren Herstellung schon bei Abb. 16 beschrieben

wurde. Zur Befestigung der Triebräder bohre man an den entsprechenden Stellen dünne Löcher in die Achse und treibe Drahtstifte hindurch, an welchen dann die Räder so befestigt werden, daß sie sich auf der Achse nicht mehr drehen können.

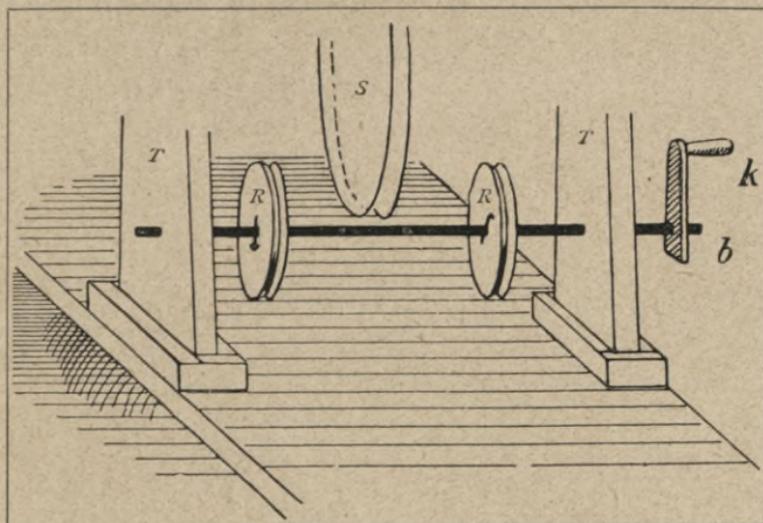


Abb. 27. Antrieb der Scheiben.

Mit ebensolchen Drahtstiften ist die Achse selbst in ihren Lagern gegen seitliches Verschieben zu sichern. Am einen Ende seilt man die Achse vierkantig und befestigt an ihr die Kurbel *k*, die mit einem entsprechenden Loche versehen sein muß.

Das Einsetzen der Scheiben. Nun erfolgt das Einsetzen der Glasscheiben (Abb. 28). Die Scheiben werden hervorgeholt und man steckt die zu Anfang unserer Betrachtung erwähnten je 15 cm langen Messingachsen *b* von außen durch die Metallplatten *c* und durch *h* in die Achsenrohre *a*, nachdem man an entsprechenden Stellen die ebenfalls mit einer Furche versehenen Triebrollen *d* auf ihnen befestigt hat. Die Achsen *b* werden so weit nach innen geschoben, daß die beiden Glasscheiben *g* in der Mitte sitzend nur noch durch das auf der einen aufgeklüftete Geldstück *f* voneinander getrennt sind; durch Verstellen der Platten *c* muß man es dahin bringen, daß die Scheiben *g* genau vertikal und zueinander voll-

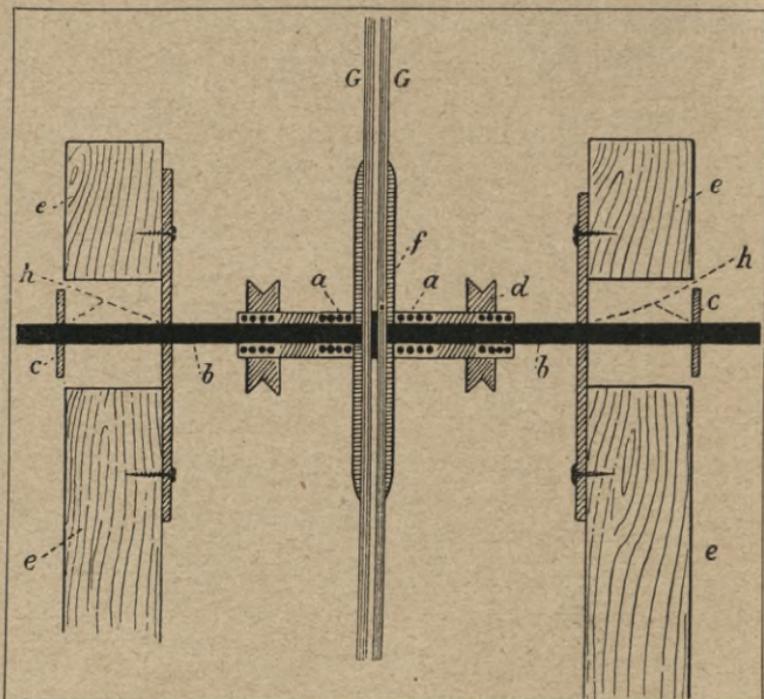


Abb. 28. Achsenlager der Scheiben.

kommen parallel stehen. Da wo sich die Achsenrohre auf den Achsen drehen, werden diese gleich etwas eingölt.

Die Spitzenkämme. Wir kommen nun zur Herstellung der Spitzenkämme. Ihre Größe im Verhältnis zu den Scheiben, sowie ihre Stellung zu ihnen geht aus dem schematischen Grundriß der Abb. 29

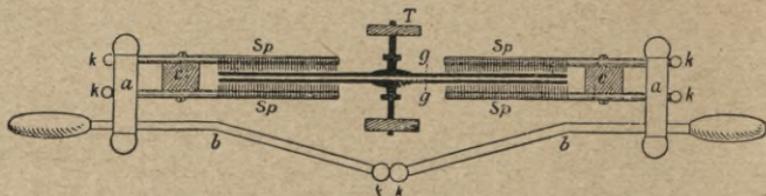


Abb. 29. Stellung der Spitzenkämme.

hervor; dabei sind e, e die Holzklöße, welche die schon erwähnten Spitzenkammträger krönen. Nun sind zuerst

einmal alle Ecken und Kanten dieser Holzklötzchen völlig abzurunden; dann erhalten sie auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten je eine Furche, die so weit und tief ist, daß sie die nachher für den Spigenkamm zu verwendende Röhre genau zur Hälfte in sich aufnimmt; Abb. 30 ist ein Schnitt, Abb. 31 eine Ansicht dieses Teiles. Die Spigenkämme selbst werden bei kleinen Maschinen aus mindestens 5 mm, bei großen aus mindestens 10 mm weiten Messingröhren hergestellt. Wir brauchen vier gleichlange Stücke, welche in Abb. 29 mit Sp bezeichnet sind. Ferner benötigen wir zwei etwa 3 cm weite Messingrohre, wie

wir solche schon zu dem in der Abb. 3 dargestellten Konduktor verwendet haben, ihre Länge soll etwa gleich dem Abstand der beiden Achsenträger sein. Jedes dieser Röhre

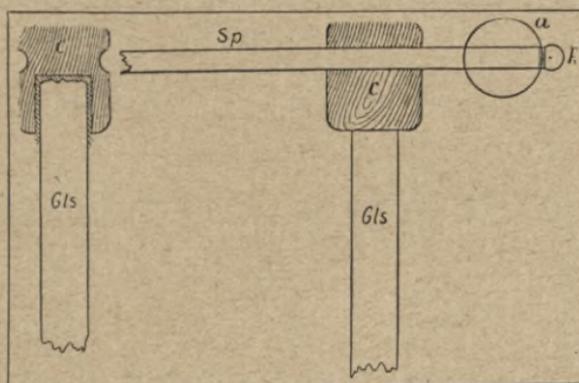


Abb. 30. Durchschnitt des Spigenkammtträgers. Abb. 31. Spigenkammtträger.

erhält drei Bohrungen. Das erste Loch sei möglichst nahe dem einen Ende; die Mitte des zweiten Loches sei von der Mitte des ersten genau um die Dicke des Holzklötzes c (4 cm) entfernt; das dritte Loch ist nahe dem anderen Ende. Diese Bohrungen sollen so weit sein, daß wir die Messingröhren Sp und b gerade noch hindurchschieben können. Die Röhren Sp erhalten da, wo sie an c anliegen sollen, je eine Bohrung, durch welche sie mittels einer Holzschraube an c festgeschraubt werden können. Statt hierbei Holzschrauben zu verwenden, können wir uns bei einem Mechaniker vier Messingkügelchen drehen und je mit einem Muttergewinde versehen lassen, ebenso zwei 3 mm starke Messingstäbchen etwa 6 cm lang, und an den Enden ebenfalls mit Gewinde versehen. Wir durchbohren nicht

nur die Rohre Sp, sondern auch c, so daß wir die Messingstäbchen ganz hindurchstecken und durch beiderseitiges Aufschrauben der Kugelmuttern die Rohre Sp an c anflechten können.

Nun müssen wir die Spitzenreihen auflöten. Die Spitzen sollen etwa 1 mm Abstand von den Glascheiben haben. Wir besorgen uns eine große Anzahl von Stecknadeln von passender Größe. Wir dürfen für eine 20 cm lange Spitzenreihe 80 Nadeln rechnen. Die Rohre Sp werden auf einer Seite etwas flach gefeilt, die Nadeln werden einzeln mit Schmirgelpapier abgerieben und mit den Spitzen in entsprechenden Abständen in einen Pappstreifen gesteckt und mit ihren Köpfenden — die Köpfe selbst sind alle mit einer Drahtzange abgezwickelt worden — auf die abgeflachte Seite des Rohres gelegt; durch Beschweren und Unterstützen werden beide Teile in dieser Lage festgehalten und mit Lötlwasser bestrichen; unter Anwendung von ziemlich viel Lot werden die Nadeln aufgelötet. Nach dem Erkalten wird die ganze Lotstelle sorglich rund gefeilt. Sollte sich nachher herausstellen, daß einige Nadeln zu lang sind und die Glascheiben berühren, so kann man sie durch Biegen nach oben oder unten auf ihren richtigen Abstand bringen. Ist dies alles geregelt, so können wir die Rohre a über die noch frei über c hinausragenden Endstücke von Sp schieben und anlöten. An die Enden selbst löten wir kleine Kugeln k. Die Enden der Rohre a haben wir schon vorher, wie bei dem Konduktor in Abb. 3, mit Kugelhauben versehen.

Die Elektrodenstangen. Nun wären noch die Elektrodenstangen anzubringen; ihre Form geht aus Abb. 29 hervor; sie werden aus dem gleichen Material gefertigt wie die Spitzenkämme und müssen sich in der für sie bestimmten Bohrung in a hin und her schieben lassen. Die inneren Enden werden mit Kugeln versehen, die äußeren müssen isolierende Griffe erhalten. Diese können wir uns selbst in der Weise herstellen, daß wir die mit einer groben Feile aufgerauhten Enden mehrfach mit in Schellackfirnis getränktem Bindfaden umwickeln und nach dem Austrocknen des Schellacks mit einer dicken Schicht roten Siegelack überziehen, oder ein Glasrohr aufsitzen.

Die Ausgleicher.

Abb. 26 zeigt nun noch die beiden Ausgleicher A, die wir aus zwei Kupferdrähten von 2 bis 3 mm Stärke herstellen; die Länge der Drähte darf etwas weniger als der Durchmesser der Scheiben betragen. Sie werden mit ihren Mitteln an den Achsenträgern befestigt und erhalten an ihren Enden aus Metall-dresse hergestellte Pinselchen, die auf den Scheiben, etwa 4 cm vom Rande, leicht aufliegen sollen. Die Stellung der beiden Ausgleicher ist aus Abb. 26 zu ersehen: A_2 ist der vordere und bildet mit den Rämmen einen Winkel von 45° , A_1 befindet sich auf der anderen Seite der Scheiben und kreuzt A_2 unter einem rechten Winkel.

Aufkleben des Scheibenbelages.

Nun geht die Maschine ihrer Vollendung entgegen. Wir nehmen die Scheiben nochmals heraus und bestreichen alle Holzteile mit Schellack. Die Scheiben selbst versehen wir jetzt mit den Stanniolbelägen: Wir zeichnen auf einen Bogen Papier einen Kreis, dessen Durchmesser gleich dem Scheibendurchmesser ist. Dieser Kreis ist in Abb. 32 mit a bezeichnet; außerdem zeichnen wir mit einem 2 bis 2,5 cm kleineren Radius einen zweiten (b) und mit einem jenach Scheibengröße 6 bis 10 cm kleineren Radius einen dritten konzentrischen Kreis (c). Den Umfang der Kreise b und c teilen wir dann in 16 bis 24 gleiche Teile und verbinden die Teilpunkte paarweise. Endlich zeichnen wir wie in

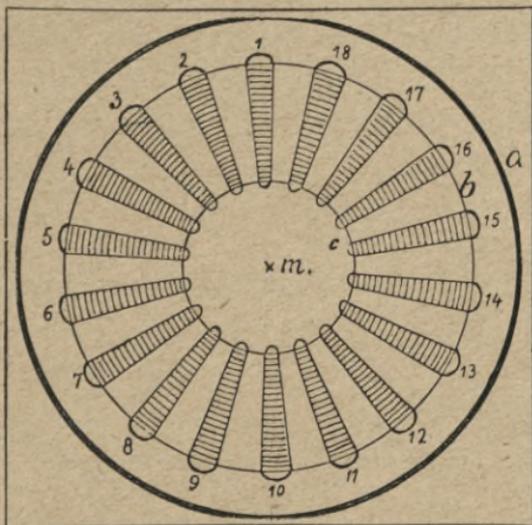


Abb. 32. Stanniolbeläge an den Außenseiten der Scheiben.

Abb. 32 um diese Linien schraffierte Flächen auf, die etwa halb bis ein Drittel so breit sind als ihre Zwischenräume. Einen dieser Sektoren schneidet man heraus und fertigt sich nach seinem Muster die doppelte Anzahl (32 bis 48) Beläge aus starkem Stanniol. Man legt zunächst die eine, dann die andere Scheibe auf die Zeichnung und beklebt eine jede da, wo die schraffierten Flächen durchscheinen, mit Stanniolbelägen. Das Bekleben geschieht folgendermaßen: man bestreicht den Stanniolstreifen auf einer Seite mit einem Pinsel mit Spiritus, legt ihn mit der bestrichenen Seite auf die Glasplatte, gleich genau an seinen Platz, und streicht ihn dann mit dem Finger fest auf, ohne ihn aber dabei zu verschieben.

Die Treibschnüre.

Sind die Sektoren alle aufgeklebt, so kann die Maschine wieder zusammengesetzt werden, und es fehlen dann nur noch die Treibschnüre. Da sich die Scheiben in entgegengesetzter

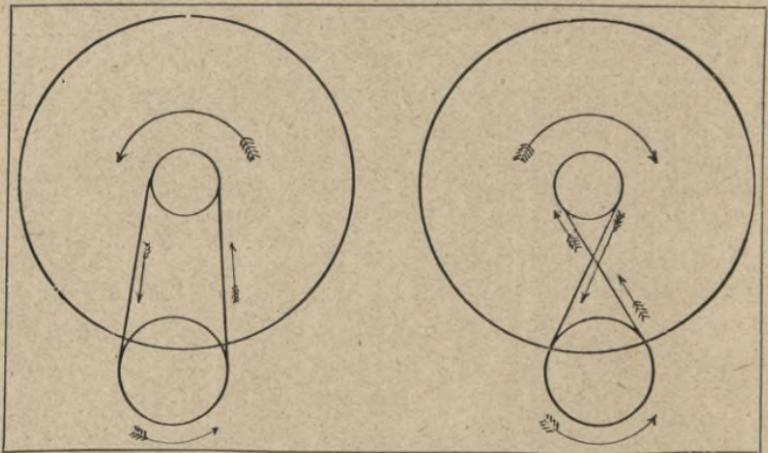


Abb. 33. Auflegen der Treibschnüre.

Richtung drehen müssen, so können wir dies nur dadurch erreichen, daß wir auf der einen Seite die Schnur direkt, auf der anderen sich kreuzend über Triebrad und Triebrolle führen. Abb. 33 veranschaulicht diese Anordnung.

Pünktliche, saubere Arbeit ist die erste Bedingung für das Gelingen. Wer alle hier gegebenen Anweisungen

genau befolgt, dem bleibt der Erfolg sicher nicht aus. Die Maschine selbst muß auch nach der Fertigstellung sehr sorgfältig behandelt werden. Vor allem muß sie bei Nichtgebrauch vor dem schädlichen Verstauben bewahrt bleiben, weshalb es sehr ratsam ist, eine Papierhülle herzustellen, wie dies schon bei der Reibungselektrifiziermaschine (Seite 17) beschrieben wurde. — Läßt bei ein- bis zweijährigem Gebrauche die Wirkung der Maschine nach, so sind die Scheiben völlig von ihrem Überzug und ihren Belägen zu befreien und müssen von neuem hergerichtet werden, genau so, wie das erste Mal. — Für den Besitzer einer Influenzelektrifiziermaschine ist eine Reibungselektrifiziermaschine überflüssig; diese hat nur den Vorzug, daß sie einfacher herzustellen ist; dagegen ist sie weniger leistungsfähig und erfordert viel mehr Arbeit, um aus ihr die benötigte geringe Menge von Elektrizität zu erhalten. Die Influenzmaschine kann für viele Versuche einen Funkeninduktor ersetzen.

Die letzten Vorbereitungen zum Vortrag.

Da unser Rudi alles, was er einmal anfang, auch pünktlich und gut ausführte und lieber etwas mehr Zeit aufwandte, als etwas schlecht zu machen, so war es über seinen Vorbereitungen Winter geworden. Die nötigen Apparate waren fertig, auch wäre es in seinem Dachkammerchen jetzt zu kalt gewesen, um noch darin zu arbeiten. Es handelte sich noch darum, den Vortrag selbst auszuarbeiten und schließlich denn auch wirklich zu halten. Die Ausarbeitung des Vortrags machte unserem Rudi zwar mehr Mühe, als er sich anfangs vorgestellt hatte, doch wurde er verhältnismäßig bald damit fertig, und nun wurden die Zuhörer und Zuhörerinnen geladen auf einen Sonntagnachmittag 6 Uhr.

Es galt zunächst, das größte Zimmer der Wohnung in ein Auditorium umzuwandeln. Zu diesem Zwecke wurde, von den schweren Möbeln abgesehen, alles aus dem Zimmer herausgeräumt; zwei Schritte von der einen kürzeren Wand entfernt wurde ein langer Tisch aufgestellt und vier Schritte davon begannen die Stuhlreihen. Auf dem Tisch hatte Rudi die Apparate so aufgestellt, wie er sie nacheinander in seinem Vortrag brauchte. Die Mitte des Tisches hatte er freigelassen. Außerdem versah er die

einzelnen Lampen des Kronleuchters nach der Seite der Zuhörer mit Lampenschirmen, so daß der Experimentiertisch zwar hell beleuchtet, die Stuhlreihen aber im Schatten waren. Mit der Ausführung der einzelnen Experimente hatte Rudi bereits seine jüngere Schwester Käthe vertraut gemacht; sie sollte ihm während des Vortrags assistieren.

Der Vortrag.

Unter allerlei Vorkehrungen, die noch getroffen werden mußten, verging der Nachmittag, die geladenen Gäste begannen zu kommen, und als die letzte Tante eingetreten war und Platz genommen hatte, erschien Rudi, gefolgt von seiner Schwester, die sich auf der einen Seite auf einen Stuhl setzen mußte, stellte sich hinter seinen Tisch, schlug bedächtig sein Vortragskonzept auf, ließ einen forschenden Blick über die Zuhörer schweifen und begann also zu sprechen:

„Meine Damen und Herren! Zuerst meinen besten Dank für Ihr zahlreiches Erscheinen. Ich hoffe, daß es mir gelingt, Ihnen heute einige interessante und lehrreiche Experimente vorzuführen, Experimente aus dem Gebiet der Reibungs- und Influenzelektrizität.

Die geriebene Siegellackstange.

Das Wort Elektrizität stammt von dem griechischen Worte Elektron, das Bernstein bedeutet. Es war schon den alten Griechen bekannt, daß Bernstein, wenn er gerieben wird, die Fähigkeit erlangt, kleine leichte Gegenstände anzuziehen. Wie Sie alle wissen, ist Bernstein ein Harz, und wir können daher dieses bekannte Experiment mit jeder Siegellackstange wiederholen (Käthe war aufgestanden, rieb die bereitgelegte Siegellackstange mit einem wollenen Lappen und führte das Experiment aus), wie Sie hier sehen. Es gibt nun noch eine ganze Reihe von Körpern, die durch Reibung diese Fähigkeit erlangen, die, wie wir uns ausdrücken, elektrisch werden. So werden wohl manche von Ihnen schon die Beobachtung gemacht haben, daß beim Kämmen der Haare mit einem Kautschukamme dieser elektrisch wird und die Haare anzieht; oft hört man dabei ein Knistern, und im Dunkeln sieht man kleine Flämmchen überspringen. Hier wird ein Stab aus Hartgummi gerieben, er zeigt die gleiche Fähigkeit, ebenso

dieser Glasstab. Wer eben den Vorgang genau beobachtet hat, konnte sehen, daß einige der angezogenen Papierschnitzel, kaum daß sie an dem Glasstab hingen, gleich wieder weggeschleudert wurden. Woher mag das kommen?

Anziehung und Abstossung.

Ich habe hier an diesen beiden Gestellen je ein Holundermarkkügelnchen an einem Faden aufgehängt. Ich reibe diesen Hartgummistab mit einem Katzenfell, und Sie sehen, wenn ich ihn hier in die Nähe bringe, so wird das Holundermarkkügelnchen sehr rasch angezogen, doch kaum hängt es am Stab, so wird es heftig abgestoßen und weicht nunmehr ständig dem Stab aus. Ich will das gleiche Experiment mit diesem zweiten Holundermarkkügelnchen anstellen: es wird ebenfalls angezogen, doch springt dieses nicht ab; es bleibt vielmehr fest hängen; ich reiße es los, es wird wieder angezogen. Was mag den Unterschied dieser beiden Erscheinungen hervorrufen? Dies erste Kügelchen wird immer noch abgestoßen, das zweite angezogen. Wenn Sie genauer zusehen, so bemerken Sie, daß das erste Kügelchen hier an einem seidenen, das zweite an einem leinenen Faden aufgehängt ist. Es muß also zwischen Seide und Leinen ein ganz besonderer mit der Elektrizität zusammenhängender Unterschied bestehen. Sehen wir zu, daß wir noch mehr Stoffe nach dieser Art voneinander unterscheiden können. Ich will einmal das Kügelchen mit den Fingern berühren; nun wird es von dem frischgeriebenen Hartgummistab

Leiter und Nichtleiter.

wieder angezogen, doch alsbald wieder abgestoßen. Berühre ich es mit diesem Glasstab, der nun nicht mehr elektrisch ist (Näthe hatte ihn unterdessen, um ihn zu entelektrisieren, mehrmals durch eine zu diesem Zwecke aufgestellte Weingeistflamme gezogen), so verliert es seine Eigenschaft, von dem Hartgummistab abgestoßen zu werden, nicht; berühre ich es dagegen mit dieser Messingröhre, so fällt es wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurück und wird wieder erst von dem Ebonitstab angezogen. Ich wiederhole dieses Experiment mit Gummi, Eisen, Holz, Schwefel, Seide, Leinen, Porzellan, Kupfer. Diejenigen Stoffe, bei deren Berührung das Holundermark-

Kügelchen seinen Zustand nicht ändert, will ich hier (rechts), die anderen hier (links) hinlegen. (Er führte die Versuche aus.) Sie sehen, hier (rechts) liegt der Gummischlauch, diese Schwefelstange, das Seidentuch und der Porzellanteller, hier auf dieser Seite (links) ist es dies Messer, der Holzstab, das Leinentuch und der Kupferdraht. Wir können also hier die verschiedenen Stoffe in zwei Gruppen trennen: in solche, die den elektrischen Zustand des Holundermarkkügelchens ableiten, und in solche, die ohne Einfluß auf ihn sind. Die Stoffe, die diesen elektrischen Zustand abzuleiten vermögen, nennen wir kurz Leiter, die anderen nennen wir Nichtleiter oder Isolatoren. Es wären also Glas, Siegellack, Seide, Porzellan, Gummi, Schwefel Nichtleiter oder Isolatoren, dagegen Leinen, der menschliche Körper, Holz, die verschiedenen Metalle Leiter der Elektrizität zu nennen. Daraus erklärt sich auch, warum sich das Holundermarkkügelchen am Leinenfaden anders verhält wie das am Seidenfaden. (Raum hatte Rudi das letzte Experiment beendet, als seine kleine Assistentin das Holundermarkkügelchen mit dem Leinenfaden entfernte und dafür ein solches an einem Seidenfaden an dem Gestell aufhängte.) Ich habe hier zwei Holundermarkkügelchen, beide an Seidenfäden, also isoliert

Die verschiedenen Elektrizitäten. aufgehängt. Ich will jedes einzeln mit diesem geriebenen Glasstab berühren; Sie sehen das gleiche Schauspiel wie vorhin, und nun werden beide von dem Glasstab abgestoßen; ich rücke jetzt die beiden Gestelle zusammen, so daß unter normalen Verhältnissen die Kügelchen einander berühren müßten, aber sie stoßen nun einander ab; ich berühre sie mit der Hand, und jetzt hängen sie ganz friedlich dicht nebeneinander. Ich will das eine wieder mit dem geriebenen Glasstab berühren (nachdem er die Gestelle wieder auseinandergerückt hatte), das andere aber mit diesem Ebonitstab und die Gestelle vorsichtig wieder einander nähern: Sie sehen, die Kügelchen ziehen einander an, jetzt sind sie beisammen und nun fallen sie wieder auseinander und reagieren auch aus allernächster Nähe nicht aufeinander. Es muß also zwischen der Elektrizität des

Glasz und des Ebonitz ein Unterschied bestehen. Ich will einmal den gleichen Versuch mit Ebonit und Siegellack machen. (Das Reiben der Stäbe besorgte stets Käthe mit großem Eifer.) Nun verhalten sich die Kügelchen so wie vorhin, als ich beide mit dem Glasstab berührte; also ist zwischen der Elektrizität des Siegellacks und des Ebonitz kein Unterschied. Ferner ersehen wir aus diesen Versuchen, daß, wenn beide Kügelchen mit der gleichen Elektrizität ‚geladen‘ sind — um diesen Ausdruck jetzt schon zu gebrauchen — sie einander abstoßen, dagegen anziehen, wenn sie verschiedene Elektrizitäten tragen. Sie sehen daraus, meine Damen und Herren, daß das Sprichwort: ‚Gleich und gleich gesellt sich gern‘ hier nicht gilt.

Erklärungen über die elektrischen Erscheinungen.

Über die eigentliche Natur der elektrischen Erscheinungen war man lange Zeit nicht ins Klare gekommen. Hypothesen kamen und gingen, und früher wurde ein heftiger und leidenschaftlicher Kampf um die einzelnen Erklärungen geführt. Es ist heute nicht meine Aufgabe, Ihnen die geschichtliche Entwicklung darzutun, ich will nur versuchen, Ihnen ein Bild, oder richtiger gesagt: Bilder der Vorgänge zu entwerfen, Bilder, die Ihnen verständlich sein können und die sich an die Tatsachen so nahe anlehnen, daß sie für Sie als Erklärungen der Erscheinungen gelten können.

Man weiß heute, daß die elektrischen Erscheinungen eng verknüpft sind mit den magnetischen, daß sie als Zustände des hypothetischen Aethers aufzufassen und qualitativ mit Licht und Wärme identisch sind. So kam es auch, daß die Erkenntnis der elektrischen Vorgänge fast alle bis dahin noch vorhandenen Rätsel der Lichterscheinungen gelöst hat. Wird ein Körper gerieben, so werden durch den mit der Reibung verknüpften Wechsel zwischen Berührung und Trennung die den Molekülen beigeordneten, die elektrischen Werte tragenden sogenannten Elektronen, die vorher willkürlich durcheinander lagen, in eine bestimmte Ordnung und Stellung zueinander gebracht; dadurch wird nicht nur der geriebene, sondern auch der reibende Körper in den eigentümlichen elektrischen Zustand versetzt. Daß auch der reibende Körper elektrisch wird, sehen Sie hier: Ich fasse diesen amal gamierten Federlappen, um ihn von meiner

Hand zu isolieren, mit dem Seidentuche an und reibe damit den Glasstab, mit welchem ich das eine Holundermarkkugelnchen berühre; mit diesem Reibzeug berühre ich das andere Holundermarkkugelnchen, und nun sehen Sie, daß die beiden einander anziehen, also entgegengesetzt oder, wie man zu sagen pflegt, ungleichnamig geladen sind. Man kann sich die Elektrizitäten als zwei verschiedene Stoffe denken, die alle Körper erfüllen und die für gewöhnlich nicht zur Geltung kommen, da, wenn von beiden gleichviel vorhanden ist, sie einander

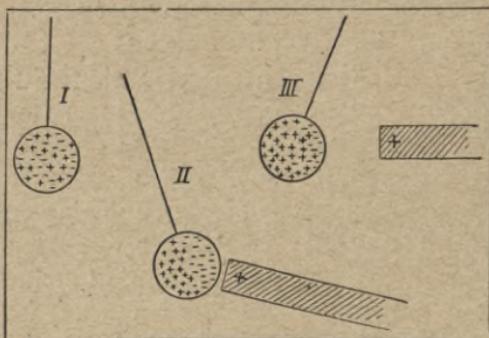


Abb. 34. Vorgang der Anziehung und Abstoßung.

binden. Durch Reibung aber werden beide getrennt; der eine bleibt auf dem reibenden, der andere auf dem geriebenen Körper. Diejenige Elektrizität, die der Glasstab beim Reiben annimmt, bezeichnen wir mit diesem Zeichen (hier machte Rudi auf eine an der Türe hinter seinem Tisch angebrachte Tafel mit Kreide ein $+$ -Zeichen) und nennen sie positive Elektrizität; die andere, welche der Siegelack- oder Hartgummistab annimmt, wird mit diesem Zeichen ($-$) versehen und heißt negative Elektrizität. Den Vorgang der Anziehung und Abstoßung soll Ihnen diese Zeichnung hier veranschaulichen. (Räthe hielt einen großen, mit weißem Papier überzogenen Pappdeckel in die Höhe, auf welchen Rudi die obenstehende Abb. 34 in großem Maßstabe aufgezeichnet hatte.) Sie sehen hier, dies stellt eine Holundermarkkugel dar; die positiven und negativen Elektrizitäten sind regellos verteilt. Bringe ich nun diesen positiv elektrischen Glasstab in die Nähe, so werden die negativen Elektrizitätsteilchen der Kugel auf die dem Stab zugekehrte, die positiven dagegen auf die entgegengesetzte Seite wandern; da nun die ungleichnamigen Elektrizitäten einander näher sind als die gleichnamigen, so wird die Holunder-

binden. Durch Reibung aber werden beide getrennt; der eine bleibt auf dem reibenden, der andere auf dem geriebenen Körper. Diejenige Elektrizität, die der Glasstab beim Reiben annimmt, bezeichnen wir mit diesem Zeichen (hier machte

markkugel angezogen. Doch da bei der Berührung ein Teil der positiven Elektrizität vom Glasstab auf die Kugel, von dieser aber ein Teil der negativen Elektrizität auf den Glasstab übergeht, so wird auf der Kugel bald ein Überschuß von positiver Elektrizität sein, und deshalb wird jetzt das Kügelchen abgestoßen. Anders verhält sich die Sache, wenn ich das Holundermarkkugeln an einem Leinenfaden aufhänge, es also in leitende Verbindung mit der Erde bringe: dann flieht die abgestoßene Elektrizität nicht nur auf die andere Seite des Kügelchens, sondern nimmt ihren Weg durch den leitenden Faden hindurch bis in die Erde, und es bleibt nur die angezogene Elektrizität zurück; deshalb wird auch das am Leinenfaden aufgehängte Kügelchen nicht abgestoßen, wie das am Seidenfaden befestigte.

Elektrische Verteilung.

Um diese Vorgänge gewissermaßen dem Auge sichtbar zu machen, dient dieser einfache Apparat hier: ein auf einer isolierten Glas Säule ruhendes und mit Kugeln versehenes Messingrohr; hier nahe den beiden Enden habe

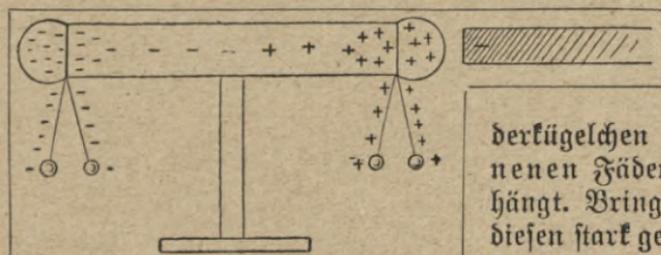


Abb. 35. Darstellung der Verteilung der Elektrizitäten.

ich je zwei Holunderkugeln an leinenen Fäden aufgehängt. Bringt man nun diesen stark geriebenen Ebonitstab in die Nähe des einen Endes dieses

Konduktors, so sehen Sie, daß die Kügelchen beider Paare einander abstoßen. Die Erklärung dieser Erscheinung gibt Ihnen diese Tafel hier (Käthe nahm die zweite Tafel hoch, auf der das in Abb. 35 dargestellte Schema zu sehen war): Dieser negativ geladene Ebonitstab zieht die positiven Elektrizitätsteilchen auf die ihm zugekehrte Seite des Konduktors und treibt alle anderen nach dem entgegengesetzten Ende; daher werden die beiden Kügelchen eines jeden Paares gleichnamig geladen und stoßen einander deshalb ab. Entferne ich nun den Stab wieder, so sinken sie zusammen.

Ich kann die Verteilung der Elektrizitäten auch noch anders nachweisen. Ich entferne zu diesem Zwecke die Kügelchen. Hier habe ich an einem Seidenfaden eine kleine Messingkugel aufgehängt; bringe ich sie mit einem elektrisch geladenen Körper in Berührung, so nimmt sie dessen Elektrizität an, wie vorhin jenes Holundermarkkügelchen. Ich will nun an diesem Gestell hier das elektrische Pendel, wie man die Einrichtung auch nennt, mit positiver Elektrizität laden, indem ich es mit dem geriebenen Glasstabe berühre. Bringe ich dann wieder wie vorhin den Ebonitstab in die Nähe des Konduktors und berühre mit diesem Messingkügelchen, das durch den Seidenfaden von meiner Hand isoliert ist, das dem Ebonitstab zugewandte Ende dieses Leiters, so muß es dessen Elektrizität annehmen; welcher Natur diese ist, können wir an dem elektrischen Pendel sehen; es ist positiv geladen und wird von dem Messingkügelchen abgestoßen, also enthält letzteres auch positive Elektrizität, welche ich ihm durch Berühren mit der Hand entziehe. Ich mache nun den gleichen Versuch, berühre das dem Ebonitstab abgewandte Ende des Konduktors, und Sie sehen, daß das Holundermarkpendel von dem Messingkügelchen angezogen wird. Wir haben also wirklich auf diesem Konduktor die beiden Elektrizitäten getrennt.

Ich bringe nun an dem Konduktor die beiden elektrischen Pendel wieder an. Wenn ich den Ebonitstab in die Nähe bringe, so divergieren sie, wenn ich ihn entferne, so fallen sie wieder zusammen. Wenn ich aber diesen Konduktor, während der Hartgummistab in der Nähe ist, einen Augenblick mit dem Finger berühre und dann den Stab entferne, so divergieren nun beide Pendel, obgleich ich den elektrischen Stab weit entfernt halte. Die Erklärung des Vorganges ist sehr einfach: Berühre ich den Konduktor, dessen Elektrizitäten durch die Nähe des elektrischen Stabes verteilt sind, mit der Hand, so wird die abgestoßene negative Elektrizität zur Erde abgeleitet, während seine positive, durch die negative des Ebonits gebunden, allein zurückbleibt; entferne ich nun zuerst die Hand, dann den Stab, so bleibt der Rest positiver Elektrizität auf dem ganzen Leiter verteilt zurück, wie die Pendel zeigen; daß

num an beiden Enden wirklich gleiche Elektrizitäten sind, können wir wieder mit dem Messingkügelchen nachweisen (hier führte Rudi den oben genannten Versuch nochmals aus). Dadurch sind wir also in stand gesetzt, einem isolierten Körper eine elektrische Ladung zu geben. Man sagt, z. B., dieser Messingkonduktor sei positiv geladen. Bringe ich in die Nähe eines solchen geladenen Körpers einen ungeladenen, mit der Erde in leitender Verbindung stehenden, z. B. meinen Finger, so sehen Sie, daß ein kleiner Funke überspringt. (Damit dieser Funke besser gesehen werde, beschattete Käthe mit einem großen schwarzen Karton den Konduktor und die Hand ihres Bruders.) Was ist nun dieser Funken, woher kommt er und wann tritt er auf? Die positive Elektrizität des Konduktors zieht die negative Elektrizität meines Körpers an; es sammelt sich also in meiner Fingerspitze eine gewisse Menge negativer Elektrizität an; je mehr ich den Finger dem Konduktor nähere, desto stärker naturgemäß wirken die beiden Elektrizitäten aufeinander und schließlich so stark, daß sie den Widerstand, den der Luftzwischenraum ihnen entgegensetzt, überwinden und sich durch die Luft hindurch vereinigen.

Das Elektroskop.

Hier habe ich noch einen einfachen Apparat, der dazu dient, geringere Mengen von Elektrizität nachzuweisen: Er besteht aus einer Glasflasche, durch deren Kork ein Messingstäbchen geht, das hier unten zwei Plättchen aus ganz dünnem Metall trägt. Bringe ich in die Nähe dieser Kugel einen elektrischen Körper, so tritt, wie vorhin bei dem Konduktor, elektrische Verteilung ein, weshalb die beiden Plättchen, da sie gleichnamig geladen sind, divergieren.

Das Elektrophor.

Die Tatsachen der elektrischen Verteilung hat man benutzt, um einen einfachen Apparat zur Erzeugung von Elektrizität zu konstruieren. Es ist das Elektrophor. Sie sehen hier eine Scheibe aus Schellack; ich lege sie auf ein Blatt Stanniol und reibe sie mit einem Fuchsschwanz ab, wodurch sie elektrisch wird. Lege ich nun einen Metalldeckel hier darauf, so wird in ihm die Elektrizität so verteilt, daß die positive auf der Unterseite, von der negativen des Ruchens ge-

bunden, die negative auf der Oberseite sich befindet; berühre ich den Deckel mit der Hand, so leite ich dadurch die abgestoßene negative Elektrizität ab und es bleibt nur noch positive zurück. Hebe ich die Metallscheibe jetzt an dem isolierenden Glasgriff empor, so kann ich ihr, wie vorhin bei dem Konduktor, mit dem Finger einen Funken entlocken.

Oberflächenverteilung und Spitzenwirkung.

Aus all diesen Experimenten geht also, um dies nochmals zu betonen, deutlich hervor, daß die gleichnamigen Elektrizitäten einander abstoßen, sich so weit voneinander entfernen, als sie nur können, und daß die ungleichnamigen einander anziehen und binden. Wenn wir dies bedenken, dann müssen wir zur Annahme kommen, daß z. B. bei einer elektrisch geladenen Kugel sich die größte Menge der Elektrizität auf der Oberfläche ansammeln muß, da ja die einzelnen elektrischen Teilchen einander fliehen, soweit sie nur können; oder daß bei einem mit Ecken und Spitzen versehenen Körper sich die Elektrizität besonders in diesen anhäuft. Dies ist auch in der That der Fall, wie wir mit dieser Kugel beweisen können: Ich will sie einmal mittels des Elektrophors mit positiver Elektrizität laden und ebenso dieses Holundermarkkügelnchen. Sie sehen, das Holundermark wird abgestoßen; nun umgebe ich die Kugel und berühre sie dabei mit diesen beiden Halbkugeln (Abb. 4), entferne sie wieder, und Sie sehen, diese stoßen das Holundermarkkügelnchen ab, während nun die Kugel unelektrisch geworden ist.

Das elektrische Flugrad.

Daß sich die Elektrizität besonders stark in Spitzen anhäuft und infolge davon auch leicht aus diesen in die Luft ausströmt, beweist das sogenannte elektrische Flugrad. Ich habe hier ein Rädchen mit umgebogenen Spitzen; ich setze es auf eine Nadel, welche ich durch ein Kettenchen mit dieser Maschine, die ich nachher noch erklären werde, verbinde; durch die Drehung der Scheibe dieser Maschine wird Elektrizität erzeugt, die sich nun in den Nadelspitzen ansammelt, und schließlich so stark aus ihnen ausstrahlt, daß sich infolge des Rückstoßes das Rädchen dreht. Nehme ich das Rädchen ab, halte diese einzelne Nadelspitze gegen die Flamme der Kerze hier und lasse die Maschine drehen, so

sieht es aus, als ob von dieser Spitze ein Wind ausginge; dies ist auch in der That der Fall, und die Erscheinung rührt daher, daß infolge der starken Ansammlung der Elektrizität in der Spitze die benachbarten Luftteilchen ebenfalls elektrisch werden, und da sie nun die gleiche Elektrizität enthalten wie die Spitze, so werden sie von dieser abgestoßen, was dann die Winderscheinung, elektrischer Wind genannt, verursacht.

Kondensatoren.

Aus den eben vorgeschriebenen Experimenten ist ersichtlich, daß es nicht gerade so ganz einfach sein wird, auf einem Leiter eine größere Menge von Elektrizität anzusammeln; denn sobald sie eine gewisse Dichte erreicht hat, so fängt sie an, einfach in die Luft auszufließen. Um dies zu verhindern, hat man, ich möchte sagen, eine kleine List angewendet:

Franklinsche Tafel.

Ich habe hier eine Glastafel, auf beiden Seiten mit Stanniol überzogen; lade ich mit dem Elektrophor die eine Seite mit positiver Elektrizität, so wirkt diese verteilend auf die Elektrizitäten des anderen Belages: die negative wird angezogen, die positive abgestoßen. Berühre ich nun diesen Belag mit dem Finger, so leite ich die freie, abgestoßene Elektrizität fort; nun ist hier nur noch negative und auf der anderen Seite positive Elektrizität; da beide einander anziehen und sich deshalb binden, so kann ich nun noch mehr positive Elektrizität zuführen. Der gleiche Vorgang wird sich wiederholen, und ich kann ein drittes Mal laden u. s. f. bis zu einer gewissen Grenze, die wir später kennen lernen werden. Erwähnt sei noch, daß es nicht einerlei ist, welcher Stoff sich zwischen den beiden Leitern befindet. Stelle ich zwei Metallplatten, die den Stanniolblättern dieser Tafel entsprechen, mit geringem Abstand einander gegenüber, so daß nur Luft dazwischen ist, so kann ich keine so starke Ladung erzeugen, als wenn ich z. B. eine isolierende Flüssigkeit (Petroleum) oder einen festen Körper dazwischen bringe. Die Kapazität, d. i. Aufnahmesähigkeit für Elektrizitätsmengen, ist also nicht nur von der Größe des Leiters, sondern auch von der Natur der isolierenden Substanz abhängig. Man hat nun bestimmt, wievielmals größer die Kapazität der gleichen Metallplatten bei gleichem Abstand wird, wenn

man statt Luft andere Isolatoren verwendet; die Zahlen, die sich dabei für die verschiedenen Stoffe ergeben haben, nennt man deren Dielektrizitätskonstanten bezogen auf Luft = 1. Wir werden nachher eine Methode kennen lernen, die uns erlaubt, die Kapazität eines Kondensators zu messen. Habe ich zwei Metallplatten, die auf Glasfüßen isoliert nur 5 mm voneinander entfernt stehen, so kann ich, sofern nur Luft zwischen den Platten ist, auf der einen Platte, während die andere zur Erde abgeleitet ist, eine gewisse Elektrizitätsmenge aufladen; bringe ich z. B. Glas dazwischen, so kann mehr Elektrizität in die Platte dringen. Ich führe den Versuch nicht aus, weil er mich zu lange aufhielte.

Leidener Flasche.

Nichts anderes, als eine veränderte Form dieser Tafel, die auch die Franklin'sche Tafel genannt wird, ist die Kleiſche oder Leidener Flasche. Sie sehen eine solche hier. Will ich sie laden, so stelle ich sie so auf, daß der äußere Stanniolbelag in leitender Verbindung mit der Erde steht, damit die freie Elektrizität abströmen kann. Ich kann die Leidener Flasche dadurch laden, daß ich möglichst oft aus dem geladenen Elektrophorteller ein Zündchen in den Messingknopf der Flasche, der durch diese Stange mit dem inneren Belag in Berührung steht, überspringen lasse. (Während Rudi so sprach, führte Käthe den Versuch aus.) Nachdem nun etwa fünfzig kleine Zündchen in die Flasche übergegangen sind, will ich das Laden unterbrechen und den gebogenen Draht, den ich an diesem isolierenden Griffe anfasse, mit dem einen Ende an den äußeren Belag anlegen und das andere der Kugel nähern (ein heller klatschender Funke sprang über). Nun haben die beiden Elektrizitäten, die sich durch das Laden auf den Belägen angesammelt haben, durch den mittels des Entladers verkürzten Luftzwischenraum hindurch einander ausgeglichen, wodurch die Flasche unelektrisch, das heißt entladen worden ist.

Die Massflasche.

Die Mengen der Elektrizität, die sich in einer solchen Flasche ansammeln lassen, sind nicht unbegrenzt, sondern hängen von der Größe der Stanniolbeläge und von dem Dielektrikum ab; je mehr

Elektrizität ein Kondensator, wie solche Sammelvorrichtungen auch genannt werden, zu fassen vermag, desto größer ist seine Kapazität, und wir können diese Kapazität eines Kondensators messen, indem wir die eines anderen als Maß benutzen. Einen solchen Maßstab sehen Sie hier; er ist im Grunde nichts anderes, als eine gewöhnliche Leidener Flasche. Ich kann z. B. messen, wievielmals so groß die Kapazität dieser großen Flasche ist als die einer kleineren. Ich stelle den Kondensator, dessen Kapazität ich messen will, isoliert auf. (Räthe, welche unterdessen die Apparate zusammengestellt und verbunden hatte, verwendete zur isolierenden Aufstellung der großen Flasche den Elektrophorkuchen, den sie noch

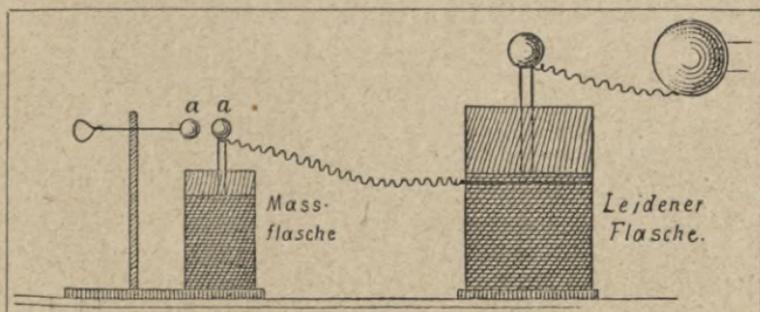


Abb. 36. Messen der Kapazität.

mit einem vierfach zusammengelegten Seidentuche bedeckte. Dann stellte sie den Karton mit dem in Abb. 36 dargestellten Schema auf.) Ich verbinde den äußeren Belag der zu messenden mit dem inneren der messenden Flasche und den inneren der ersteren mit dem Konduktor der Elektrifiziermaschine. Setze ich nun diese in Bewegung, so wird die große Flasche geladen; die dabei frei werdende Elektrizität auf dem äußeren Belag der großen Flasche wird hier aber nicht zur Erde abgeleitet, sondern dazu benutzt, die Maßflasche zu laden. Stelle ich nun diese beiden Kugeln (a a in Abb. 36) auf einen bestimmten Abstand, so wird sich die Maßflasche, sobald sie eine gewisse Ladung erhalten hat, durch den geringen Zwischenraum hindurch entladen, um gleich wieder von der immer noch frei werdenden Elektrizität des äußeren Belages neu geladen zu werden,

bis ein zweiter Funke überspringt. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis auf der großen Flasche keine freie Elektrizität mehr austritt, das heißt bis sie ganz geladen ist. Ich lasse nun die Maschine in Bewegung setzen und zähle die überspringenden Funken: eins — zwei — drei — vier — fünf — sechs — — nun kommt keiner mehr. Die hier frei werdende Elektrizität hat also ausgereicht, die kleine Flasche sechsmal zu laden. Ich will nun statt dieser eine größere Flasche benutzen. (Rudi schaltete jetzt seine größte Leidener Flasche ein und wiederholte den Versuch, wobei zwölf Funken übersprangen.) Hier sind nun zwölf Funken übergesprungen, also gerade nochmal so viel wie bei der kleineren Flasche; die Kapazität dieser ist also nur halb so groß, als die der großen. Der besprochene Apparat wird nach seinem Erfinder die Lanesche Maßflasche genannt.

Die Reibungselektisiermaschine.

Ich will nun noch die Maschine, die ich heute schon mehrmals gebraucht habe, und ihre Wirkungsweise erklären. Sie erinnern sich ja noch, daß der Glasstab, mit dem amalgamirten Lederlappen gerieben, elektrisch wurde. Hier bei dieser Maschine wird eine Glasscheibe dadurch, daß man sie zwischen zwei anliegenden, amalgamirten Lederlappen dreht, elektrisch; unweit des Reibzeuges ist die Scheibe von zwei mit vielen Spitzen versehenen Brettchen umfaßt; die Spitzen, die aus Stecknadeln hergestellt sind, stehen in metallischer Verbindung mit der Messingkugel. Erinnern Sie sich nun an die Erscheinungen der elektrischen Verteilung, so werden Sie leicht einsehen, daß von der positiv geladenen Glasscheibe die positive Elektrizität in die Kugel abgestoßen, die negative aber in die Spitzen angezogen wird. Die Folge davon ist, daß die negative Elektrizität, von den Spitzen auf die Glasscheibe ausströmend, diese unelektrisch macht, auf dem Konduktor dagegen sich freie positive Elektrizität zeigt. Aber nicht nur dies tritt ein, sondern man kann geradezu sagen, daß die positiven Elektrizitätssteilchen der Glasscheibe, da sie einander gegenseitig abstoßen, einander selbst in die Spitzen hineinjagen, oder, wie man sich fälschlicherweise auszudrücken pflegt, von diesen angesaugt werden; daher auch der Name Saugspitzen.

Die Influenzelektrisiermaschine.

Eine zweite Maschine, die ebenfalls zur Erzeugung von Elektrizität dient, sehen Sie hier vor sich; es ist die sogenannte Wimshurst'sche Maschine. Sie ist auf dem Prinzip der Influenz konstruiert. Elektrische Influenz ist im allgemeinen nicht verschieden von der schon eingehend besprochenen elektrischen Verteilung. Hier sind zwei Ebonitscheiben, die in entgegengesetzter Richtung gedreht werden; diese aufgeklebten Stanniolsektoren wirken gegenseitig etwa so, wie bei den Versuchen über elektrische Verteilung der Hartgummistab und der Konduktor. Die Abteilung der freien Elektrizität, die dort durch Berühren mit der Hand hergestellt wurde, besorgen hier die Ausgleicher; nur werden dabei die freien Elektrizitäten der Sektoren, die jeweils von diesen Pinselchen berührt werden, nicht zur Erde abgeleitet, sondern sie gleichen einander aus. Durch diese Wechselwirkungen wird erreicht, daß die Stanniolsektoren der beiden Glasscheiben gerade dann gleiche Ladung haben, wenn sie einander zwischen den Spitzenkämmen gegenüberstehen. Da jedoch die beiden Elektrizitäten einander abstoßen, so treiben sie einander in die Spitzen, und durch die Elektrodenstangen, die zu Anfang zusammenstoßen müßen, findet ein Ausgleich der beiden Elektrizitäten statt. Entferne ich die Kugeln etwas voneinander, so geht ein kontinuierlicher Funkenstrom über.

Ausgleich der verschiedenen Elektrizitäten.

Über den Ausgleich der Elektrizitäten will ich nun noch einiges erwähnen. Sie haben solche Ausgleiche bei dem Funken des Elektrophortellers und bei der Entladung einer Leidener Flasche schon gesehen. Wir haben oben gesagt, daß die Elektrizität als ein Zustand des Aethers aufzufassen ist, ein Zustand, der von bestimmten Punkten eben jener oben schon erwähnten Elektronen ausgeht und sich mit diesen im Raum bewegen kann. Wir haben bisher hauptsächlich Erscheinungen der ruhenden Elektronen betrachtet; in dem Ausgleich der verschiedenen Elektrizitäten erkennen wir aber bewegte Elektronen. Wie man sich nun den Vorgang eines derartigen Ausgleiches vorstellen kann, möge Ihnen aus folgender Analogie erhellen: Sie erblicken hier auf dieser Tafel (Abb. 37) zwei Behälter, deren einer mit Wasser gefüllt ist; hier unten ist ein Hahn, den wir uns

vorerst geschlossen denken wollen. Der gefüllte Behälter stellt einen positiv geladenen Leiter dar, der leere einen solchen mit negativer Ladung: der geschlossene Hahn kommt der isolierenden Substanz gleich, die die beiden Leiter noch trennt.

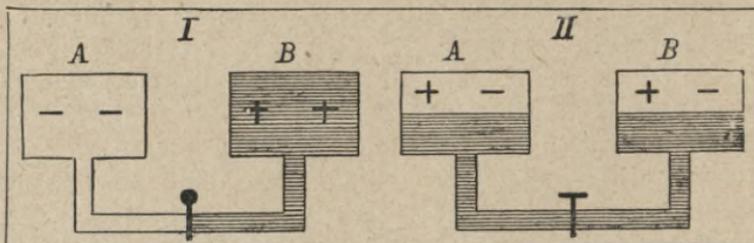


Abb. 37. Darstellung des Ausgleiches der Elektrizitäten.

Öffne ich den Hahn, so fließt ein Teil des Wassers in den anderen Behälter, bis es in beiden gleich hoch steht. Die analoge Erscheinung bei entgegengesetzt elektrisch geladenen Körpern tritt ein, wenn wir sie mit einem Draht verbinden, oder so nahe zusammenrücken, daß ein Funke überspringt. Dabei ist aber eines noch zu beachten: bei dem Beispiel mit den Wasserbehältern scheint der Ausgleich nur in der einen Richtung und zwar in der des fließenden Wassers zu geschehen; wir müssen uns deshalb die ursprüngliche Leere des Behälters A auch als ein bewegliches Medium vorstellen, das beim Öffnen des Hahns in B hinüberfließt, also entgegen dem Wasserstrom. Wollen wir uns auf Kosten der leichten Verständlichkeit genauer ausdrücken, so müssen wir sagen: wir betrachten die Änderungen der Zustände „leer“ und „voll“. Ich will einmal annehmen, B sei mit zwei Raummengen Wasser, die hier mit zwei Pluszeichen angegeben sind, gefüllt; diesen entsprechen zwei Raummengen Leere im Behälter A, die mit zwei Minuszeichen veranschaulicht seien. Öffne ich nun den Hahn, so fließt die Hälfte der Wassermenge B in A hinüber; dadurch ist nun A nur noch halb leer, B dagegen nur noch halb voll; in jedem Behälter ist also ein Raumteil Leere und ein Raumteil Wasser. Die zweite Figur der Tafel zeigt Ihnen diesen Zustand. Sie sehen hier in jedem Behälter je ein + und ein -; auf die elektrischen Verhältnisse übertragen, heißt das so viel als daß der Körper A und der Körper B nun unelektrisch sind.

Der elektrische Strom.

Wenn man von einem elektrischen Strome spricht, so versteht man gewöhnlich nur den positiven Richtungsstrom darunter, das heißt in unserem Beispiel nur den Fluß des Wassers aus dem gefüllten in den leeren Behälter. Man darf aber dabei nie vergessen, daß auch der negative Strom fließt. Was in unserem Beispiel die Röhre ist, durch die bei geöffnetem Hahn das Wasser fließt, ist bei der Elektrizität eine leitende Verbindung, z. B. ein Metalldraht. Also so wie durch die Röhre das Wasser, so fließt durch den Draht, der zwei entgegengesetzt geladene Körper verbindet, ein elektrischer Strom, oder genauer zwei Ströme, ein positiver und ein diesem entgegengesetzter negativer. Das Fließen des elektrischen Stromes geht nun freilich nicht in dem Draht vor sich, sondern es ist eine auf seiner Oberfläche verlaufende Verteilung der elektrischen Zustände ähnlich wie oben an Hand der Abb. 35 erläutert.

Erwärmung durch den elektrischen Strom.

Daß an einem zwei verschieden geladene Körper verbindenden Draht tatsächlich etwas vor sich geht, beweist neben vielem anderen der Umstand, daß sich dieser Draht erwärmt. Die Erwärmung können wir mit einem Apparat (Abb. 14) nachweisen. Ich habe hier in einem geschlossenen Raum eine Drahtspirale, durch welche ich einen elektrischen Strom leiten kann; wird durch diesen Strom der Draht warm, so wird die Luft erwärmt, dehnt sich aus, drückt dadurch auf die blaue Flüssigkeitssäule in der Glasröhre und wird sie um einige Dezimeter heruntergeschoben. (Rudi machte den Versuch, indem er die Entladung seiner größten Leidener Flasche durch die Drahtspirale des Apparats gehen ließ.)

Der Blitz.

Ich will noch einiges über die allen bekannte elektrische Erscheinung des Gewitters sagen. Der Blitz ist ein riesenhafter elektrischer Funke, oft von mehreren Kilometern Länge. In seiner Natur ist er von den Funken, die ich hier erzeugen kann, nicht verschieden; auch er ist der Weg eines elektrischen Ausgleiches durch die Luft. Die Lichterscheinung rührt von der starken Erhitzung der Luft und der Staubteilchen her, die dabei ins Glühen geraten. Woher die Wolken,

zwischen denen der Blitz überspringt, ihre elektrische Ladung erhalten, ist bis jetzt noch nicht völlig aufgeklärt. Wenn wir eine isolierte Spitze oder besser eine Flamme mit den Blättchen eines guten Elektroskopes (siehe Anhang) verbinden und sie an einer langen Stange in die Luft hinaufhalten, während das Gehäuse mit der Erde leitend verbunden ist, so erhalten wir einen Ausschlag, dessen Größe von vielen Faktoren, z. B. Ort, Jahreszeit, Feuchtigkeit, Temperatur, Abstand von der Erde usw. abhängig ist. Diese Tatsache beweist, daß von den höheren Luftschichten nach der Erde zu ein Potentialgefälle vorhanden ist, das man bei sehr großen Schwankungen auf rund 100 Volt pro Meter veranschlagen kann; daraus folgt, daß die ganze Erdoberfläche eine starke negativ-elektrische Ladung besitzt. Dieses bei gutem Wetter ziemlich gleichmäßige Spannungsgefälle erleidet bei Wolken- und Gewitterbildungen ganz beträchtliche Störungen, die so stark werden können, daß zwischen Wolken und Erde oder zwischen zwei Wolken Spannungsdifferenzen auftreten, die in die Millionen Volt betragen. Die Folge dieser großen Spannungen ist der Blitz. Sind die Spannungen nicht so stark, daß es zum Funkenausgleich kommt, so findet eine allmähliche Ausstrahlung der Elektrizität statt, was sich bei Nacht durch feine „Büschellichter“, auch „St. Elmsfeuer“ genannt, zu erkennen gibt: An Blitzableitern, Hausvorsprüngen, Schiffsmasten und ähnlichen hervorragenden Gegenständen sieht man bläuliche Lichtbüschel, die den Glimmentladungen unserer Elektrifiziermaschinen gleichen. Endlich sei auf die ebenfalls elektrische Erscheinung des „Nordlichtes“ besser „Polarlicht“ noch hingewiesen; man sieht in polaren Zonen nachts eigenartige prächtige Lichterscheinungen am Himmel, die in ihrer Häufigkeit und Intensität im Zusammenhang zu stehen scheinen mit den Perioden der Sonnenflecke. Man will sie mit den Erscheinungen, die wir später bei den Geißleröhren kennen lernen werden, in Zusammenhang bringen, doch sind gerade hier die bekannten Tatsachen noch zu spärlich. Es fehlt uns eben für die Elektrizität ein Sinn; wir können sie nicht sehen, nicht hören, nicht schmecken usw. Das ist auch der Grund, warum es so lange dauerte, bis

es gelang, mehr in das Wesen der Elektrizität einzudringen, nur aus ihren Wirkungen konnte man auf ihre Gesetze schließen. Dem ernstesten und unermüdlischen Forscherstudium ist es aber heute gelungen, den Zusammenhang dieser bisher so geheimnisvollen Naturerscheinungen mit den übrigen unseren Sinnen direkt zugänglichen und daher viel früher erkannten zu finden. Noch nicht alle Fragen sind gelöst, aber der Weg der Erkenntnis liegt offen vor uns."

Sich verbeugend schlug Rudi sein Vortragskonzept, in das er nur selten einen flüchtigen Blick geworfen hatte, zu, und während die Zuhörer eifrig Beifall klatschten, verschwand er, gefolgt von seiner Schwester, mit würdiger Miene, wie er gekommen. — Unter den Zuhörern war

Kritik des Vortrages. auch ein sachkundiger Onkel, der den Abend noch in der Familie verbrachte. Diesen bat Rudi um eine ausführliche Kritik über den Vortrag, welche etwa folgendermaßen lautete:

"Zuerst muß ich bemerken, daß der ganze Vortrag ein klein wenig zu lang war; er hat zu vielerlei gebracht, und das hat sicher viele des Auspassens ungewohnte Zuhörer ermüdet. Du hättest manches weglassen können, wie z. B. die ausführliche Beschreibung der Maßflasche; auch hätten andere Abschnitte wie der über elektrische Verteilung kürzer zusammengefaßt werden dürfen. Die Anordnung des Ganzen war gut, nur hätte ich die Beschreibung der Reibungselektrifiziermaschine früher gebracht. Auch die Experimente waren gut ausgeführt bis auf die ersten Versuche mit den Holundermarkflügelchen, die sich, da sie weiß waren, von dem weißen Kleide der meist dahinterstehenden Rätche kaum abhoben; ein schwarzer Karton, hinter den elektrischen Pendeln aufgestellt, hätte diesen Übelstand beseitigt. Im übrigen kann ich," fuhr der Onkel zu Rätche gewandt fort, "der kleinen Assistentin nur meine größte Bewunderung und Anerkennung aussprechen. Ferner hätte ich an deiner Stelle, wie schon gesagt, vieles kürzer gestaltet, dafür aber noch eingehender über die Gewitterbildung gesprochen. Den Blitzableiter und seine Wirkung hast du ganz vernachlässigt, und das hätte doch sicher sehr viele der Zuhörer interessiert; das hättest du schon bei der Erwähnung

der Spitzenwirkung vorbringen können.“ „Ja,“ warf Rudi ein, „den Blitzableiter habe ich im Vortrag nur vergessen, im Konzept steht ein ganzer Abschnitt darüber.“ „Dann habe ich nichts weiter auszusetzen; du hast laut und deutlich gesprochen, und das ist immer viel wert.“ Nun sprachen die beiden noch über die verschiedensten Experimente, und Rudis Onkel wußte noch ein wenig gekanntes, aber leicht ausführbares und sehr interessantes Experiment: Die Benutzung einer Influenzelektrifiziermaschine als Motor.

Die Influenzmaschine als Motor.

Am sichersten gelingt der Versuch mit zwei Influenzmaschinen, einer größeren und einer kleineren; man kann aber auch eine der Influenzmaschinen durch eine gute Reibungselektrifiziermaschine ersetzen. Von der Maschine, die als Motor dienen soll, entfernt man die Treibschnüre und verbindet die auseinandergeschobenen Elektroden durch zwei Kupferdrähte mit den sich anfangs berührenden Elektroden der größeren Influenzmaschine, die man nun in Gang setzt, wonach die Elektroden so weit als möglich voneinander entfernt werden. Dadurch erhalten die beiden Spizenkämme der als Motor dienenden Maschine entgegengesetzte Ladungen, z. B. der rechte positive, der linke negative; so werden beide Scheiben auf der rechten Seite positiv und auf der linken negativ elektrisch; sie stoßen also einander ab und beginnen sich in entgegengesetzter Richtung zu drehen, wobei die elektrischen Vorgänge genau so, nur in umgekehrter Reihenfolge, wie bei der die Elektrizität erzeugenden Maschine eintreten. Es ist möglich, daß dabei anfangs die beiden Scheiben derart einander das Gleichgewicht halten, daß sie sich nicht von selbst zu drehen beginnen; es genügt dann ein kleiner Anstoß der einen Scheibe. Hat man die Maschine kurz vorher in Gang gesetzt, so läuft sie sicher von selbst an.

Es sei nun noch erwähnt, daß der Besitzer eines sogenannten Elektrophorkastens die darin meist sehr zahlreich vorhandenen elektrischen Spielzeuge in einem solchen Vortrage nur möglichst kurz vorführen soll; sie unterhalten zwar die Zuschauer, haben aber theoretisch zu wenig Bedeutung; es sind eben nur Spielzeuge, und wir haben darum auch die Beschreibung ihrer Herstellung weggelassen.



Da Rudiz erster Vortrag allgemeine Anerkennung bei seinen Verwandten und Bekannten gefunden hatte, ließ er nicht viel Zeit verstreichen, bis er an die Vorbereitungen zu einem zweiten ging. Er wollte diesen wissenschaftlicher gestalten als den ersten und darum nur Freunde und solche Verwandte einladen, bei denen er mehr Vorkenntnisse voraussetzen konnte. Für die Tanten und Basen wollte er dann außerdem noch einen gemeinverständlichen Vortrag halten.

Da es zu weit führen würde, so sei diesmal nicht der ganze Vortrag wörtlich wiedergegeben, sondern es sollen nur die ausgeführten Experimente beschrieben werden. Auch setzte sich Rudi diesmal das, was er sprechen wollte, nicht wörtlich auf, sondern legte sich nur eine Übersicht zurecht, die er während des Vortrages auf dem Tisch liegen hatte; damit er nicht wieder einen Teil vergesse, strich er jeweils den behandelten Abschnitt in seiner Niederschrift, dem Konzept, durch.

Auch diesmal sollte Käthe wieder die Assistentin sein; sie half nicht nur bei der Ausführung der Versuche, sondern sogar bei der Herstellung der Apparate selbst.

Geschichte der Entdeckung des galv. Stromes.

In der Einleitung des Vortrages erwähnte Rudi, daß man während langer Zeit keine andere Methode als die der Reibung und Influenz zur Erzeugung von Elektrizität kannte, bis im Jahre 1789 Galvani, Professor der Medizin in Bologna, eine ihm anfangs unerklärliche Beobachtung machte: er hatte, um den Einfluß der Lufterlektrizität auf die Nerven zu untersuchen, an einem eisernen Geländer eine Anzahl an einen Kupferdraht befestigte Froschschenkel aufgehängt. Sobald nun der Wind diese hin und her blies und die unteren

Enden der Schenkel das Eisengeländer berührten, zuckten sie heftig zusammen. Galvani selbst kam aber dem Wesen dieser Erscheinung nicht auf die Spur, und erst Volta stellte fest, was für Bedingungen erfüllt sein mußten, damit der Versuch gelänge. Erstens mußten irgend zwei verschiedene Metalle vorhanden sein (bei Galvanis Versuch waren es Eisen und Kupfer), die einander einerseits unmittelbar berühren, anderseits aber durch eine salzige oder saure Flüssigkeit verbunden sind (der im Salzwasser gewaschene Froschschenkel). Der Froschschenkel selbst war für das Gelingen des Versuches nur insofern nötig, als er einen an sich unsichtbaren Vorgang anzeigte, indem er durch sein Zucken erkennen ließ, daß irgend etwas in ihm vorginge.

Die Entstehung des galv. Stromes.

Volta fand nun durch eine ganze Reihe von Versuchen folgendes: Werden zwei verschiedene Metalle in eine angesäuerte Flüssigkeit gebracht und außerhalb derselben durch einen Draht verbunden, so spielt sich in dem dadurch gebildeten geschlossenen Kreis ein ganz bestimmter Vorgang ab. Der Anzeiger dieses Vorganges war anfangs der zuckende Froschschenkel, doch entdeckte man bald eine ganze Anzahl besserer und zweckmäßigerer (sicherer)

Mittel, um das Vorhandensein dieses Zustandes nachzuweisen. Man fand die Ähnlichkeit dieser Erscheinungen mit den bekannten elektrischen Vorgängen und ein sicheres, wenn auch nicht sehr feines Erkennungsmittel war die Erwärmung, die alle vom Strom durchflossenen Leiter zeigen. Hier wies Rudi auf den entsprechenden Versuch in seinem letzten Vortrag hin, während Käthe folgendes einfache Experiment ausführte: In einem Glasgefäß (Gl in Abb. 38) hatte sie verdünnte Schwefelsäure (1 Teil Schwefelsäure und 10 Teile Wasser. Man

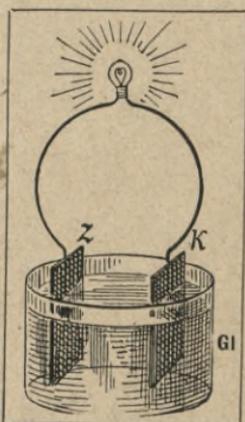


Abb. 38. Darstellung des galvanischen Stromes.

muß hierbei zuerst das Wasser eingießen, und dann unter ständigem Umrühren mit einem

Glasstabe langsam die Schwefelsäure zugießen, da eine sehr starke Erwärmung eintritt¹⁾. In diese Flüssigkeit tauchte sie während des Vortrages eine Zink- und eine Kupferplatte, die einander selbst nicht berühren durften; an jeder Platte war ein etwa 30 cm langer Kupferdraht angelötet. Zum Nachweis der Erwärmung bei geschlossenem Kreis hängte sie an die Drahtenden eine kleine 1 Volt-Glühlampe, die nun hell aufleuchtete, sobald die Platten in die Flüssigkeit kamen. Auch mit dem in Abb. 14 dargestellten Luftthermometer wies Rudi die Erwärmung des Drahtes nach und sprach dann über die Vorgänge, die den elektrischen Strom erzeugten.

Die elektromotorische Kraft.

Wenn man irgend zwei verschiedene Metalle, z. B. Kupfer und Zink, in eine angesäuerte Flüssigkeit taucht, so entsteht auf jedem der beiden Metalle eine elektrische Spannung, das ist eine gewisse elektrische Ladung, und zwar ist immer die eine der beiden Platten positiv, die andere negativ elektrisch. Verbindet man die beiden Platten mit einem Leiter, z. B. einem Kupferdraht, so gleichen sich die verschiedenen Ladungen aus, doch es bilden sich sofort wieder neue, so daß durch den Draht ein fortwährender Strom fließt. Dabei bemerken wir, daß sich das Zink unter Wasserstoffbildung viel rascher in der verdünnten Schwefelsäure auflöst als unter normalen Umständen, ohne die Gegenwart eines anderen Metalles. Es spielt sich also auch neben dem elektrischen ein chemischer Vorgang ab, und zwar ist der chemische der primäre, der elektrische dagegen der sekundäre. Chemische Vorgänge sind es, die den beiden Metallplatten ihre verschiedene Ladung erteilen. Jedoch müssen auch noch andere Einflüsse dabei im Spiele sein, denn man hat gefunden, daß es genügt, zwei verschiedene Metalle ohne Feuchtigkeit

¹⁾ Schwefelsäure zersetzt sehr rasch jede organische Substanz, weshalb man seine Hände und Kleider vorsichtig vor ihr schützen soll. Verdünnte Schwefelsäure wirkt nicht so rasch, doch hat man damit sich oder seine Kleider begossen, so unterlasse man es nicht, sofort mit Ammoniak (Salmiakgeist) die betreffenden Stellen abzuwaschen.

miteinander in Berührung zu bringen, um auf ihnen verschiedene Ladungen hervorzurufen. Wir wollen nur daran festhalten, daß, wenn irgend zwei verschiedene Metalle in eine angesäuerte Flüssigkeit gebracht werden, auf ihnen entgegengesetzte Ladungen entstehen. Man hat durch Versuche die Metalle so in einer Reihe angeordnet, daß je ein vorhergehendes mit irgend einem nachfolgenden in eine saure Flüssigkeit gebracht, immer positiv elektrisch wird, während das zweite negative Ladung erhält. Dabei ist der Unterschied in der Stärke der beiden Ladungen, die sogenannte Spannungsdifferenz, umso größer, je weiter die Stoffe in der genannten Reihe, der Spannungsreihe, auseinanderstehen. Je stärker die Spannungsdifferenz ist, umso stärker wird auch der Strom sein, der den verbindenden Draht durchfließt. Der Strom wird also von einer unbekanntem, wahrscheinlich von chemischen Vorgängen herrührenden Energie in Bewegung gesetzt und erhalten, und man spricht deshalb von einer elektromotorischen Kraft; je größer sie ist, um so stärker ist auch der Strom, den sie in Bewegung setzen kann.

Soviel sprach Rudi etwa über die theoretischen Dinge und ging dann dazu über, den Zuhörern die verschiedenen Arten von Stromquellen, bei denen chemische Energie zur Erzeugung der Elektrizität verwendet wird, vorzuführen.

Herstellung verschiedener Elemente.

Da es nicht nur von theoretischem, sondern auch von praktischem Interesse ist, wie man mit einfachen Mitteln starke, ausgiebige Stromquellen, sogenannte Elemente, sich herstellen kann, so sei an dieser Stelle die Anfertigung einer größeren Anzahl der verschiedensten Elemente beschrieben.

Das einfachste Element ist schon in der Abb. 38 dargestellt; es gibt 1,1 bis 1,2 Volt; es ist ziemlich konstant, jedoch für Demonstrationszwecke nur bei kurzer Benützung geeignet, da der sich an der Zinkelektrode bildende Wasserstoff mit der Zeit lästig auf die Atmungsorgane wirkt.

Das Leclanché-Element.

Ein sehr einfaches und leicht herzustellendes Element ist das von Leclanché. Wir können uns die Bestandteile dazu

laufen. Abb. 39 zeigt zwei verschiedene Formen: Bei A dient ein Hohlzylinder aus Retortenkohle mit Braunstein gefüllt als positive Elektrode, bei B steht dagegen ein Kohlenstab, in ein Gemisch von Kohle und Braunstein eingebettet, in einem porösen Tonzylinder. Die einzelnen Bestandteile der Elemente sind bei beiden:

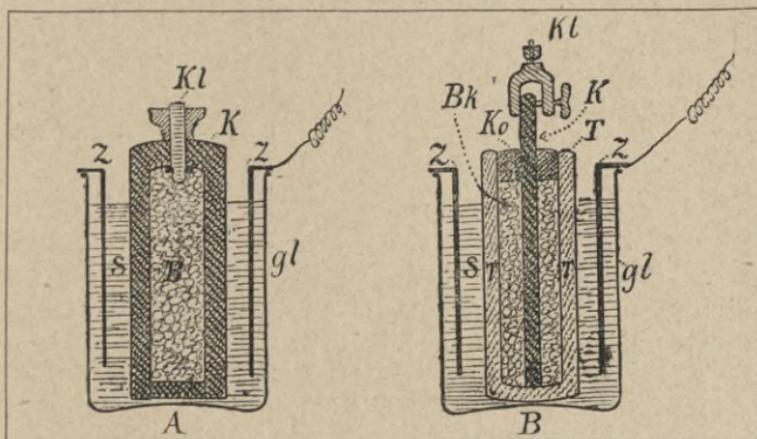


Abb. 39. Veclanché-Elemente.

erstens ein Glasgefäß (gl). Hierzu können gewöhnliche Einmachgläser verwendet werden; auch kann man von hinreichend weiten Flaschen den oberen Teil samt dem Hals absprennen. Dazu wird die Flasche vorsichtig über einer Flamme so stark als möglich erwärmt (jedoch bei weitem nicht bis zum Glühen!) und dann entlang der Stelle, an welcher der Sprung entstehen soll, mit einem nassen Bindfaden umgeben, worauf der Hals abfällt. Um die dabei entstehenden außerordentlich scharfen Ränder des Glases unschädlich zu machen, versieht man sie mit einem Wulst von Siegellack, der aber sehr heiß auf das vorgewärmte Glas aufgetragen werden muß, da er sonst schlecht hält. Wir können uns auch vier- oder mehrkantige Gläser nach der auf Seite 78 u. ff. beschriebenen Weise herstellen. Zweitens ein Zinkzylinder (z). Diesen biegen wir aus mindestens 1,5 mm starkem Zinkblech und versehen ihn mit drei Ansätzen, die auf dem Glasrande aufliegend ihu

tragen; außerdem wird an einem der Ansätze ein 30 cm langer, 1 bis 1,5 mm starker, unifolierter, zur Spirale gewundener Kupferdraht angelötet und die Lotstelle mit Asphaltlack bestrichen. Drittens bei A aus einem hohlen Kohlenzylinder (K), der mit feingekörntem Braunstein (B) gefüllt und unten mit einem Kork verschlossen ist; oben in dem Kohlenzylinder ist eine Klemmschraube (Kl) befestigt. Bei Abb. B haben wir einen porösen Tonzylinder (T) in dem, wie schon erwähnt, ein in einem gleichteiligen Gemisch von feingekörntem Braunstein und feingekörnter Retortenkohle (Reststücke von Bogenlampenkohlen) oder Koks (Bk) eingebettet ein Kohlenstab (K) steht, der um einige Zentimeter den Tonzylinder überragt. An dem freien Ende wird eine Klemme (Kl) angebracht. Die Braunsteinkohle-

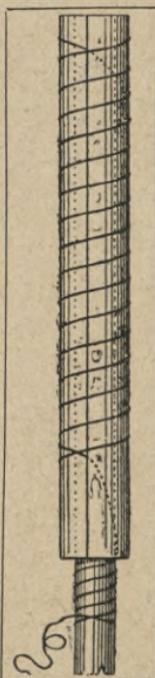


Abb. 40. Holzstab für Anfertigung von Gipszylindern.

füllung darf den Zylinder nicht ganz ausfüllen, sondern es sollen oben 2 bis 3 cm freibleiben, welcher Raum dann mit Kollophonium (Ko) ausgegossen wird. Beide Elemente werden bis einige Zentimeter vom oberen Rande mit gesättigter Salmiaklösung gefüllt. Alle Kohlen und auch die Tonzylinder müssen an ihren oberen Enden, soweit diese aus der Flüssigkeit herausragen sollen, einige Minuten in kochendes Paraffin getaucht werden. Ein mit entsprechenden Ausschnitten versehener Deckel aus einem Stück in Paraffin gekochter, nicht zu schwacher Pappe verhindert das zu rasche Verdunsten der Flüssigkeit.

Anfertigung von Gipszylindern.

Da wir bei den nachher zu beschreibenden Daniellschen und Bunsenschen Elementen ebenfalls poröse Zylinder brauchen, so sei an dieser Stelle die Herstellung solcher aus Gips beschrieben.

An Hand der folgenden fünf Abbildungen 40 bis 44 ist das Verfahren leicht zu erklären. Wir richten uns einen etwa 30 cm langen, 3 bis 4 cm dicken, runden Holzstab (ein Stück Besenstiel) her und umwinden ihn mit einer dünnen Schnur

oder einem starken Leinenfaden, wie dies aus Abb. 40 bei dem unten freien Ende des Holzstabes zu sehen ist. Um diesen herum wickeln wir nun mehrere Lagen eines starken Papiers, bis der Stab so dick geworden ist, als der Hohlraum des Zylinders weit sein soll. Das Abrollen der

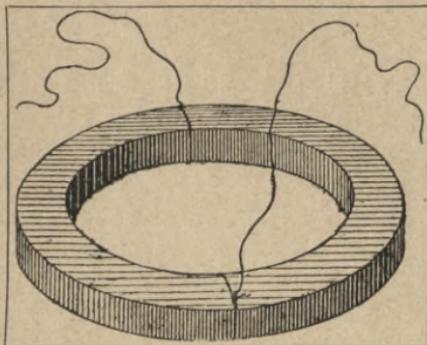


Abb. 41. Gummiring.

Papierumhüllung verhindern wir durch Umwinden mit einem dünnen gewöhnlichen Nähfaden. Abb. 40 zeigt diesen ersten Bestandteil der Gußform. Nun brauchen wir zwei Gummiringe, die so stark sein müssen, als die Wandungen des Zylinders dick werden sollen. Diese Ringe können wir aus einem Gummischlauche herstellen, indem wir Stücke von passender Länge über eine Kordel ziehen und die Enden mit Gummilösung zusammenkleben. An einem Ringe werden, wie Abb. 41 zeigt, an zwei Stellen Bindfäden befestigt. Bevor die Ringe auf den Stab geschoben werden, wird dessen Papierbelag mit Fett (Schweinschmalz) eingerieben. Die obere Fläche soll möglichst eben sein, etwa vorhandene Spalten zwischen den einzelnen Papierlagen müssen mit Fett angestrichen werden. Nun wird der eine Ring mit den Fäden auf das obere Ende des Stabes geschoben; der andere von unten her so weit von diesem entfernt, als die Tiefe des Zylinders betragen soll. Aus der Abb. 42 ist diese Anordnung deutlich zu erkennen.



Abb. 42. Holzstab nach Befestigen der Gummiringe.

Des weiteren richten wir uns aus starkem Papier einen ziemlich langen Streifen, der etwa 5 cm breiter ist, als der Abstand der

beiden Gummiringe beträgt. Dieser Papierstreifen soll, wie aus dem Längsschnitt der Abb. 43 zu ersehen ist, über den Stab, durch die Gummiringe von ihm getrennt, aufgerollt werden und zwar so, daß der entsprechende Rand der Papierhülle

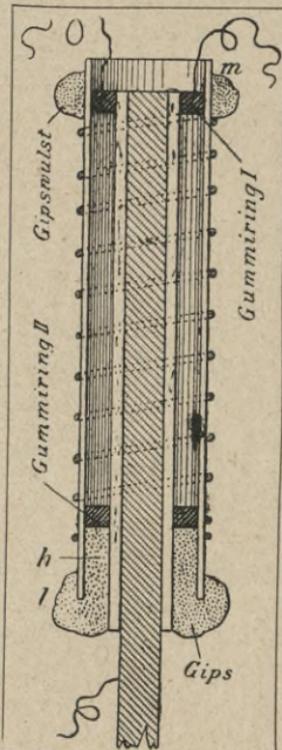


Abb. 43. Aufrollen des Papierstreifens.

vor dem Aufwickeln ein entsprechend breites Stück mit Fett. Das selbsttätige Aufrollen der Hülle verhindert man wiederum durch Umwinden mit Bindfaden.

Der Hohlraum, der in Abb. 43 mit h bezeichnet ist, wird nun mit ziemlich dickflüssigem Gipsbrei unter Benutzung eines Messers ausgestrichen, und außerdem wird

1 cm (oder mehr, je nachdem die Stärke des Bodens gewünscht wird) über das obere Ende des Stabes hinausragt. Die Innenseite der Papierhülle muß ebenfalls stark eingefettet sein, und man bestreicht deshalb am besten

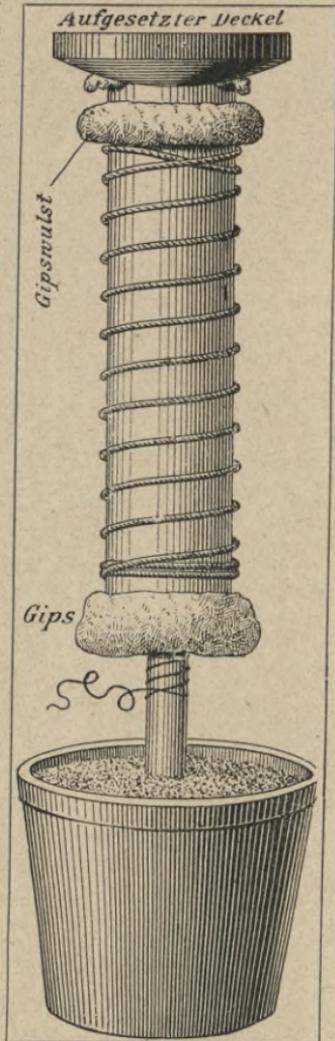


Abb. 44. Die fertige Form zur Herstellung von Gipszylindern.

die Stelle auch außen noch mit einem Wulst von Gips (l) umgeben. Ebenso wird an dem oberen Ende ein Gipskranz m angebracht.

Sind die Gipswülste, die zur Erhöhung der Festigkeit der Form dienen, genügend getrocknet, so wird der obere Gummiring mit Hilfe der beiden Fäden herausgezogen, und nun ist die Form fertig. Abb. 44 zeigt, wie man sie in einem mit Erde gefüllten Blumentopfe bequem senkrecht aufstellen kann.

Im Gusse darf nur ganz reiner, guter Gips verwendet werden. Wir gehen am sichersten, wenn wir uns an einem bereits erhärteten Stückchen Gips davon überzeugen, ob es, in verdünnte Schwefelsäure geworfen, seine Festigkeit nicht verliert. Der Gipsbrei darf nicht zu wässerig sein, er soll gerade noch gut fließen, wenn er in die Form gegossen wird. Etwa mitgerissene Luftblasen werden durch vorsichtiges Erschüttern der Form zum Steigen gebracht und an der Oberfläche dann abgestrichen. Um dem Boden eine Wölbung nach innen zu geben, wird irgend ein nicht zu stark gewölbter Gegenstand (z. B. ein Schaumlöffel oder irgend ein passender Deckel) eingefettet und auf die Form gedrückt, so daß noch etwas Gips auf den Seiten herausquillt.

Ist der Guß — man kann dies an dem oben herausgequollenen Gips erkennen — hinreichend erhärtet, so wird die Form aus dem Blumentopf herausgenommen und umgedreht und der um den Holzstab gewundene Faden wird an dem freien Ende herausgezogen. Dadurch wird der Stab frei und kann auch herausgenommen werden. Nun rollt man den inneren Papierstreifen nach innen zusammen und nimmt ihn ebenfalls heraus. Die äußere Hülle springt nach Entfernung der Gipswülste und der Schnur von selbst los. Runden wir noch die meist zu scharfen Kanten mit einem Messer ab, so ist der Zylinder fertig.

Indem wir den Holzstab mit verschieden starken und langen Papierbelägen umwickeln, können wir den Zylindern die verschiedensten Formen geben. Die einzelnen Bestandteile der Form lassen sich wieder zusammensetzen und von neuem gebrauchen.

Kohlenelektroden.

Für Leclanché-Elemente sind die sog. Kohlebeutelelektroden der Verwendung von Zellen vorzuziehen, schon deshalb, weil sie viel einfacher herzustellen sind. Die Ansicht einer solchen Elektrode zeigt Abb. 45, der Durchschnitt ist in Abb. 46



Abb. 45. Kohlenelektrode.

zeigt Abb. 45, der Durchschnitt ist in Abb. 46 dargestellt. Wir besorgen uns eine gewöhnliche Bogenlampenkohle, deren Dicke sich nach der Größe des Elementes richten muß. Für ein Element mittlerer Größe soll sie etwa 1,5 bis 2,0 cm dick und 15 bis 20 cm lang sein. Der Kohlestab muß zu $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ seiner Länge in einem mit einem Braunsteinkohlegemisch gefüllten Tuchbeutel stecken. Wir seilen nahe dem unteren Ende der Kohle eine nur wenig tiefe Ringnut ein und ebenso an der Stelle, bis zu welcher der Beutel reichen soll. Ein beiderseits offenes Säckchen aus starkem Leinwandstoff wird einerseits in die untere Nut eingebunden und mit einem gleichtheiligen Gemisch aus ziemlich fein gekörntem Braunstein und Koks (oder Retortenkohle) gefüllt. Damit der Beutel eine regelmäßige Form erhält, umgeben wir ihn mit einem Zylinder aus Pappdeckel, den wir mit einer Schnur umwinden, damit er einigen Druck aushält. Jetzt wird die Füllung unter Zugabe von Wasser mit einem Holzstab so fest als möglich in das Säckchen hineingepreßt und festgestampft; dann wird der obere Rand des Säckchens in die obere Ringnut der Kohle eingebunden. Nach Entfernung des Pappzylinders wird der Beutel noch mit Schnur befestigt, wie dies aus der Abb. 45 zu ersehen ist. Der aus dem Beutel herausragende Teil der Kohle wird in kochendes Paraffin getaucht und dann wird am oberen Ende die

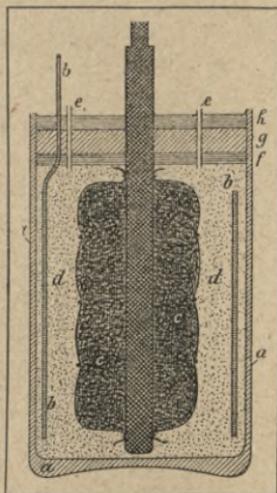


Abb. 46. Trodenelement (Durchschnitt).

Rundung mit der Feile etwas abgeflacht, damit eine Klemmschraube bequem angefestet werden kann.

Das Trockenelement.

Auch die in neuerer Zeit so sehr beliebt gewordenen Trockenelemente kann man sich leicht selbst herstellen; sie sind ebenfalls nach dem System von Leclanché konstruiert. An Hand der Abb. 46 sei ihre Anfertigung erklärt: Als Behälter (a in Abb. 46) für das Trockenelement wählen

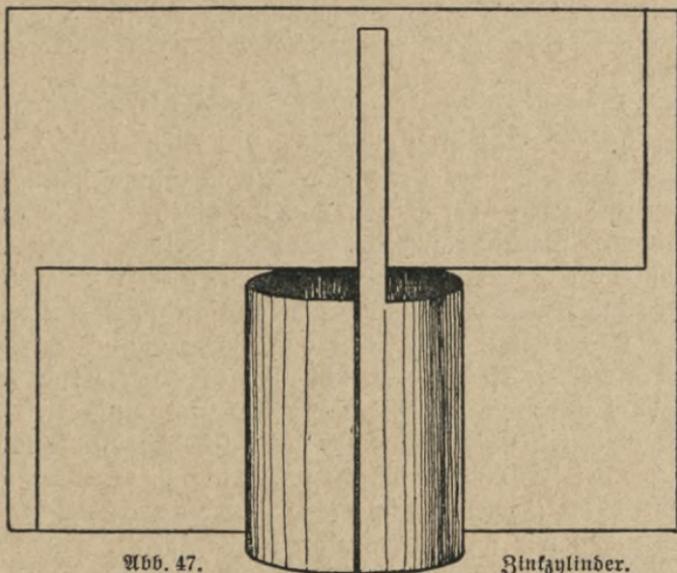


Abb. 47.

Zinkzylinder.

wir ein Glasgefäß von passender Größe; den Zinkmantel (siehe unten) selbst als Gefäß zu benutzen, ist nicht empfehlenswert. Ferner fertigen wir uns aus starkem Zinkblech einen zylindrischen Mantel mit einem Fortsatzstreifen an. Wie aus einem Stück Blech zwei solcher Mäntel ohne Materialverlust geschnitten werden, zeigt Abb. 47. Der Zinkmantel (b in Abb. 46) soll mit 2 bis 3 mm Spielraum in das Glasgefäß hineinpasse. Endlich stellen wir uns eine Kohlebeutelelektrode (c) her, deren Durchmesser je nach der Größe des Elementes 2 bis 5 cm kleiner ist, als der des Zinkzylinders. Die Füllung (d) besteht aus feinem, reinem Sägemehl von weichem Holz, das 1 bis 2 Stunden in einer

gesättigten Salmiaklösung gelegen hat. Kurz vor Gebrauch wird das Sägemehl in einen Leinenbeutel gefüllt und durch leichtes Pressen von der überschüssigen Flüssigkeit befreit. Dann gibt man in das Glasgefäß erst eine etwa 5 mm dicke Schicht davon auf den Boden; hierauf werden der Zinkzylinder und die Kohlenelektrode, die vorher in Salmiaklösung stand, eingesetzt und der freie Raum zwischen diesen sowie zwischen Zink und Glas mit der genannten Füllmasse ausgefüllt. Mit einem geeigneten Holzstab muß die Masse recht fest zusammengestampft werden. Die dabei an die Oberfläche tretende Flüssigkeit gießt man erst ab, wenn die Füllung beendet ist; letztere soll die obere Fläche des Kohlebeutels noch etwa 5 mm hoch bedecken. Ist die überschüssige Flüssigkeit abgegossen, so ebnet man die Oberfläche der Füllung, steckt zwei kleine Gummischläuchlein (Ventilschlauch) (e, e) etwa 5 mm tief hinein und gießt nicht zu heißes Paraffin auf die Füllung direkt auf, eine 2 bis 3 mm dicke Schicht (f). Jetzt wird der noch freie Glasrand innen mit einem Wattebausch sehr sorgfältig getrocknet. Die nächste Deckschicht (g) besteht aus Kolophonium-Wachskitt, dem außer ziemlich viel Leinöl auch etwas Spiritus (etwa 5 Volumenprozent) zugesetzt ist; der Kitt muß auch nach dem Erkalten noch eine zähe, fadenziehende Masse bilden. Davon wird eine 5 bis 10 mm dicke Lage eingegossen, wobei der Kitt sehr heiß sein soll. Für die oberste Schicht (h) verwenden wir wieder Paraffin oder Asphalt.

Die käuflichen Trockenelemente sind meist nach Verfahren hergestellt, die Fabrikgeheimnisse sind. Die Leistung sehr vieler dieser Fabrikate ist sehr gut, insbesondere kommen für die kleinen Taschenlämpchen sehr gute, kleine Batterien (meist 3 Elemente) in den Handel. Da Rudi gerade diese kleinen Taschenlämpchen viel gebrauchte, sei hier einiges über sie gesagt.

Die Trockenbatterien zu 3 Elementen, meist zusammen in einer Papierhülle, leisten 4 Volt und bringen ein kleines Lämpchen zum hellen Leuchten; besonders erfreut war Rudi, als auch diese 4-Volt-Lämpchen mit Metallfaden, statt Kohlenfaden ausgerüstet wurden, wodurch bei gleichem Stromverbrauch mehr als die dreifache Helligkeit erzielt wurde. Ein Brechen des feinen Metallfadens ist nicht zu befürchten, da

er zu kurz ist; sie sind also weit weniger empfindlich als die großen Metallfadenlampen, die gegen Erschütterungen sehr empfindlich sind.

Wer einen möglichst konstanten, starken Strom gebraucht, muß sich schon eine Batterie von Bunsen- oder Daniellelementen herstellen; auch Chromsäurebatterien sind recht geeignet. Wer gute Gelegenheit zum Akkumulatorenladen hat, beschafft sich natürlich eine Akkumulatorenbatterie. Wo solche Gelegenheit fehlt und größere Kosten nicht gescheut werden, sind die Kupronelemente entschieden am meisten zu empfehlen.

Das Bunsenelement.

Das Bunsenelement besteht aus einem Glasgefäß, in dem ein dicker Zinkzylinder steht; in dem Gefäß befindet sich verdünnte Schwefelsäure (auf 10 Teile Wasser 1 Teil Schwefelsäure) und ein poröser Tonzylinder, in dem in konzentrierter, gewöhnlicher Salpetersäure ein starker Kohlenstab steht. Dies Element gibt 1,9 Volt.

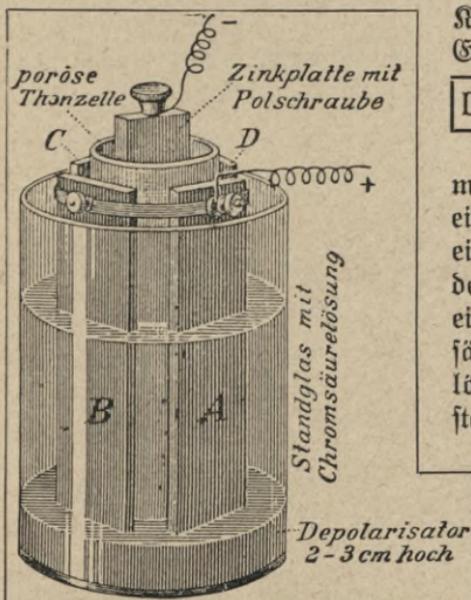


Abb. 48. Das verbesserte Bunsenelement.

Das Daniellsche Element.

Das Daniellsche Element besteht ebenfalls aus einem Glasgefäß mit einem porösen Tonzylinder. In ersterem steht ein Kupferzylinder in gesättigter Kupfervitriollösung, in letzterem ein starker Zinkstab oder

Zinkmantel in verdünnter Schwefelsäure oder auch Zinksulfolösung. Die erzeugte elektromotorische Kraft beträgt hier etwa 1,1 Volt.

Verbessertes Bunsenelement.

Die beiden obigen Elemente haben in der beschriebenen Form für uns eigentlich mehr theoretisches als praktisches

Interesse. Rudi hatte sich eine stattliche Batterie aus abgeänderten Bunsenelementen hergestellt, die ihm einen

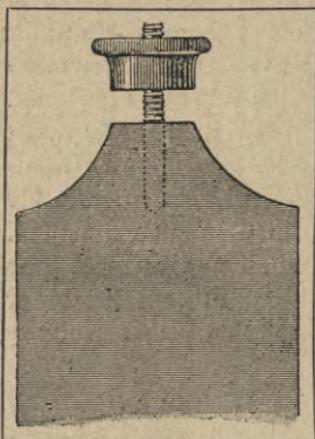
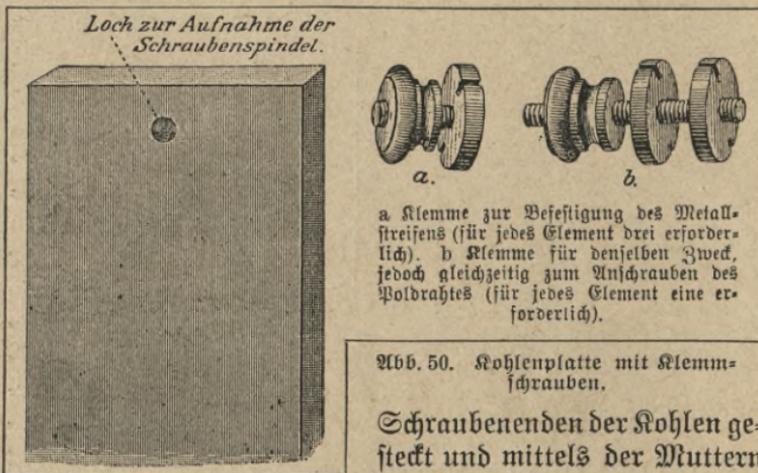


Abb. 49. Kohlenplatte mit eingebraunter Polschraube.

starken und konstanten Strom, mit dem er auch Akkumulatoren laden konnte, lieferte. Abb. 48 zeigt ein solches Element. Die Kohlenelektrode stellen wir aus vier flachen Kohlenplatten her, die, ungefähr ein Viereck bildend, um die Zelle aufgestellt sein sollen. Es handelt sich nun darum, die vier Kohlenplatten gut und fest miteinander zu verbinden. Können wir Platten verwenden, deren obere Enden, wie in Abb. 49, mit Klemmschrauben versehen sind, so stellen wir uns aus dickem, geglühtem Kupferdraht einen Ring her, wie ihn Abb. 51 zeigt. Durch die vier an den breitgeschlagenen Stellen eingebohrten Löcher werden die

starken und konstanten Strom, mit dem er auch Akkumulatoren laden konnte, lieferte. Abb. 48 zeigt ein solches Element. Die Kohlenelektrode stellen wir aus vier flachen Kohlenplatten her, die, ungefähr ein Viereck bildend, um die Zelle aufgestellt sein sollen. Es handelt sich nun darum, die vier Kohlenplatten gut und fest miteinander zu verbinden. Können wir Platten verwenden, deren obere Enden, wie in Abb. 49, mit Klemmschrauben versehen sind, so stellen wir uns aus dickem, geglühtem Kupferdraht einen Ring her, wie ihn Abb. 51 zeigt. Durch die vier an den breitgeschlagenen Stellen eingebohrten Löcher werden die



a Klemme zur Befestigung des Metallstreifens (für jedes Element drei erforderlich). b Klemme für denselben Zweck, jedoch gleichzeitig zum Anschrauben des Poldrahtes (für jedes Element eine erforderlich).

Abb. 50. Kohlenplatte mit Klemmschrauben.

Schraubenenden der Kohlen gesteckt und mittels der Muttern festgeschraubt.

Stehen uns nur einfache Kohlenplatten zur Verfügung, so versehen wir sie an ihrem oberen Ende mit einem Loch, durch das wir Metallschrauben mit Muttern hindurchstecken

können (Abb. 50). Durch einen entsprechend gebogenen und mit vier Böchern versehenen Kupferblechstreifen werden die Kohlen miteinander verbunden, wie dies in Abb. 48 deutlich zu erkennen ist. Die oberen Enden der Kohlen müssen in kochendes Paraffin getaucht, die Metallteile mit Asphaltlack bestrichen werden. Auf den Boden der Tonzelle gießt man etwas

Quecksilber (dies ist zwar nicht unbedingt nötig und verhindert nur rascheres Auflösen des Zinks) und stellt einen gut amalgamierten starken Zinkstab hinein. Nun wäre das Element noch zu füllen: Wir stellen den Tonzylinder

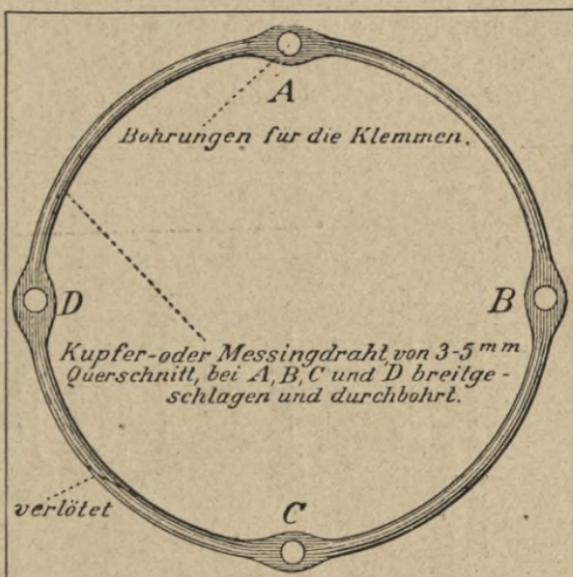


Abb. 51. Breitgeschlagener Kupfer- oder Messingdraht.

in das Standglas und geben zuerst eine als Depolarisator wirkende Masse auf den Boden des Gefäßes, einige Zentimeter hoch. Die Masse besteht aus 6 Teilen pulverisiertem, doppeltchromsauren Kali, die mit 60 Teilen Kalialaun in einem Glas- oder Porzellangefäß unter Zugießen von 10 Teilen konzentrierter Schwefelsäure mit einem Glasstab zusammengerührt werden. Die dabei entstehende Masse ist teigartig und kann längere Zeit offen aufbewahrt werden.

Nun wird zuerst der Tonzylinder mit verdünnter Schwefelsäure (1:10) und dann das Glasgefäß mit verdünnter Chromsäure (1:9) angefüllt. Hier sind Volumteile gemeint. Diese Elemente eignen sich besonders zum Laden von Akkumulatoren.

Das Chromsäureelement.

Wir wollen nun noch die Chromsäureelemente, die nur in Form von sogenannten Tauchbatterien verwendet werden, kurz besprechen. Unser Kudi war zwar ein persönlicher Feind dieser Elemente, denn er hatte schlechte Erfahrungen damit gemacht. In der Tat erfordert eine Chromsäurebatterie zu ihrer guten Instandhaltung mehr Arbeit und Sorgfalt, als sie eigentlich wert ist. Jedoch ist ihre Herstellung ziemlich einfach und billig.

Die positive Elektrode des Elements besteht aus zwei

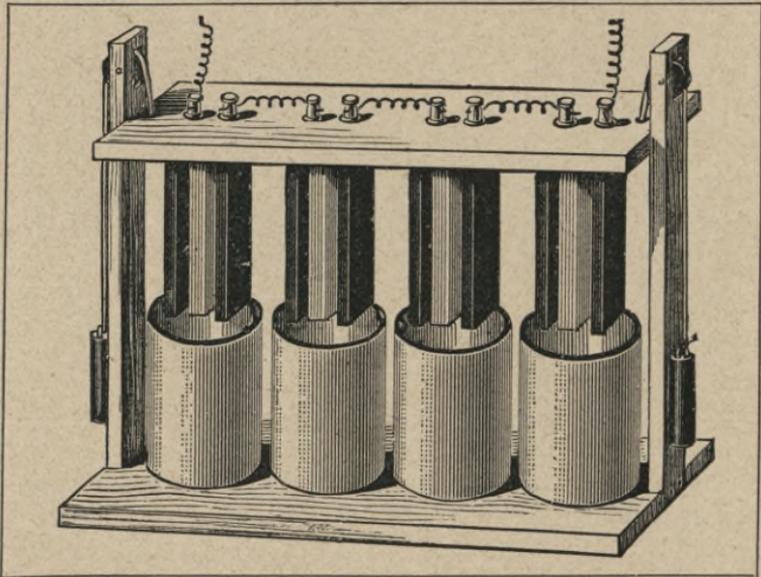


Abb. 52. Holzgestell für Chromsäurebatterie.

Kohlenplatten, zwischen denen eine starke Zinkplatte steht und die negative Elektrode bildet. Die Chromsäurelösung wird aus 1 Gewichtsteil doppeltchromsaurem Kali, 12 Gewichtsteilen Wasser und 2 Gewichtsteilen Schwefelsäure hergestellt. Die Schwefelsäure gieße man, wie schon erwähnt, unter ständigem Umrühren langsam zu. Die Elektroden müssen so aufgehängt werden, daß sie mit einem einfachen Handgriff in die Gläser eingetaucht und herausgezogen werden können. Wir können uns hierfür verschieden

konstruierte Holzgestelle herrichten. Abb. 52 zeigt ein solches, bei dem Kohle und Zink aus der Flüssigkeit gehoben werden. Diese Art von Batterien ist den vielfach noch gebräuchlichen Chromsäureflaschenelementen, wie Abb. 53 ein solches zeigt, entschieden vorzuziehen; diese seien nur der Vollständigkeit wegen erwähnt.

Jede Batterie, die nicht in kürzester Zeit schlecht werden soll, bedarf sorgfältiger und reinlicher Wartung. Man

stelle sie deshalb nicht an unzugänglichen Orten auf. Größere Batterien von solchen Elementen, die Wasserstoffentwickeln (fast alle, bei denen Zink in Schwefelsäure steht), sollen nicht in einem bewohnten Zimmer sein. Bei den Salmiakelementen wird regelmäßig das verdunstete Wasser der Lösung durch frisches ersetzt; die Gläser sollten stets mit Deckeln versehen sein. Sobald sich innerhalb oder außerhalb an den Elementen Salze gebildet haben, sind Gefäß und Elektrode gründlich davon zu befreien, zu reinigen,

einige Stunden, die Elektroden aber getrennt, in verdünnte Salzsäure zu stellen, dann mit Wasser gründlich abzuspolen und schließlich neu zu füllen. Die aus der Flüssigkeit herausragenden Teile der Kohle müssen immer mit einem guten Paraffinüberzug versehen sein; freie Teile der Zinkelektroden werden am vorteilhaftesten mit Asphaltlack bestrichen. Verbindende Drähte sind entweder zu verlöten oder mittels guter Klemmschrauben fest anzuschließen; mangelhafte Verbindungsstellen bilden große Widerstände.

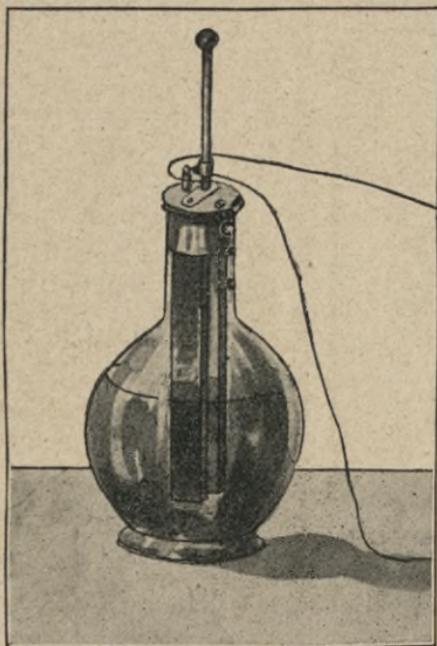


Abb. 53. Chromsäureflaschenelement.

Der Akkumulator.

Als das beste und brauchbarste Element, das wir kennen, ist jedenfalls der Bleiakkumulator zu bezeichnen. Eine günstige Gelegenheit, den Akkumulator selbst zu laden oder laden zu lassen, darf wohl bei den meisten jungen Lesern vorausgesetzt werden; für geringere Ansprüche genügt auch eine der oben beschriebenen Batterien zum Laden der Akkumulatoren.

Die Selbstanfertigung eines guten Akkumulators ist nicht so schwierig, als wohl manchem scheinen möchte. Ein wenig Geduld müssen wir haben; denn ein großer Teil der Arbeit, das Ausstanzen der Löcher, ist nicht gerade sehr unterhaltend.

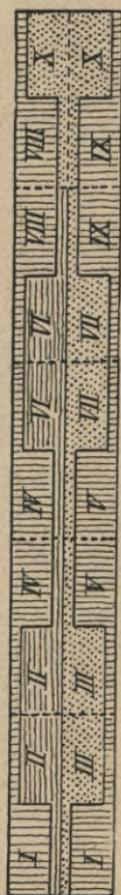


Abb. 54. Einteilung des Werkbleis in Platten.

Zuerst müssen wir uns klar darüber werden, wie viel Zellen mit wie viel und wie großen Platten wir herstellen wollen. Wir nehmen einmal an, es sollten zwei Zellen, jede zu fünf Platten angefertigt werden und jede Platte 10 cm lang und 5 cm breit sein, also 50 qcm Fläche haben. In diesem Falle genügt ein 1,5 mm dickes Bleiblech, da wir jede Platte aus zwei Lagen bestehen lassen werden; bei mehr als 50 qcm muß das Blei 2 mm stark sein. Wir haben also zwei Zellen, jede zu fünf Platten, die je aus zwei Lagen zusammengesetzt sind, deren jede 50 qcm Fläche hat. Wir brauchen also $2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 50 \text{ qcm} = 1000 \text{ qcm}$; dabei haben wir aber die Fortsätze noch nicht in Rechnung gezogen, die an den Platten sein müssen. Diese machen nochmals 200 qcm aus, so daß im ganzen 1200 qcm erforderlich sind. Um das Material möglichst auszunützen, kaufen wir uns ein 1 m langen, 12 cm breiten und 1,5 mm starken Streifen von gewöhnlichem Werkblei. Dieser wird nach dem in Abb. 54 angegebenen Muster in Doppelplatten eingeteilt, die alle mit langen Fortsätzen versehen sind. Die beiden Hälften einer Doppelplatte hängen bei Nr. II bis IX so zusammen, wie es Abb. 55 zeigt. Nur bei X haben wir

die langen Seiten gemeinsam und bei Nr. I gar keine. Nachdem wir die Einteilung auf den Bleistreifen aufgezeichnet haben, schneiden wir die Doppelplatten heraus (Abb. 55).

Um die wirksame Fläche der Platten zu vergrößern, müssen wir sie mit einer großen Anzahl von Löchern versehen; wir wollen auf

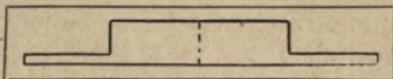


Abb. 55. Eine Doppelplatte.

jeden Quadratzentimeter Fläche ein 4 mm weites Loch annehmen. Wir ritzen gitterartig Linien auf den Doppelplatten (Abb. 55) ein, deren erste 5 mm vom Rande entfernt ist, während jede folgende 1 cm von der vorhergehenden absteht, somit fünf Linien parallel zu den langen, 20 parallel zu den kurzen Seiten. In den 100 Schnittpunkten beider

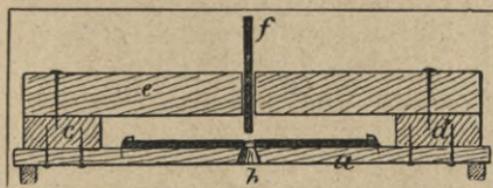


Abb. 56. Maschine zum Ausstanzen der Löcher.

Linienysteme sind die Löcher auszustanzen, wozu wir uns eine einfache Maschine anfertigen, die Abb. 56 im Schnitt zeigt. Auf ein 2 cm starkes quadratisches Brett wird eine Eisenplatte genagelt oder

besser in das Brett eingelassen; sie enthält in ihrer Mitte ein Loch, das 4 mm weit sein und möglichst scharfe Kanten haben soll. Außerdem verschaffen wir uns eine genau in das Loch passende, also auch 4 mm starke Eisenstange (f), die 7 bis 8 cm lang und auf einem Ende möglichst eben und scharfkantig abgefeilt sein muß. An zwei gegenüberliegenden Stellen am Rande des Brettes a werden zwei 2 bis 3 cm dicke Holzklötzchen (c und d) und über diese eine 3 cm starke und etwa 5 cm breite Leiste (e) aufgenagelt. In letztere wird genau über dem Loch in der Eisenplatte eine Durchbohrung angebracht, die so weit ist, daß die Eisenstange f leicht, doch ohne zu viel Spielraum zu haben, hindurchgeschoben werden kann. Ebenso erhält das Brett a eine sich nach unten erweiternde Fortsetzung (b) des Loches in der Eisenplatte. Die Stange f muß, durch die Bohrung in e gesteckt, genau auf das Loch in der Platte stoßen.

Wir legen nun die Bleiplatte so auf diesen Apparat, daß eine der durch die Schnittpunkte der eingeritzten Linien bezeichneten Stellen genau unter den etwas in die Höhe gehobenen Stab *f* zu liegen kommt, auf den nun mit dem Hammer ein kräftiger Schlag ausgeübt wird; ein kleines Bleischiebchen fällt dann zu dem Loche *b* heraus. Wir verschieben dann die Bleiplatte bis zum nächsten Schnittpunkt und wiederholen die gleiche Manipulation, und so fort, bis alle 1000 Löcher durchgestanzt sind. Wer etwas Mühe sparen will, kann vier Doppelplatten, die dann beim Montieren die beiden äußersten Platten in jeder Zelle bilden, ungelocht lassen.

Nun wird jede Doppelplatte II bis IX so zusammen-

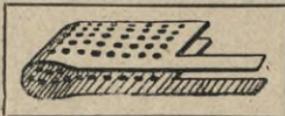


Abb. 57. Eine zusammengebogene Doppelplatte.

bogen, daß die beim Ausstanzen oberen Seiten nach innen kommen, jedoch ohne einander zu berühren (Abb. 57); die Platte X läßt sich entsprechend längs der mittleren Langseite biegen. Die beiden Platten I muß man unter Zwischenlegen von Glasröhren einstweilen zusammenbinden. In

ein genügend weites und tiefes Glasgefäß stellen wir fünf der zusammengebogenen Doppelplatten, durch Glasröhren voneinander getrennt, so ein, daß die erste, dritte und fünfte ihre Fortsätze nach links haben, die zweite und vierte nach rechts; ebenso in einem zweiten Glas die übrigen fünf Platten. Beide betten wir in eine mit Sägemehl angefüllte Kiste und verbinden nun die sechs Fortsätze der einen Seite untereinander mit einem Kupferdraht, ebenso die vier Fortsätze der anderen Seite. Die beiden Drahtenden führen wir zu zwei Klemmschrauben, die wir an der Kiste angebracht haben, und bezeichnen das Drahtende, das von den sechs Fortsätzen kommt, mit — (minus), das andere mit + (plus). Nun werden die beiden Gefäße mit verdünnter Schwefelsäure — 1 Teil Schwefelsäure auf 9 Teile Wasser — soweit angefüllt, daß die Platten, von den Fortsätzen abgesehen, vollständig in der Flüssigkeit stehen. Um die Platten zur weiteren Behandlung geeigneter zu machen, werden sie geladen und zwar zuerst in umgekehrter Rich-

tung, das heißt der positive Pol des Ladestromes wird mit dem negativen des Akkumulators, und der negative mit dem positiven verbunden. So läßt man 2 Stunden lang einen $1\frac{1}{2}$ Ampere starken Strom bei mindestens 5 Volt hindurchgehen. Dann dreht man den Strom um und verbindet die positiven Pole miteinander und ebenso die negativen und ladet nun 5 Stunden. Wir können nun den gleichen Vorgang wiederholen, das heißt wieder 2 Stunden verkehrt und 5 richtig laden, doch ist dies nicht unbedingt nötig. Nach dem Laden sehen die vier positiven Platten schwarzbraun, die sechs negativen grau aus. Sie werden nun alle aus den Gefäßen herausgenommen und an einem Platze, wo die verdünnte Schwefelsäure nichts schaden kann, zum Abtropfen aufgestellt. Unterdeßsen rühren wir in einem irdenen oder porzellanenen Schälchen etwa 150 g Mennige und in einem anderen ebensoviel Bleiglätte mit verdünnter Schwefelsäure (1 : 10) zu einem dicken, jedoch noch gut plastischen, nicht zu trockenen Brei an. Dann nehmen wir eine der positiven (braunen) Doppelplatten heraus, biegen sie auseinander, legen sie auf eine ebene Unterlage, streichen die Böcher gut mit dem Mennigebrei aus und bedecken die Platte außerdem noch 1 mm hoch damit. Ist dies geschehen, so wird die Bleiplatte wieder zusammengebogen, diesmal aber, ohne einen Zwischenraum darin zu lassen; dann legt man sie zwischen zwei Bretter und beschwert diese mit ein paar Kilogramm. Genau so wird mit den übrigen braunen Platten verfahren und auch mit den grauen, nur daß letztere mit der gelben Bleiglätte behandelt werden. Wer eine zarte Haut, oder gar wunde Stellen an den Fingern hat, unterlasse es ja, das Auftragen des mit verdünnter Schwefelsäure angerührten Breies mit den Fingern zu besorgen, obwohl diese die besten Instrumente für solche Arbeit sind. Man schnitze sich ein flaches Stäbchen und besorge es damit. Wer dennoch die Hände dazu gebrauchen will, stelle eine Schüssel mit Wasser, in das er soviel Ammoniak (Salmiakgeist) gegeben hat, daß es stark danach riecht, neben sich und halte die Hände alle 2 bis 3 Minuten einige Sekunden hinein, oder ziehe Gummihandschuhe an. Sind Kleidungsstücke mit Schwefelsäure bespritzt worden, so be-

tupfe man sie an der betreffenden Stelle reichlich mit Salmiakgeist. Nun wird jede Platte für sich in saubere (alte) Leinwand — man kann sich zu diesem Zweck auch billigen Schirting kaufen, der aber vor dem Gebrauch gewaschen werden muß — eingehüllt und so einen Augenblick in verdünnte Schwefelsäure getaucht; dann werden je fünf Platten aufeinander und die beiden Stöße nebeneinander gelegt und mit etwa 50 kg beschwert. So bleiben sie über eine Nacht; dann werden sie wieder ausgepackt und 24 Stunden in verdünnte Schwefelsäure gestellt. Endlich werden sie wieder herausgenommen und an einem geschützten, aber nicht etwa geheizten Orte zum Trocknen aufgestellt.

Um die beiden Hälften der einzelnen Platten fest zusammen zu halten, werden sie miteinander vernietet. Man bohrt an den in der Abb. 58 mit Sternchen bezeichneten Stellen Löcher und steckt

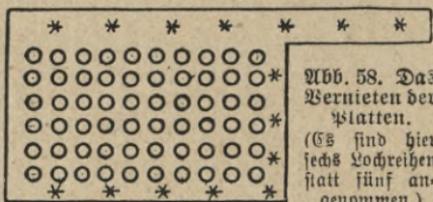


Abb. 58. Das Vernieten der Platten. (Es sind hier sechs Lochreihen statt fünf angenommen.)

kurze Stückchen Bleidraht von entsprechender Dicke hindurch, so daß sie auf jeder Seite 1 mm herausragen mögen. Da das Blei sehr weich ist, so hält es nicht schwer,

die Drahtstückchen durch einfaches Klopfen mit dem Hammer so zu vernieten, daß sie nicht mehr über die Platte herausragen.

Damit sind die Hauptbestandteile des Akkumulators, die Platten, fertig, und wir können zu ihrem Einbau in die Glasgefäße schreiten. Da die Bleiplatten nicht unmittelbar auf dem Boden aufstehen dürfen, weil sonst etwa abbröckelnde Stückchen von Bleioxyd einen Kurzschluß verursachen könnten, so stellen wir sie auf zwei 1 cm starke Glasröhren, die wir auf dem Boden jedes Gefäßes mit ein paar Tropfen Siegelack befestigen. Jetzt können die Platten eingesetzt werden, wieder wie vorher, die Fortsätze der negativen auf der einen, die der positiven auf der anderen Seite. Jede Platte ist dabei von der folgenden durch je zwei 3 bis 4 mm dicke Glasröhren zu trennen. Statt der Glasröhren kann man auch starkwandigen, entsprechend

dicke Gummischlauch verwenden. Der Rand des Glasgefäßes soll 2 bis 3 cm höher als der obere Rand der Platten sein, da die Schwefelsäure mindestens einen halben Zentimeter noch über den Platten stehen soll und außerdem noch ein gut schließender Deckel angebracht werden muß. Wir füllen das Glas bis 1,5 cm vom oberen Rande mit Wasser und achten dabei besonders darauf, daß die Bleifortsätze und der Teil der inneren Glaswand, der nicht unter Wasser ist, völlig trocken bleiben, da sonst die abschließende Vergußmasse nicht genügend fest haften bleibt. Nun wird in der einen Ecke des Behälters mit etwas Wachs ein 3 bis 4 mm weites Glasröhrchen angebracht, das oben mit dem Gefäßrand abschneidet und unten gerade noch unter den Wasserspiegel taucht. In der Mitte stellen wir auf die Platten ein 1 cm weites, 2 bis 3 cm langes Glasröhrchen. Dann wird in einem kleinen Pfännchen oder in einem Blechlöffel Paraffin geschmolzen und in möglichst heißem Zustand auf das Wasser gegossen, wo es sich dann rasch verbreitet und erstarrt. Es soll überall an den Glaswänden und den Bleistreifen gut anliegen; nötigenfalls gießt man noch etwas nach. Die Paraffinschicht braucht nicht stärker als etwa 2 mm zu sein; denn der eigentliche Verschluß wird genau so hergestellt, wie dies oben beim Trockenelement schon beschrieben wurde. Ist der Guß völlig erkaltet, so gießen wir das Wasser aus.

Es sind nun noch die Bleifortsätze zusammenzulöten. Wir biegen die vier Bleistreifen der negativen Platten nach der Mitte zusammen, umwinden sie mit einem Draht, so daß sie fest aneinander liegen, und schmelzen die Oberfläche der vier Enden mit einem bis zur Rotglut erhitzten und reichlich mit Salmiak gereinigten Böttkolben zusammen; Böttwasser darf dabei nicht verwendet werden. Ebenso werden die Streifen der positiven Platten miteinander vereinigt. Gleichzeitig können wir sowohl an den negativen wie an den positiven Fortsätzen je einen 10 bis 20 cm langen starken Bleidraht anschmelzen.

Jetzt haben wir den Akkumulator nur noch zu füllen: wir gießen in 9 Volumteile destilliertes Wasser 1 Volumteil konzentrierte reine Schwefelsäure (unter Beobachtung

der bereits erwähnten Vorsichtsmaßregeln). Nachdem sich die Flüssigkeit abgekühlt hat, wird die Akkumulatorenzelle damit angefüllt und das in den Verschuß eingegossene Glasrohr in der Mitte mit einem Gummistöpsel verschlossen, während das kleine in der Ecke offen bleibt.

Die nun fertige Zelle wird in einem geeigneten Holzkasten in Sägemehl eingebettet. An dem Holzkasten bringen

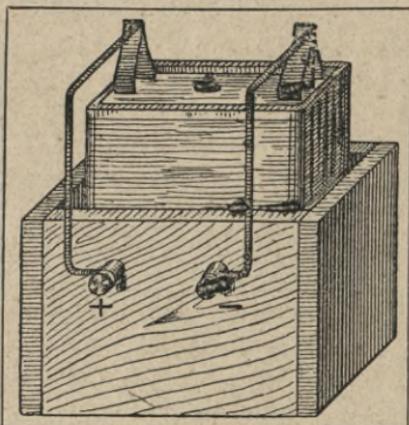


Abb. 59. Fertige Akkumulatorenzelle.

wir zwei Klemmschrauben an, zu denen die Bleidrähte geführt werden. Mit roter Farbe wird unter jede Klemme das ihr zukommende Vorzeichen gesetzt. Abb. 59 zeigt den fertigen Akkumulator. Über das Laden und den Gebrauch der Akkumulatoren wird weiter unten (S. 80/81) noch ausführlich gesprochen werden; jetzt wollen wir noch sehen, wie wir uns auf einfache Weise

selbst gute Gefäße für Akkumulatoren herstellen können.

Herstellung von Glasbehältern.

Wir verwenden gewöhnliche Glasplatten, etwa alte photographische Platten, von denen die Schicht abzuwaschen ist, und schneiden uns für jede Zelle fünf Scheibchen — vier Seiten und eine Bodenfläche — in passender Größe. Dann fertigen wir uns aus Zigarrenkistenholz ein Gestell, in welches die zugeschnittenen Gläser gerade hineinpassen, und dessen Herstellungsweise aus den beiden Abb. 60 und 61 hervorgeht. Die etwa 1 cm breiten Holzleistchen müssen, wenn sie geschnitten sind, mit Glaspapier schön geglättet und dann



Abb. 60. Der Boden des Holzgestelles.

einige Minuten in Paraffin gekocht werden. Hierauf läßt man sie abkühlen, schabt das oberflächlich anhaftende Paraffin mit einem Messer ab und setzt die Leisten, wie Abb. 61 zeigt, zu dem Ge-

stell zusammen.

Nun bereiten wir uns wieder den bekannten Kolophonium-Wachs-

fitt, nehmen

aber diesmal et-

was mehr Lein-

öl, etwa 3 bis

3,5 g auf 10 g

Kolophonium.

Mit dieser kle-

berigen, faden-

ziehenden Masse

bestreichen wir

zuerst die Rän-

der des Scheib-

chens, das den

Boden bilden

soll, und legen es

an seinen Platz

im Gestell;

ebenso verfahren wir dann mit den für die

Seitenwände bestimmten Glasplatten, die darauf zwar alle

schon fest zusammenhalten, aber noch nicht genügend dicht

schließen.

Einen an Leinöl ärmeren Kitt (0,5 bis 1 g : 10 g), dem

wir etwas gewöhnlichen Asphalt (3 g) zusetzen, erhitzen wir

unter tüchtigem Umrühren bis zum Sieden¹⁾ und gießen

damit die inneren Ranten des Gefäßes aus. War der

Guß genügend heiß, so wird er sich überall gut an das

Glas angeschlossen haben, was man daran erkennt, daß die

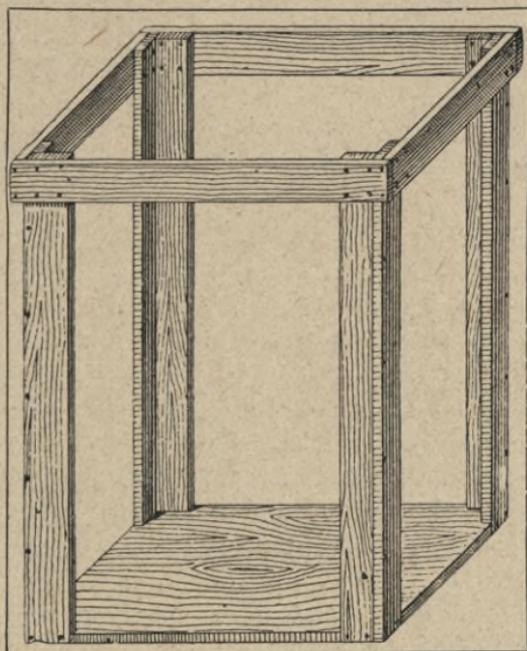


Abb. 61. Das Holzgestell.

¹⁾ Das Schmelzen dieser sehr leicht entzündbaren Stoffe darf nie auf dem offenen Feuer geschehen. Zwischen Schmelzgefäß und Flamme soll sich immer ein großes Stück Eisenblech oder ein Stück starken Drahtstramines befinden.

Masse in den Ranten hohl liegt, wie dies in Abb. 62 a angedeutet ist. Ist sie dagegen nicht in dieser Weise auf die Glasplatten übergeflossen, sondern zusammengeballt ge-

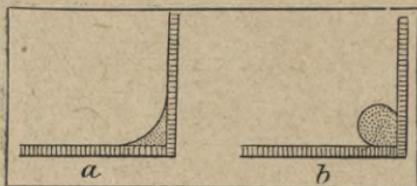


Abb. 62. Ausgießen der Ranten des Gefäßes.

blieben, wie in Abb. 62 b, so muß man sie an Ort und Stelle mit einem dicken, glühenden Nagel nochmals zum Schmelzen bringen, wobei sie sich dann richtig an das Glas anschmiegt. Ein anderer

für solche Zwecke ebenfalls sehr geeigneter Kitt wird dadurch hergestellt, daß man erst 50 Teile Kolophonium schmilzt, dann 50 Teile rohes Bienenwachs zugibt und in der siedenden Masse 10 bis 20 Teile Guttapercha auflöst. Endlich können wir die Kittfugen noch mit in Alkohol gelöstem roten Siegellack überstreichen, der aber vollkommen trocken sein muß, bevor die Gläser gefüllt werden.

Die Rahmen für solche Gefäße können wir uns auch aus Blechstreifen zusammenlöten, doch ist gerade bei Akkumulatoren paraffiniertes Holz vorzuziehen, da Metall von der Säure sehr stark angegriffen wird. Die Glasplatten halten auch ganz ohne Rahmen sehr fest zusammen, doch sind sie in solchen vor dem Zerschlagen mehr geschützt und können bequemer getragen werden. Sollen sie dennoch ohne Gestell gefertigt werden, so ist es zu empfehlen, die zusammenzukittenden Ränder der Glasscheiben vorher mit Flußsäure rau zu machen. (Über die Handhabung der Flußsäure siehe Seite 12.) Auf alle Fälle müssen sie unbedingt rein sein, weshalb sich ein vorheriges Abwaschen mit Natronlauge empfiehlt. Die so gereinigten Stellen sollen mit den Fingern nicht mehr berührt werden.

Für die Bedienung und Instandhaltung der Akkumulatoren beachte man folgendes: Jede geladene Akkumulatorenzelle hat eine Spannung von 2,2 (max.) Volt. Beim Zusammenschalten mehrerer Zellen gilt genau das gleiche, was auf den folgenden Seiten allgemein von Elementen gesagt ist. Der Ladestrom für eine Akkumulatorenbatterie muß

immer eine etwas höhere Spannung haben, als die geladene Batterie. Die Stromstärke richtet man mit Hilfe eines Regulier- oder Lampenwiderstandes (siehe Anhang) so ein, daß beim Beginn der Ladung gerade eben eine leichte Gasentwicklung zu bemerken ist; es sollen nur vereinzelt kleine Gasbläschen von den Platten aufsteigen. Die Ladung soll dann bei gleichbleibendem Strom so lange fortgesetzt werden, bis die Gasentwicklung anfängt stürmisch zu werden. Man kann im allgemeinen rechnen, daß der Ladestrom pro Quadratdezimeter Oberfläche der positiven Platten während 8 bis 10 Stunden mit 0,5 Ampere wirken soll. Stärker darf auch der Entladestrom nicht sein; nur ganz kurze Augenblicke (5 bis höchstens 10 Sekunden) kann man etwa die vierfache Stromstärke dem Akkumulator entnehmen, ohne ihn zu schädigen.

Der obere Plattenrand soll immer von der Säure bedeckt sein; ist sie durch Verdunsten weniger geworden, so wird destilliertes Wasser nachgegossen. Sollen mehrere Zellen dauernd zu einer Batterie vereinigt werden, so dürfen die Verbindungen nur aus Blei (Draht oder Blechstreifen) bestehen und müssen in der oben angegebenen Weise verschmolzen werden. Man sehe immer von Zeit zu Zeit zwischen den Platten durch, ob sich nichts dazwischen gesteckt hat, denn es kommt leicht vor, daß losgelöste Mennige zwischen den Platten Kurzschluß bildet; solche Teilchen sind zu entfernen. Akkumulatoren, die zum Laden nicht aus dem Haus getragen werden müssen, werden vorteilhaft nicht mit einem festen Verguß, sondern nur mit einem lose aufsitzenden Deckel verschlossen. Werden die Akkumulatorenzellen in Holzkästen eingebaut, so sollten diese stets seitliche Öffnungen haben, durch die man zwischen die Akkumulatorenplatten sehen kann. Sind Platten infolge langen Gebrauches schlecht geworden oder haben sie sich verbogen, so werden sie herausgenommen und getrocknet; dann entfernt man durch leichtes Klopfen alles lose sitzende Bleisuperoxyd und streicht in die mit verdünnter Schwefelsäure angefeuchtete Platte wie oben neuen Mennigebrei ein. Darauf werden die Platten zwischen feuchten Leinenlappen ein paar Stunden gepreßt und endlich wieder eingesetzt.

Kupronelement.

Endlich sei noch das Kupronelement (Kupferoxydelement) erwähnt, das wohl von allen primären Elementen — so nennt man alle oben genannten Elemente zum Unterschied vom Akkumulator, den man auch sekundäres Element nennt — das beste ist; es liefert bei 0,9 Volt einen sehr konstanten Strom und erfordert fast keine besondere Bedienung. Es hatte aber für Rudi einen sehr großen Nachteil: die guten Fabrikate sind sehr teuer und die billigeren älteren Konstruktionen nicht empfehlenswert.

Thermoelemente.

Zum Schluß seien auch noch die Thermoelemente erwähnt, die für unsere Zwecke nur theoretisches Interesse haben, da sie als Stromquellen nur selten in Betracht kommen. Rudi führte in seinem

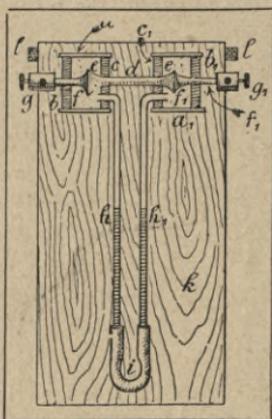


Abb. 63. Luftthermometer zum Nachweis des Peltier-effektes.

Vortrage ungefähr folgendes aus: Wir haben gesehen, daß bei der Berührung von zwei verschiedenen Metallen auf diesen eine Spannungsdifferenz auftritt, die unter Zwischenschaltung von Elektrolyten recht groß werden kann. Es zeigen sich überhaupt immer eigentümliche Erscheinungen und nicht nur solche elektrischer Natur bei der Berührung verschiedener Stoffe. So hat man (Peltier) z. B. gefunden, daß die Temperatur der Lötstelle zweier verschiedener Metalle sich beim Stromdurchgang verändert, und zwar je nach den Metallen und der Stromrichtung positiv oder negativ. Zum Nachweis dieser Temperaturveränderung baute sich Rudi folgenden Apparat, der im wesentlichen zwei hintereinander geschaltete Luftthermometer darstellt. Die Anordnung erkennen wir aus der etwas schematisierten Abb. 63. Die Thermometergefäße bestehen aus zwei kurzen Stücken eines weiten Glasrohres a, a_1 (in der Abbildung im Schnitt gezeichnet), die beiderseits durch Korkte verschlossen sind; die Korkte b und b_1 erhalten je eine, c und c_1 je zwei Bohrungen. Einen etwa 3mm starken Eisendraht d hämmert man an seinen Enden e, o

breit und schneidet gerade ab; an die dadurch entstandenen Schneiden lötet man die ebenso hergerichteten Enden je eines 3 mm starken Kupferdrahtes f und f_1 ; die freien Enden werden mit Klemmschrauben g und g_1 versehen. Dieser Streifen f, d, f_1 wird mittels der Korke b und c so zwischen den beiden Glasrohrstücken festgehalten, wie dies aus der Figur erhellt. Durch die zweite Bohrung der beiden Korke c und c_1 sind die oben rechtwinkelig umbogenen Glasröhren h und h_1 eingelassen, deren untere Enden durch den Gummischlauch i miteinander verbunden sind. h und h_1 sind etwa zur Hälfte mit irgend einer farbigen Flüssigkeit gefüllt. Die Korke werden mit Siegellack oder Kolophonium-Wachskitt abgedichtet. Der ganze Apparat ist auf einem Grundbrett k aufmontiert, auf dessen Unterseite die Leiste l angeschraubt wird, die so hoch sein muß, daß k mit der Tischebene einen Winkel von etwa 10° bildet. Leitet man von einem oder mehreren Elementen (bei Akkumulatoren muß, weil sonst durch Kurzschluß Schaden entstehen könnte, ein Widerstand vorgeschaltet werden) einen Strom z. B. von g nach g_1 , so sieht man, daß in h die Flüssigkeit steigt und in h_1 entsprechend fällt; d. h. so viel, als daß sich die Luft in a zusammenzieht, also abgekühlt wird, in a_1 sich ausdehnt, also erwärmt wird. Wird die Stromrichtung umgekehrt, so dreht sich auch die Temperaturerscheinung um. Indem man diesen Versuch auch mit anderen Metallen als mit Eisen und Kupfer ausführt, ergibt sich wie bei der Volta'schen Säule eine Spannungsreihe, in der die Metalle so angeordnet sind, daß, wenn der Strom von einem vorstehenden zu einem nachstehenden fließt, die Vötstelle immer abgekühlt wird und daß der Grad der Abkühlung umso stärker ist, je weiter die beiden Stoffe in der Reihe auseinanderstehen. Die wichtigsten Stoffe der Reihe sind: Wismut, Quecksilber, Platin, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Silber, Eisen, Antimon.

Wenn man nun den Apparat so abändert, daß man den in Abb. 63 mit d bezeichneten Eisendraht länger (etwa 20 cm) macht und ihn nicht in ein Luftthermometer einschließt, sondern die eine Vötstelle in eine Kältemischung (Salz-Eis), die andere in siedendes Wasser bringt, also die eine abkühlt und die andere erwärmt, und die Klemmen g

und g_1 mit einem Galvanoskop verbindet, so zeigt dieses das Vorhandensein eines Stromes an, der um so stärker ist, je größer die Temperaturdifferenz an den beiden Lötstellen ist. Untersucht man auch hier verschiedene Metalle, so ergibt sich die gleiche Spannungsreihe wie oben, bei welcher Anordnung der positive Strom an der wärmeren Lötstelle von einem in der Reihe früher zu einem in der Reihe später stehenden Metall fließt.

Die in solchen Thermoelementen erzeugten Ströme, die thermoelektrischen Ströme, sind aber so schwach, daß sie in der Praxis nur für eine ganz spezielle Verwendung Bedeutung haben, nämlich zu Temperaturmessungen. Da man auch die schwächsten elektrischen Ströme noch mit großer Genauigkeit messen kann und da bei einem Thermoelement sich die allergeringste Temperaturänderung in einer, wenn auch geringen, so doch meßbaren Änderung des Stromes äußert, so benutzt man das Thermoelement, verbunden mit einem feinen Galvanometer, direkt zur Messung kleinster Temperaturdifferenzen.

Nachdem wir die Herstellung der verschiedensten Elemente kennen gelernt haben, wollen wir hören, was Rudi über die Gesetze des galvanischen Stromes vorgetragen und welche erklärenden Versuche er dabei ausgeführt hat.

Die Gesetze des galvanischen Stromes.

Was wir unter elektromotorischer Kraft verstehen, haben wir schon gehört, wie auch, daß sie abhängig ist von der Größe der Spannung, die infolge der chemischen Einflüsse auf den beiden Elektroden auftritt. Noch nicht erwähnt haben wir, wie Rudi an einem sehr einfachen Experimente zeigte, von welcher Bedeutung für die elektromotorische Kraft eines Elementes sowohl die Natur der beiden Elektroden als auch die der Flüssigkeit sei: In ein Standglas mit Wasser stellte er eine Eisen- und eine Zinkplatte, die je mit einem längeren Draht versehen waren, und wies mit einem Multiplikator, dessen Herstellung später beschrieben wird (Seite 92 bis 96), das Vorhandensein eines sehr schwachen Stromes nach. Dann schaltete er den Multiplikator aus und eine 1,5 Volt-Glühlampe in den Stromkreis ein, die nicht glühte; aber als er etwas Schwefel-

säure unter das Wasser mischte, begann der Kohlenfaden schwach rot zu werden, leuchtete aber erst dann hell auf, als die Eisenplatte durch eine solche von Kupfer ersetzt wurde.

Ein zweiter Versuch sollte zeigen, daß je nach den Verhältnissen ein Strom bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft verschieden stark sein kann: In den Stromkreis eines Leclanchéelementes schaltete Rudi mit zwei kurzen Drähten eine 1,5 Volt-Glühlampe ein, die hell glühte. Dann ersetzte er den einen der kurzen Drähte durch einen sehr langen und sehr dünnen Kupferdraht, worauf das Lämpchen nur noch mit halber Kraft glühte. Darauf vertauschte er den Kupferdraht mit einem kurzen Nickelindraht, und die Lampe wurde noch etwas dunkler. An Hand dieser Versuche wies er darauf hin, daß die Stärke eines Stromes nicht nur von der ihn treibenden Kraft abhängt, sondern auch von der Natur der ihn leitenden Stoffe und von der Länge und Dicke seines Weges. In dem langen Draht ist der Strom schwächer als in dem kurzen; bei gleichlangen Drähten verliert er in Nickel mehr von seiner Kraft als in Kupfer, in einem dünnen Draht mehr als in einem dicken. Es scheinen also die Metalle zwar den Strom zu leiten, aber nicht, ohne ihm einen gewissen Widerstand entgegenzusetzen; denn sonst würde der Strom nicht in einem langen Leiter mehr geschwächt werden als in einem kurzen, in einem dünnen nicht mehr als in einem dicken. Auch leiten verschiedene Metalle verschieden gut. Haben wir nun recht aufgepaßt, so konnte uns nicht entgehen, daß wir es hier mit drei Größen zu tun haben: 1. mit der elektromotorischen Kraft, unmittelbar abhängig von der Spannung, die auf den Elektroden entsteht, und deren Maßeinheit das Volt ist; 2. mit der Stromstärke, denn je heller die Lampe glühte, desto stärker mußte der sie durchfließende Strom sein; die Einheit für die Stärke oder die Intensität des Stromes ist 1 Ampere; 3. mit dem Widerstand, den wir in Ohm messen. (Die elektromotorische Kraft sei fernerhin immer mit E , die Intensität des Stromes mit J und der Widerstand mit W bezeichnet; man setzt oft auch die Anfangsbuchstaben der drei Einheiten: V , A , O .) Durch genaue Messungen hat man

nun ein sehr einfaches Gesetz gefunden, das zwischen diesen Größen besteht: es ist das Ohm'sche Gesetz und sagt aus, daß J umso größer ist, je größer E und je kleiner W ist, oder in eine Formel gefaßt: J proportional $\frac{E}{W}$. Man hat zur Vereinfachung die drei Einheiten so gewählt, daß sogar $J = \frac{E}{W}$ ist. Daraus ergibt sich $E = J \cdot W$, oder in Worten: E ist umso größer, je größer J und je größer W ist; ferner ergibt sich, daß W umso größer ist, je größer E und je kleiner J ist: $W = \frac{E}{J}$.

Des weiteren schaltete Rudi in den Stromkreis eines Beclanchéelementes eine 2 Volt-Glühlampe ¹⁾, die nur schwach glühte; dann schaltete er zwei Elemente hintereinander, das heißt so, daß er den Kohlepol des einen mit dem Zinkpol des anderen verband; als er nun die Lampe einschaltete, glühte sie hell. Diesen Vorgang erklärte er wie folgt: Wie schon erwähnt, besteht auf den Elektroden eines Elementes eine Spannungsdifferenz; hier beträgt sie etwa 1 Volt; das Zink hat eine Ladung negativer Elektrizität von $\frac{1}{2}$ Volt, das Kupfer eine solche positiver Elektrizität von $\frac{1}{2}$ Volt. Bringe ich nun das Zink mit der Erde in leitende Verbindung, so sinkt sein Potential (= Spannung) auf den Wert 0; da aber die Spannungsdifferenz des Elementes immer gleich 1 ist, so muß nun das Potential des Kupfers auf 1 Volt steigen. Bringe ich das Zink in Verbindung mit dem Konduktor einer Elektrifiziermaschine, so steigt seine Spannung auf 100 000 Volt und folglich die des Kupfers auf 100 001 Volt. Daraus ergibt sich folgende praktisch sehr wichtige Tatsache: Schalte ich eine größere Anzahl von Elementen, sagen wir zehn, so, daß jeweils die negative Elektrode des einen mit der positiven des nächsten verbunden wird, so wirkt in der dadurch entstandenen Reihe

¹⁾ Man kann sich für diese Versuche auch des Vertikalgalvanoskopes (Abb. 66) bedienen, dessen Empfindlichkeit man durch Entfernen des Regulierschiebers an der Nadel herabgemindert hat.

(Kette) eine zehnmal größere elektromotorische Kraft als in einem Element; denn nehmen wir die Spannung auf dem Kupfer des ersten Elementes als 1 Volt an, so werden alle mit ihm verbundenen aber sonst isolierten Leiter dieselbe Spannung annehmen. In unserem Fall wird das Zink des zweiten Elementes ebenfalls die Spannung von 1 Volt erhalten, damit steigt aber das Potential des Kupfers im zweiten Element auf 2 Volt; da mit dieser Kupferplatte aber die dritte Zinkelektrode ebenfalls eine Spannung von 2 Volt erhält, so steigt diese beim dritten Kupferpol auf 3 Volt und so fort, bis wir bei der zehnten und letzten positiven Elektrode eine Spannung von 10 Volt haben. Bei dem Zink des ersten Elementes haben wir das Potential 0 angenommen und so ergibt sich eine Spannungsdifferenz von 10 Volt; es ist also auch die elektromotorische Kraft dieser Kette zehnmal größer als die eines einzelnen Elementes. Wir können nun aber auch alle gleichnamigen Elektroden miteinander verbinden, also die Zinkplatten aller Elemente zusammen und die Kupferplatten zusammen; dadurch gewinnen wir an elektromotorischer Kraft nichts. Die Vorteile dieser Schaltungsweise werden wir nachher kennen lernen.

Wir können nun mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes einige einfache Berechnungen machen. Nehmen wir an, wir hätten eine Anzahl von Elementen und einen Stromkreis von einem bestimmten Widerstand gegeben. Wir wollen nun berechnen, wie wir die Elemente schalten müssen, ob hintereinander oder nebeneinander, um einen möglichst starken Strom zu erhalten. Nehmen wir ein Bunsenelement und verbinden wir seine Pole mit irgend einem Widerstand (z. B. einer Glühlampe), so ist nach dem Ohmschen Gesetz die Intensität des Stromes gleich der elektromotorischen Kraft des Bunsenelementes dividirt durch den gesamten Widerstand; dabei ist nicht zu vergessen, daß der Strom auch die Flüssigkeit des Elementes zu passieren hat und in ihr einen Widerstand findet, der um so kleiner ist, je größer und einander näher die Elektroden sind; man nennt ihn den inneren Widerstand des Elementes.

Bereinige ich etwa zehn Elemente so, daß ich jeweils den Kupferpol des einen mit dem Zinkpol des nächsten verbinde, also hintereinander oder, wie man auch zu sagen pflegt, in Serie, so tritt in dieser Anordnung von Elementen die zehnfache elektromotorische Kraft eines einzigen Elementes auf. Aber auch der innere Widerstand ist nun zehnmal so groß, so daß sich für die gesamte Stromstärke ergibt: zehnfache elektromotorische Kraft eines Bunsenelementes geteilt durch den äußeren Widerstand plus dem zehnfachen inneren eines Elementes; oder in einer Formel geschrieben:

$$J = \frac{10E}{O + 10W}. \text{ Dabei sei mit } O \text{ der äußere, mit } W$$

der innere Widerstand bezeichnet. Ist aber der äußere Widerstand so klein im Verhältnis zum inneren, daß wir ihn, ohne einen allzu großen Fehler zu begehen, vernachlässigen können, so haben wir $J = \frac{10E}{10W}$ oder $J = \frac{E}{W}$. In diesem Falle ist es also ziemlich gleich, ob man ein oder zehn hintereinander geschaltete Elemente benützt.

Ist dagegen der äußere Widerstand sehr groß, so daß man ihm gegenüber den inneren vernachlässigen kann, so ist annähernd: $J = \frac{10E}{O}$. Diesmal haben wir also beinahe die zehnfache elektromotorische Kraft, als wenn wir nur ein Element benützten.

Nun kann man aber auch die zehn Elemente so zusammenschalten, daß man einerseits alle Zink-, andererseits alle Kohlenelektroden miteinander verbindet, das heißt, wie schon erwähnt, daß man sie alle nebeneinander schaltet. Dadurch gewinnen wir zwar nichts an elektromotorischer Kraft, dafür haben wir aber nur $\frac{1}{10}$ des inneren Widerstandes eines einfachen Elementes. Die Stromstärke berechnet sich hier also folgendermaßen: $J = \frac{E}{O + \frac{1}{10}W}$.

Nehmen wir den äußeren Widerstand sehr klein an, so ist $J = \frac{E}{\frac{1}{10}W} = \frac{10E}{W}$, die Intensität ist also nahezu zehnmal so groß, als wenn wir nur ein Element

gebrauchten. Ist umgekehrt dagegen der äußere Widerstand sehr groß, so ist $J = \frac{E}{O}$, also nicht stärker als bei nur einem Element.

Daraus ergibt sich also die Regel:

Will man von einer Anzahl von Elementen einen möglichst starken Strom erhalten, so schalte man sie bei einem sehr großen äußeren Widerstand hintereinander, bei einem sehr kleinen dagegen nebeneinander. Wir können auch die

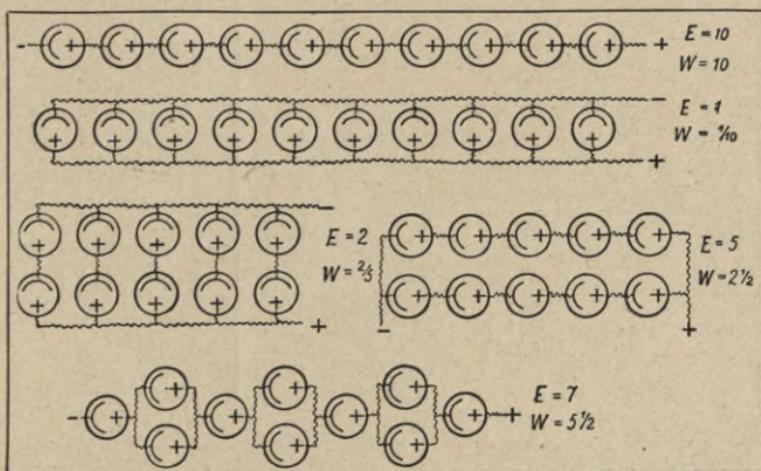


Abb. 64. Darstellung fünf verschiedener Schaltungsarten.

beiden Schaltungsweisen kombinieren, je nachdem es das Verhältnis des äußeren zum inneren Widerstand als günstig erscheinen läßt. Abb. 64 zeigt fünf verschiedene Schaltungsweisen.

Bei all diesen Versuchen hatte Rudi, um die verschiedenen Stromstärken sichtbar zu machen, sich kleiner Glühlampen bedient. Er tat dies, um nicht Apparate verwenden zu müssen, die er erst später beschreiben wollte. Bei manchen Versuchen wäre es trotzdem geeigneter gewesen, wenn er sich des Galvanoskopes oder eines Voltmeters bedient hätte. Da für die nächsten Versuche diese Apparate unumgänglich nötig sind, so seien sie an dieser Stelle beschrieben.

Einfaches Galvanoskop.

Um einen aus einem Pappstreifen gebogenen Rahmen wickeln wir einige Windungen von isoliertem Kupferdraht auf. In den Rahmen stellen wir einen gewöhnlichen Kompaß und drehen nun ersteren so, daß seine Windungen parallel der Magnetnadel verlaufen. Schicken wir dann einen Strom durch den Draht, so wird die Magnetnadel aus ihrer Nord-Süd-Richtung abgelenkt und kommt in einer zu den Windungen nahezu senkrechten Stellung

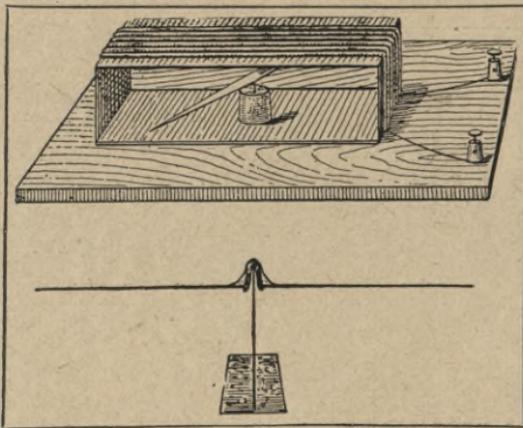


Abb. 65. Galvanoskop.

wieder zur Ruhe. Rudi hatte sich in dieser Art besonders für Demonstrationszwecke einen ziemlich großen Apparat hergestellt (Abb. 65). Auch die große, 10 cm lange Magnetnadel hatte er sich selbst gefertigt, indem er ein Stück einer alten Uhrfeder zuerst völlig durchglühte, ihm dann durch Beschneiden mit einer Blechschere die doppelte Lanzettform gab und in die Mitte ein Loch bohrte, durch das er, nachdem er die Nadel wieder gehärtet hatte, ein auf einer Seite zugeschmolzenes kurzes Glasröhrchen (etwa 5 mm lang) steckte, um es dann mit etwas Siegelack zu befestigen (besser wäre auch hier unser Kolophonium-Weinöl-Kitt). Durch Streichen mit einem starken Magneten verließ er nun der Nadel eigenen Magnetismus. Eine durch einen Kork gesteckte Nähnadel bildete die Spitze, auf der die Nadel schwebte. Wie Magnete herzustellen sind, werden wir noch an anderer Stelle des Buches (S. 103) ausführen.

Vertikalgalvanoskop.

Für den Nachweis sehr schwacher Ströme genügt jedoch dieses Instrument nicht; auch ist es, selbst wenn es noch so

groß ausgeführt ist, zur Demonstration wenig geeignet, da man es, um Beobachtungen zu machen, von oben betrachten muß. Rudi hatte sich deshalb auch noch ein Vertikalgalvanoskop hergestellt. Abb. 66 zeigt ein solches von ziemlich einfacher Art. Der Rahmen, auf den der isolierte Kupferdraht aufgewunden wird, ist 10 cm lang, 0,5 cm breit, 3 cm tief und ist aus dünnem Zink- oder Messingblech gefertigt. Abb. 67 zeigt das Netz, Abb. 68 den fertigen Rahmen, der auf der Außenseite mit einem dicken Schellack-

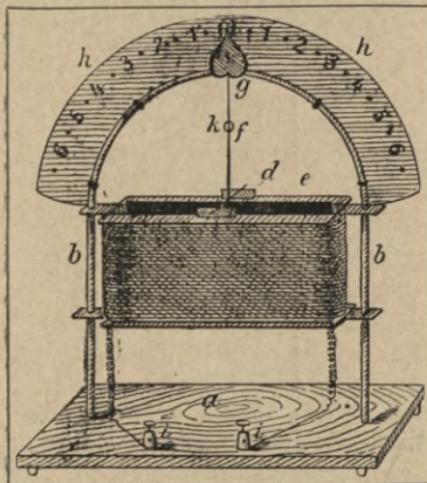


Abb. 66. Vertikalgalvanoskop.

überzug versehen und dann mit 30 bis 40 m eines 0,5 bis 0,6 mm starken isolierten Kupferdrahtes umwickelt wird.

Nun biegen wir uns einen 2 bis 3 mm starken Messingdraht so wie den in Abb. 66 mit b bezeichneten und befestigen

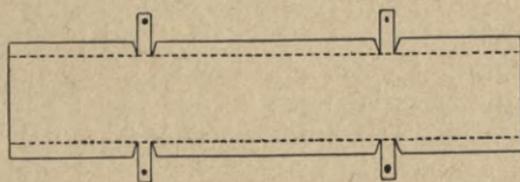


Abb. 67. Netz für das Vertikalgalvanoskop.

an ihm den Blechrahmen in der ebenfalls aus der Abbildung hervorgehenden Weise. Auf den beiden oberen Rändern des letzteren werden noch zwei Blechstreifchen (d)

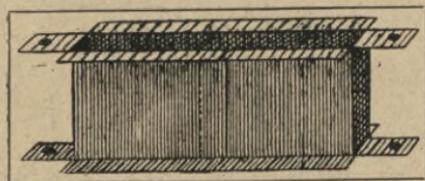


Abb. 68. Rahmen.

angelötet, die als Lager für die Achse dienen und deren Form Abb. 69 d zeigt. Bei einem Mechaniker kaufen wir uns einen flachen, etwa 9 cm langen Stabmagneten (e)

— wir können ihn uns auch selbst anfertigen, wie es bei der magnetelektrischen Maschine beschrieben ist —, den wir

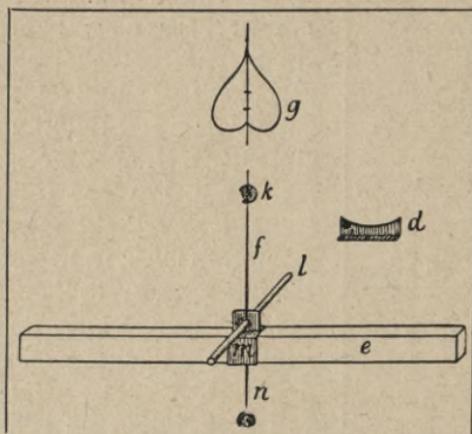


Abb. 69. Stabmagnet.

in der Mitte mit einem Band aus Messingblech (m) versehen. Dabei legen wir die Enden des Bandes nicht übereinander, sondern biegen sie nach oben und löten sie zusammen. Dadurch entsteht eine kleine Lasche, welche wird durchbohren, um das 1,5 cm lange Stück einer Stricknadel (l) hin-

durchzuschieben und festzulöten. Außerdem wird daran ein etwa 10 cm langer, 1 mm starker Kupferdraht (f) angelötet. An der Unterseite des Bandes wird ein kürzeres Stück Draht angelötet, an welchem wir ein kleines Scheibchen aus Bleiblech (n) befestigen. An dem Draht f bringen wir ein Scheibchen aus Messingblech (k) so an, daß wir es verschieben können, außerdem an seinem oberen Ende eine herzförmige Zeigerspitze (g) aus rotem Papier. Über dem gebogenen Teil des Drahtes b (Abb. 66) befestigen wir eine aus weißem Karton ausgeschnittene Skala (h). Nun sind die beiden Drahtenden der Spule noch zu zwei Klemmen (i, i) auf dem Grundbrette zu führen, und der Apparat ist fertig.

Ogleich das eben beschriebene Instrument schon recht empfindlich ist — die Empfindlichkeit läßt sich durch Verschieben der Messingscheibe k nach oben vermehren, durch Verschieben nach unten verringern —, so wird es uns nicht für alle Fälle genügen, und wir wollen deshalb sehen, wie wir uns einen Apparat fertigen können, der an Empfindlichkeit für schwache elektrische Ströme nichts zu wünschen übrig läßt.

Der Multiplikator.

Der Multiplikator, wie man ein solches Instrument nennt, ist im Prinzip nicht anders konstruiert, als die beiden obigen Appa-

rate: ein Magnet, der sich senkrecht zu den vom Strome durchflossenen Windungen einer Drahtspule zu stellen sucht.

Abb. 70 zeigt uns den Multiplikator im Vertikalschnitt: a ist ein kreisrundes Grundbrett, an dessen Rande drei ver-

stellbare Schrauben die Füße bilden. Auf dem Brett liegen mit 3 bis 4 mm Zwischenraum zwei Drahtspulen nebeneinander (b und c), die beide im allgemeinen genau so zu fertigen sind, wie die des Vertikalgalvanoskopes, nur müssen sie kleiner sein als jene, etwa 7 cm lang, 2 cm breit, und es darf der Spulenrahmen nicht aus Weißblech gemacht werden, wie überhaupt jede Spur von Eisen an dem Apparat zu vermeiden ist. Für die Rahmen verwenden wir dünnes Zink-, Kupfer- oder Messingblech, oder wir kleben sie aus Karton zusammen.

Das Bewickeln hat für jede Spule mit 30 bis 34 m 0,4 mm starken Drahtes zu geschehen, und es muß jede Lage von der nächsten durch ein in Schellackfirnis getränktes Papier getrennt werden. Man sehe sich vor, daß die Isolierung des Drahtes nirgends verletzt werde. Die fertigen Spulen klebt man mit Schellack in 3 bis 4 mm Abstand genau in die Mitte des Grundbrettes. Die beiden äußeren Drahtenden werden zu zwei Klemmen auf den Rand des Brettes a geführt, die beiden inneren werden miteinander verbunden. Sind die Spulen richtig gelegt worden, so muß ein elektrischer Strom beide in der gleichen Richtung durchfließen.

Bei diesem Instrument kommt nun nicht nur eine Magnetnadel zur Verwendung, sondern ein System von

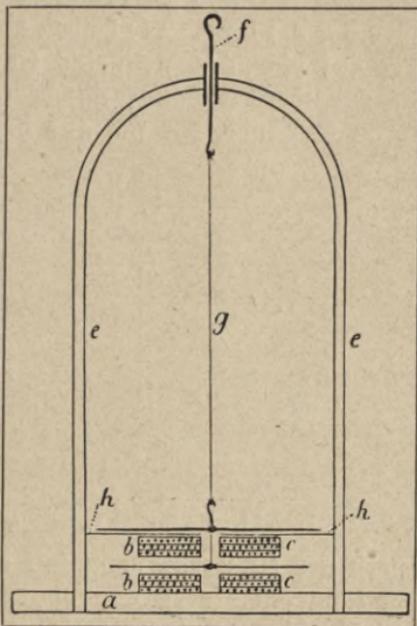


Abb. 70. Multiplikator im Vertikalschnitt.

zweien, ein sogenanntes astatisches Nadelpaar. Dies besteht aus zwei miteinander verbundenen und parallelen Magnetnadeln, die mit den ungleichnamigen Polen übereinanderliegen. Von einer ziemlich dünnen Stricknadel schneiden wir uns zwei Stäbchen ab, das eine 6 cm, das andere 7 cm lang. Die beiden Enden des längeren schleifen wir auf einem Schleifsteine zu feinen Spitzen aus. Die Nadeln werden dann, nachdem sie magnetisiert sind, in einem Abstände, der sich aus der Dicke der Spulen ergibt

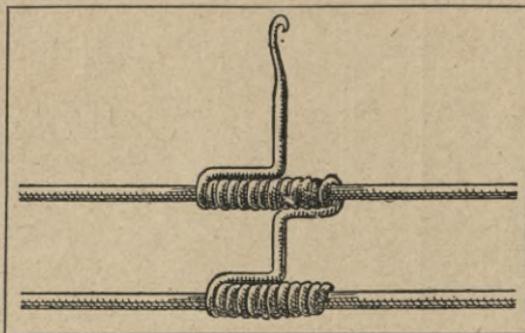


Abb. 71. Astatisches Nadelpaar.

(5 bis 7 mm), so miteinander verbunden, wie es Abb. 71 darstellt: mit einem geglähten und mit Glaspapier gereinigten, etwa 8 mm starken Kupfer- oder Messingdrahte wird die Mitte

zuerst der kürzeren, dann mit dem richtigen Abstände die der längeren Nadel umwunden und schließlich das Ende des Drahtes zu einem Häkchen umgebogen, dessen oberste Stelle genau über der Mitte der beiden Nadeln liegen muß. Um der Befestigung noch mehr Halt zu geben, löten wir die Windungen des Kupferdrahtes zusammen. Dies hat mit einem Lötkolben zu geschehen und muß möglichst rasch ausgeführt werden, damit die Härte des Stahles der Nadeln nicht durch zu große Erhitzung leidet.

Zum Aufhängen des Nadelpaares an einem Seidenfaden dient uns der Drahtbogen e, der aus 3 bis 4 mm starkem Messingdrahte gebogen ist und mindestens 20 cm hoch sein soll. Nachdem wir die beiden Schenkel des Bogens unten in das Grundbrett eingelassen und befestigt haben, sägen wir ihn oben in der Mitte auseinander, um zwischen die dadurch entstandenen Enden ein 4 bis 5 mm weites dünnwandiges Messingröhrchen einzulöten, wie es Abb. 72 a im Schnitt, b in der Ansicht zeigt. Da in diesem

Röhrchen der Stift *f* (Abb. 70), der als Aufhängepunkt für den Seidenfaden dient, verschiebbar sein soll, so müssen die Wandungen des Röhrchens federnd an ihm anliegen, was dadurch erreicht wird, daß wir es von oben und unten mit zwei Sägepalten versehen (siehe Abbildung 72 b) und dann seitlich etwas zusammendrücken. An dem Stift *f*, der oben mit einem Knopf, unten mit einem Häkchen zu versehen ist, werden einige nicht gedrehte Kokonsäden (*g*) befestigt, deren unteres Ende in das Ringchen des Nadelpaares eingeknüpft wird. Die für diesen Zweck geeigneten Kokonsäden sind als Seidenumspinnung an den guten elektrischen Kabelschnüren zu finden. Auch aus loser, nicht zu stark gedrehter Stiefseide können wir gute Kokonsäden herausziehen. Der Faden muß so lang sein, daß bei einer mittleren Stellung des Stiftes *f* die untere Nadel genau in der Mitte des Hohlraumes der beiden Spulen schwebt; die obere Nadel ist so weit von der unteren entfernt, daß sie nun einige Millimeter über der oberen Fläche der Spulen steht, auf welche noch eine mit einer Gradeinteilung versehene runde Kartonscheibe (*h*) aufgeklebt wird; diese muß in ihrer Mitte einen 7 cm langen, 4 mm breiten Spalt haben, damit man die Nadel herausnehmen kann.

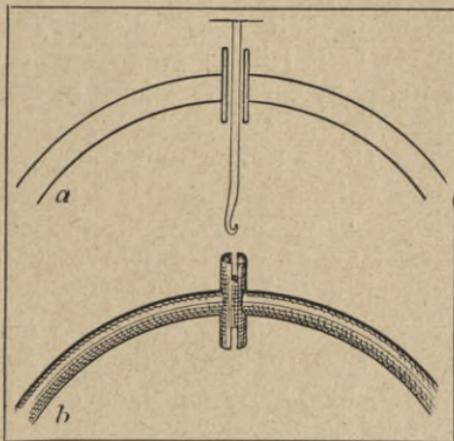


Abb. 72. Messingröhrchen für den Multiplikator.

Damit wäre unser Multiplikator in der Hauptsache fertig, nur müssen wir die überaus leicht bewegliche Nadel vor Luftströmungen schützen können, was wir durch eine über den ganzen Apparat gestülpte Glasglocke erreichen. Wir können uns aber auch selbst eine durchsichtige Schutzhülle herstellen, die uns nicht so teuer zu stehen kommt, indem wir uns aus ebenen Glasplatten einen viereckigen

Kasten nach Art der auf Seite 79 beschriebenen Glasbehälter fertigen. Wer gar einen unbrauchbar gewordenen, noch nicht zerschnittenen Rollfilm erhalten kann, der verfähre wie folgt: Sagen wir, die Schutzhülle soll einen Durchmesser von 10 cm und eine Höhe von 20 cm bekommen. Wir schneiden uns von dem Film, der etwa 10 cm breit sein mag, zwei 32 cm lange Stücke ab und befreien sie durch Abwaschen in mäßig warmem Wasser von ihrer Gelatineschicht. Aus starkem Karton kleben wir uns einen 10 cm weiten und 1 cm breiten Ring, den wir mit einer Lösung von Zelluloid in Essigäther bestreichen, und ziehen dann den Filmstreifen darüber, dessen übereinanderfallende Ränder wir ebenfalls mit Zelluloidlösung bestreichen und zusammenkleben. Den zweiten Streifen kleben wir oben an dem ersten an. Dadurch ist ein etwa 20 cm hoher Zylinder entstanden, dessen oberer Rand, wie der untere, noch durch einen Kartonstreifen verstärkt wird. Die eine der Öffnungen des Zylinders wird mit einer kreisrunden Zelluloidscheibe zugelebt, und die Schutzhülle ist fertig.

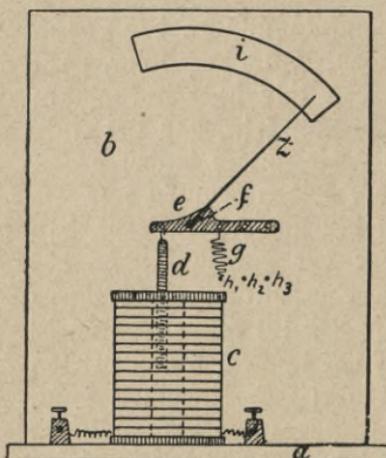


Abb. 73. Schema eines Voltmeters.

Volt- und Amperemeter.

Die oben beschriebenen Apparate dienen, wie der Name schon sagt, mehr dazu, das Vorhandensein galvanischer Ströme gewissermaßen sichtbar (Galvanoskop) zu machen, weniger um ihre Stärke zu messen; dazu gebrauchen wir besondere Meßinstrumente, Voltmeter und Amperemeter (Galvanometer).

Abb. 73 zeigt uns das Schema eines Voltmeters. An dem Grundbrette *a*, das mit Stollen versehen wird, ist die Rückwand *b* angeschraubt. Auf *a* befestigt ist die Drahtspule *c*, deren Bewicklung sich nach der Größe der mit dem Instrument zu messenden Spannungen richten muß.

d ist ein Eisenkern aus gut durchgeglühtem weichem Eisen, der mit einer Drahtschlinge an dem Hebel e aufgehängt ist. Abb. 74 zeigt diesen Hebel in etwas größerem Maßstabe: Ein dünnes etwa 1 cm langes Messingröhrchen (m), das glatt über einen 3 bis 4 cm langen Messingstift paßt, dient als Lager im Drehpunkt des Hebels. Der Hebel selbst (h in Abb. 74) wird aus 1 mm starkem Messing-

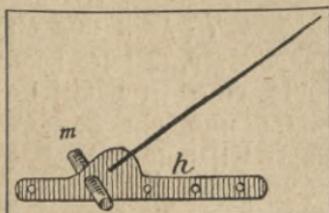


Abb. 74. Hebel.

blech geschnitten und auf m angelötet. Das Verhältnis der Armlängen geht aus der Figur hervor. Der Zeiger z wird aus Kupferdraht hergestellt und an h angelötet. Der Messingstift f ist in b eingelassen. Die Spiralfeder g ist aus etwa 0,5 mm starkem ungeglühtem Kupferdraht hergestellt und soll einen Durchmesser von 1 bis 1,5 cm haben. Entsprechend den drei Einschnitten im Hebel sind auf dem Brett b drei Hälkchen, h_1 , h_2 , h_3 angebracht; dadurch kann man die Feder an drei verschiedenen Punkten des Hebels angreifen lassen und damit die Empfindlichkeit des Instrumentes regulieren. i ist ein Kartonstreifen, auf den die Skala eingezeichnet wird.

Für unsere Zwecke wird für die Spule eine Bewickelung von 40 m eines 0,3 bis 0,5 mm starken Kupferdrahtes geeignet sein. Da nun ein Voltmeter, um als solches zu dienen, nicht in den Hauptstromkreis eingeschaltet werden darf, sondern im Nebenschluß liegen muß, so müssen wir einen Draht von geringerem Widerstand als dem der Spule auf der Rückseite des Brettes b anbringen. Wir verwenden dazu einen 1 mm starken, 5 m langen Kupferdraht, dessen Enden wir wie auch die der Spule zu Klemmen führen, die auf dem Grundbrette a angebracht sind. Näheres über die Schaltungsweise werden wir später hören.

Ein Amperemeter unterscheidet sich nur dadurch von einem Voltmeter, daß es in den Hauptstromkreis eingeschaltet wird und deshalb die Windungen der Spule in geringerer Zahl und von dickerem Draht sein müssen. Wir werden also etwa 3 bis 5 m eines 1,5 bis 2 mm starken

Kupferdrahtes verwenden. Bei einem Mechaniker lassen wir uns die Instrumente durch Vergleich mit guten Präzisionsapparaten eichen.

Abb. 75 zeigt uns eine andere Konstruktion eines Galvanometers, welches dadurch wirkt, daß sich in einer Drahtspule eine feste Eisenplatte und ein bewegliches Eisenplättchen befinden; geht nun ein Strom durch den Draht, so werden beide Eisenteile gleichnamig magnetisch und stoßen einander ab.

Wir stellen uns aus dünnem Messingblech einen Rahmen her, dessen Form Abb. 76 zeigt; die vordere Begrenzungsplatte ist in der Abbildung weggelassen; sie soll ziemlich größer sein als die hintere und auch aus etwas stärkerem Blech hergestellt werden. Auf dem Boden des Rahmens befestigen wir eine 2 bis 3 mm starke Eisenplatte. In dem Winkel, den diese Eisenplatte mit der

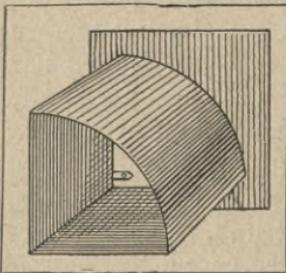


Abb. 76.

Rahmen des Galvanometers.

geraden Seitenwand des Rahmens bildet, soll die Drehungsachse für das bewegliche Plättchen liegen. Da die Lagerreibung möglichst gering sein muß, stellen wir uns ein Spitzenlager her: Ein Eisenstäbchen, 2 mm stark und 3 mm länger als der Rahmen, wird an beiden Enden spitz zugeseilt. Nun wird aus dünnem Weißblech ein rechteckiges Plättchen geschnitten, dessen Größe sich aus der Konstruktion ergibt und außerdem aus Abb. 75 zu ersehen ist und das, wie der aus Messingdraht herzustellende Zeiger, an das Eisenstäbchen anzulöten ist

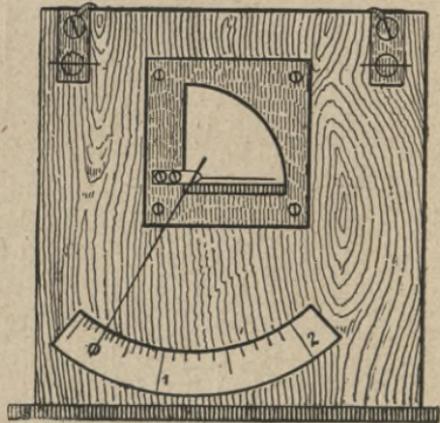


Abb. 75. Andere Konstruktion eines Galvanometers.

(siehe Abb. 77). Sowohl an der vorderen als auch an der hinteren Begrenzungsplatte werden zwei kleine Arme



Abb. 77. Das Plättchen mit Zeiger.

(e in Abb. 78) so angebracht, daß sie noch in die Öffnung des Rahmens hineinragen. Beide erhalten je an einem ihrer Enden kleine

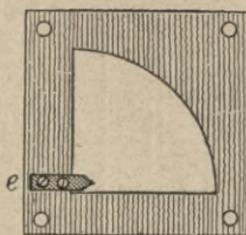


Abb. 78. Anbringen der Arme zur Aufnahme der Spitzen des Eisenstäbchens.

kegelförmige Vertiefungen (mit dem Körner einzuschlagen!), die zur Aufnahme der Spitzen des Eisenstäbchens dienen. Einer dieser Arme darf angelötet sein, während der andere mit zwei Schrauben befestigt wird.

Für die Bewickelung gilt bei diesem Instrument das gleiche wie bei dem oben beschriebenen. Bevor wir jedoch den Draht auf den Metallrahmen aufwinden, müssen wir ihn mit in Schellack getränktem Papier umkleben.

Ein rechteckiges Brettchen wird auf ein Grundbrett aufgeschraubt und erhält oben eine Öffnung, die so groß ist, daß wir den hinteren Teil des Rahmens durchschieben können, daß sie aber von der vorderen Begrenzungsplatte ganz bedeckt wird; letztere wird mit vier Schrauben an dem Brett befestigt. Jetzt soll der Zeiger nicht senkrecht herunterhängen, sondern unten etwas nach links stehen; das Eisenplättchen soll horizontal liegen, mit dem Zeiger einen Winkel von 100 bis 110° bilden und in einem Abstand von höchstens 2 mm über der Eisenplatte schweben. Ist es so leicht, daß es dem nach links ragenden Zeiger nicht das Gleichgewicht halten kann, so hilft man sich, indem man es mit einigen Tropfen Siegelack beschwert. Die Drahtenden werden zu Klemmen geführt, und schließlich wird die Skala angebracht, wie dies oben beschrieben wurde.

Die Messbrücke.

Zur Bestimmung von Widerständen bedient man sich im allgemeinen der sogenannten Wheatstoneschen Brücke, die sehr einfach und leicht herzustellen ist. Abb. 79 gibt die Ansicht einer solchen von oben, Abb. 80 einen Querschnitt. a ist ein

10 cm breites, 1,10 m langes Brett aus gutem Holz (etwa Nußbaum); darauf aufgeschraubt sind in einem Abstand von 2 cm die beiden Leisten b_1 und b_2 , zwischen denen der 3 cm lange Schieber c_1 sich hin und her schieben läßt. Auf diesen Schieber wird ein Messingblech aufgeschraubt, dessen Form aus Abb. 80 II (von oben gesehen) und III (von der Seite gesehen) zu erkennen ist. An den Enden des Brettes werden zwischen den Leisten b_1 b_2 quadratische Brettchen aufgeleimt; auf diesen werden je mit einer Klemmschraube die Enden eines 1 mm starken Nickelindrahtes befestigt. Der Draht muß gut angespannt sein und genau in der Mitte zwischen

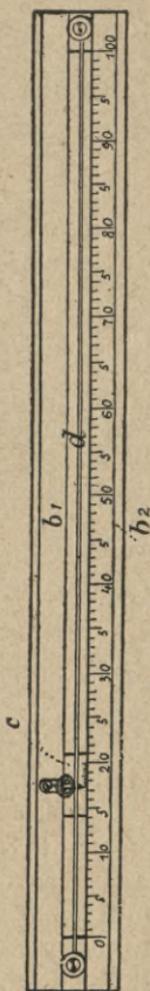


Abb. 79. Die Wheatstone'sche Brücke.

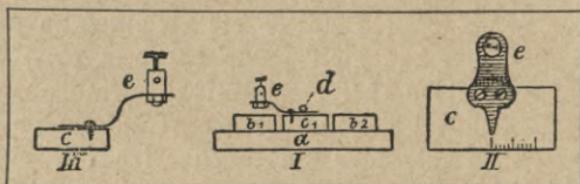


Abb. 80. Querschnitt der Wheatstone'schen Brücke.

b_1 und b_2 verlaufen; außerdem muß er auf der Spitze des Kontaktbleches e fest aufliegen. Auf dem Brettchen b_2 wird nun noch ein Metermaß, auf dem auch die Millimeter eingezeichnet sind, angebracht und auf dem Schieber eine Noniuseinteilung, deren Nullpunkt genau vor der Spitze des Kontaktbleches e liegen muß.

Nun brauchen wir noch einen oder mehrere Vergleichswiderstände, das heißt Drähte, deren Widerstände, in Ohm gemessen, uns bekannt sind. In den einschlägigen Geschäften kann man sich geeichte Widerstände kaufen. Außerdem sei erwähnt, daß ein 1 m langer und 0,5 mm starker Nickelindraht einen Widerstand von etwa 2 Ohm, und daß ein 4 m langer und 0,3 mm starker Kupferdraht einen solchen von ungefähr 1 Ohm besitzt.

Der Kommutator.

Es fehlt uns nun noch der Kommutator oder Stromwender, das ist eine Einrichtung, um mit einem einfachen Handgriff die Richtung des Stromes in einer Leitung zu ändern. An den beiden

Schmalseiten eines Brettchens (B in Abbildung 81) befestigen wir je zwei Klemm-

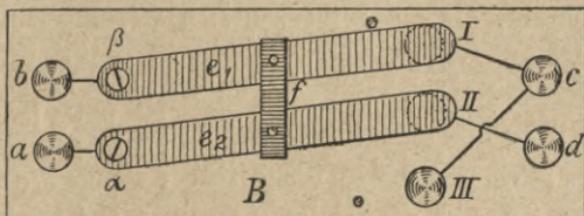


Abb. 81. Der Kommutator.

schrauben (a, b, c, d). Dann machen wir zwei 5 mm starke und 7 cm lange Messingblechstreifen (e_1 e_2) durch kräftiges Hämmern federnd und geben ihnen die aus Abb. 82 (Seitenansicht) zu erkennende Form. Ihre Mitten werden mit einem Hart-

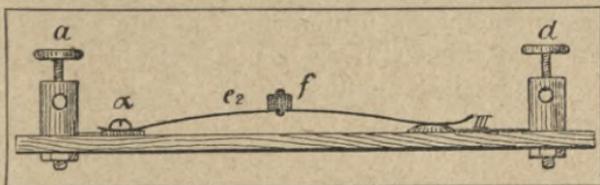


Abb. 82. Seitenansicht des Kommutators.

gummi- oder Beinstäbchen (f), welches mit Nieten befestigt wird, verbunden. Die nicht aufgebogenen Enden der Federstreifen werden durchbohrt und bei α und β so angeschraubt, daß sie sich gerade noch leicht drehen lassen. Die in Abb. 81 mit I, II, III bezeichneten Punkte sind drei flachgewölbte, messingene Ziernägel, die so anzubringen sind, daß jeweils zwei davon unter den Enden der Federn e_1 und e_2 liegen. Nun werden die Klemmen a mit α und b mit β durch ein kurzes Stück Kupferdraht, das beiderseits anzulöten ist, verbunden. Ebenso werden I mit c, II mit d und III wieder mit c verbunden. Die einzelnen Verbindungsdrähte dürfen nicht in leitende Verbindung miteinander kommen, die Enden von e_1 und e_2 müssen federnd und fest auf den Nagelköpfen aufliegen. Verbinde ich den positiven Pol einer Stromquelle mit a, den negativen

mit b, so ist bei der in Abb. 81 gezeichneten Stellung der Federn d die positive und c die negative Klemme. Schiebe ich nun die Messingstreifen so, daß sie die Köpfe II und III berühren, so wird c positiv und d negativ.

Nachdem wir nun mit der Beschreibung aller der Apparate, die Rudi im weiteren Verlauf seines Vortrages gebrauchte, zu Ende gekommen sind, wollen wir in nachstehendem hören, welche Versuche er damit anstellte.

Der Einfluss des galvanischen Stromes auf den Magneten.

Rudi legte seine große Magnetnadel auf die Spitze des Gestelles, das er sich für das elektrische Flugrad (Seite 17) gemacht hatte, und versah deren nach Norden zeigende Spitze mit einem roten, die nach Süden zeigende mit einem weißen Papierchen, um die Bewegungen der Nadel deutlicher sichtbar zu machen. Er zeigte mit einem gewöhnlichen Stabmagnet die Anziehung und Abstoßung der ungleichnamigen und gleichnamigen Pole. Dann leitete er durch einen einfachen, zur Spirale gewundenen Draht einen starken Akkumulatorenstrom — dabei durfte er die Einschaltung eines Widerstandes (siehe Anhang) nicht vergessen, da es sonst einen Kurzschluß (Seite 153) gegeben hätte — und zeigte, daß diese Spirale die gleichen Eigenschaften aufwies, wie der Magnet. Nun ließ er von seiner Schwester den Strom ausschalten und zog die Spirale auseinander, so daß er einen gestreckten Draht in den Händen hatte, welchen er parallel über die wieder zur Ruhe gekommene Nadel hielt. Als Rätke den Strom wieder einschaltete, wurde die Nadel von ihrer Nord-Südrichtung abgelenkt. Die gleichen Versuche machte Rudi mit einigen aus vielen Windungen bestehenden Drahtspulen, wies auf die nun erhöhte Wirkung hin und erklärte, daß die Wirkung einer solchen Spule umso größer ist, je größer das Produkt aus der Zahl der Amperes und der Zahl der Windungen (Amperewindungen) ist.

Die Kraftlinien.

Um den Begriff der Kraftlinien zu erläutern, legte Rudi einen starken Stabmagneten unter einen weißen Karton, den er mit feinen Eisenfeilspänen bestreute und durch Klopfen mit dem Finger

leicht erschütterte; dabei ordneten sich die Eisenspäne nach den Kraftlinien des Magneten. Solche Kraftlinienbilder hatte sich Rudi schon vor dem Vortrag mehrere hergestellt und sie durch sehr reichliches Bestäuben mit Fixativ fixiert; diese gab er nun seinen Hörern, da die Linien des anderen beim Herumgeben zu bald zerstört worden wären. Um zu zeigen, daß sich um jeden Strom, auch wenn er geradlinig verläuft, ein kreisförmiges magnetisches Feld ausbreite, steckte Rudi durch das Loch einer dünnen Messingscheibe, die er mit Eisenfeile bestreute, einen 3 mm starken Kupferdraht, mit dem er seine Akkumulatorenbatterie nur einige Sekunden kurz schloß, während er gleichzeitig die Blechscheibe etwas erschütterte; dabei ordneten sich die Feilspäne in konzentrischen Ringen um den Draht herum. (Man sei bei diesem Versuche vorsichtig, da der Draht durch den Kurzschluß bis zum Glühen oder gar Schmelzen erhitzt werden kann!) Wie sich nun diese Kraftlinien bei einer Spule so vereinigen, daß sie eine ähnliche Anordnung wie beim Mag-

neten erhalten, erläuterte Rudi an einer Tafel, auf der das in Abb. 83 wiedergegebene Bild aufgezichnet war. Bei dieser Gelegenheit

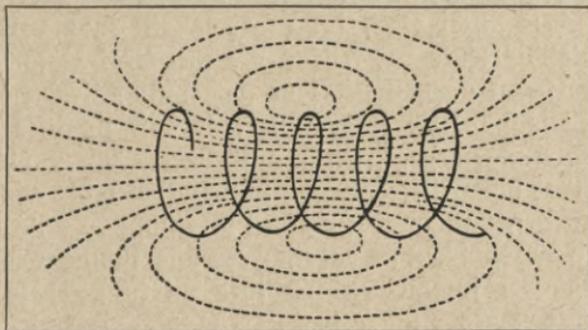


Abb. 83. Verlauf der Kraftlinien in einer vom elektrischen Strome durchflossenen Drahtspirale.

wies er auch darauf hin, daß die Größe der magnetischen Kraft mit der Zahl der Kraftlinien, die z. B. durch 1 qcm gehen, also mit der Dichte der Linien wächst.

Der Elektromagnet.

Für den nächsten Versuch stellte Rudi eine Spule (mit etwa 300 Windungen) so in der Nähe seiner Magnetnadel auf, daß diese, sobald durch jene ein Strom von drei Leclanché-Elementen floß, ein wenig abgelenkt wurde. Ohne

den Strom auszuschalten, schob er dann einen Eisenstab in die Spule; dadurch wurde die magnetische Kraft sofort um so viel stärker, daß die Magnetnadel ganz nach der Spule hingezogen wurde. Dabei wies er darauf hin, daß jetzt die Kraftlinien der Windungen nicht mehr allein wirken, sondern auch das Eisen selbst magnetisch machen und dieses nun eigene Kraftlinien erzeugt. Ferner erwähnte er, daß sich nicht alle Sorten von Eisen gleich stark vom elektrischen Strome magnetisieren lassen und daß weiches Eisen sich ganz anders verhalte wie Stahl. Er tauchte ein Stück eines gut durchgeglühten 3 mm starken Eisendrahtes in Eisenfeilspäne, welche nicht angezogen wurden; dann steckte er über den Draht eine kleine vom Strom durchflossene Spule, und nun wurden die Feilspäne angezogen; darauf entfernte er die Drahtrolle, und die Späne fielen herab. Denselben Versuch machte er auch mit einer stählernen Stricknadel; als er aber hierbei die Drahtspule entfernte, fielen die Feilspäne nicht herab, sondern blieben hängen. Die Erklärung dieser Vorgänge führte Rudi etwa folgendermaßen aus: Wir müssen uns die Moleküle des Eisens als mit zwei magnetischen Polen versehen vorstellen. Für gewöhnlich liegen diese kleinsten Teile gänzlich ungeordnet, so daß sie ihre magnetischen Wirkungen gegenseitig aufheben. Durch die Kraftlinien einer magnetischen Drahtspule werden die Moleküle so geordnet, daß nach der einen Richtung alle ihre nordmagnetischen Pole, nach der anderen alle süd magnetischen zeigen; dadurch summieren sich ihre Wirkungen, so daß an den Enden des Stabes der stärkste Magnetismus auftritt, wie dies ja auch beim gewöhnlichen Stahlmagneten der Fall ist. Wird der elektrische Strom unterbrochen, so fallen beim weichen Eisen die Moleküle wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. Anders dagegen beim Stahl oder auch schon beim gehärteten Eisen. Wir wollen einmal das Stück von weichem Eisendraht, das, wie wir vorhin gesehen haben, nur so lange magnetisch blieb, als es vom Strome umflossen war, härten, indem wir es in glühendem Zustande in kaltes Wasser tauchen, und dann den Versuch wiederholen. Nun verhält es sich, wie vorhin die

Stricknadel, es behält seinen Magnetismus; glühen wir es wieder aus, so verliert es ihn wieder. Vollständig verliert dagegen selbst das weichste Eisen den ihm einmal beigebrachten Magnetismus nicht; der zurückbleibende Rest wird remanenter Magnetismus genannt. Darüber werden wir im nächsten Vortrag noch ausführlicher sprechen.

In dem nächsten Versuch erläuterte Rudi die Beziehung zwischen Stromrichtung und Magnetpol. Er stellte einen Elektromagneten so weit von der großen Magnetnadel auf, daß diese gerade noch deutlich sichtbar abgelenkt wurde. In den Stromkreis der Drahtspule hatte er den Kommutator eingeschaltet, mit dessen Hilfe er — nachdem er ihn zuvor kurz beschrieben hatte — die Stromrichtung änderte. Dadurch wurde die vorhin angezogene Nadelhälfte jetzt abgestoßen, und die andere strebte nun dem Elektromagneten zu. Rudi wies darauf hin, daß die Bezeichnung der Pole von der Stromrichtung abhinge und zeigte diese Tatsache auch an dem Vertikalgalvanoskop, dessen Zeiger bei der einen Stromrichtung nach rechts, bei der anderen nach links hin ausschlug. An dieser Stelle erwähnte Rudi auch die Ampere'sche Schwimmerregel: Denkt man sich in dem Draht der Magnetisierungsspirale in der Richtung des positiven Stromes schwimmend, so daß man mit dem Gesicht dem Magnetstab zugewendet ist, so muß dessen Nordpol zur linken Seite des Schwimmers entstehen.

Über einige praktische Anwendungen des Elektromagneten, wie elektrische Klingel, Telegraph u. s. w. werden wir im nächsten Vortrage hören; jetzt wollen wir noch die Wirkungsweise der einzelnen Meßinstrumente genauer kennen lernen.

Die Wirkungsweise der Meßinstrumente.

Das einfache Nadelgalvanoskop ist nichts anderes als eine flache Drahtspule, durch welche, sobald sie ein Strom durchfließt, Kraftlinien laufen, die die Magnetnadel in ihre Richtung zwingen. In der gleichen Weise kommt die Wirkung des Vertikalgalvanoskopes zu stande.

Ebenso verhält sich der Multiplikator; nur daß wir hier eine durch vier Umstände erhöhte Empfindlichkeit

haben. Erstens ist der Einfluß des Erdmagnetismus auf das Nadelpaar sehr herabgesetzt, da die beiden ungleichnamig übereinanderliegenden Pole nach entgegengesetzten Richtungen streben. Sie spielen trotzdem in die Nord-Südrichtung ein, da der Magnetismus der oberen (längeren) Nadel etwas stärker ist. Zweitens haben wir bei diesem Instrument zwei Drahtspulen, also mehr Amperewindungen und damit mehr Kraftlinien. Drittens wirken die Kraftlinien nicht nur innerhalb der Spule auf das Nadelpaar, sondern auch außerhalb, und zwar auf beide Nadeln in gleicher Weise — obgleich diese mit den ungleichnamigen Polen übereinanderliegen — da die Kraftlinien außerhalb der Windungen in entgegengesetzter Richtung laufen, wie die innerhalb der Windungen. Viertens bietet die Art der Aufhängung am Kokonsfaden der Drehung nur einen sehr geringen Widerstand.

Die Wirkungsweisen der beiden auf Seite 96 bis 99 beschriebenen Instrumente ist dort schon hinreichend erklärt worden; wir wollen jetzt nur noch hören, warum das Voltmeter, entgegengesetzt dem Amperemeter, im Nebenschluß liegen muß. Doch bevor wir das verstehen können, müssen wir die Spannungsverhältnisse an den verschiedenen Stellen eines vom Strome durchflossenen Leiters kennen lernen.

Das Spannungsgefälle.

Zu dem Versuch, den wir dabei ausführen, müssen wir schon einen praktischen Gebrauch von dem im Nebenschluß liegenden Voltmeter machen. Wir verbinden die Pole eines Bunsenelementes mit einem etwa 1 m langen, zum Kreise gebogenen Nickelindrahte von 0,5 mm Stärke. Dann führen wir von den beiden Stellen des Drahtkreises, die den Polen des Elementes am nächsten liegen, je einen Kupferdraht zu den Klemmen unseres Voltmeters, das, wenn wir es für diesen Versuch verwenden wollen, mindestens Zehntelvolt anzeigen muß. Ist unser Instrument nicht so empfindlich, so müssen wir statt eines 5 bis 10 Elemente hintereinandergeschaltet oder unser Vertikalgalvanoskop verwenden, das freilich nur die relativen, nicht die absoluten Spannungsgrößen angibt. Verwenden wir das Voltmeter, so müssen wir den auf der Rückwand ange-

brachten Nebenschlußdraht ausschalten, da der Nickelindraht nun seine Stelle vertritt. (Für die weiteren Betrachtungen nehmen wir an, wir hätten das in Abb. 66 dargestellte Vertikalgalvanoskop verwendet.) Nachdem wir also die genannte Verbindung hergestellt haben, werden wir einen Ausschlag der Nadel nach rechts etwa bis zur Ziffer 6 der Skala bekommen. Rücken wir nun die beiden Drahtenden, die wir um den Nickelindraht herumgebogen haben, von den Polen des Elementes weg und der Mitte des Drahtes zu, so wird der Ausschlag der Nadel immer kleiner und kleiner, bis sie auf 0 zur Ruhe gekommen ist. Jetzt werden die verschobenen Drahtenden noch 10 oder 20 cm voneinander entfernt sein. Wir schalten, ohne im übrigen etwas zu verändern, statt des Galvanoskopes unseren Multiplikator ein, der, da er viel empfindlicher ist, jetzt noch kräftig ausschlägt. Wir schieben nun die Drahtenden noch weiter zusammen, bis auch dieses Instrument keinen Strom mehr anzeigt; sie werden dann nur noch wenige Zentimeter voneinander entfernt sein.

Diese Erscheinung erklärte Rudi an zwei Zeichnungen, die er in großem Maßstabe ausgeführt hatte und die in den Abb. 84 und 85 dargestellt sind. Eine Glasröhre sei mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und einerseits mit einer Kupferplatte K, andererseits mit einer Zinkplatte Z verschlossen, so daß sie ein Voltasches Element bildet; von Z nach K führt ein Draht. Wir haben dann einen geschlossenen Stromkreis K—a—Z—b—K. Bei K haben wir $\frac{1}{2}$ Volt positiver Spannung; wie wir vorhin gesehen haben, sinkt diese, je weiter wir uns der Mitte (a) des Drahtes nähern, bis sie hier auf dem Wert 0 angekommen ist. Gehen wir noch weiter, so sinkt die positive Spannung noch mehr, das heißt sie geht in eine

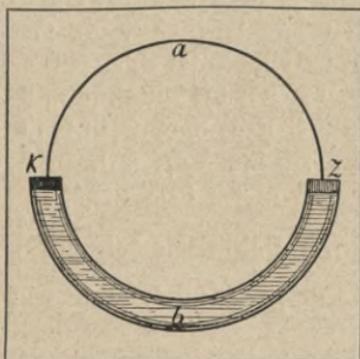


Abb. 84. Schematische Darstellung eines Stromkreislaufes.

negative Spannung über, bis sie bei Z den Wert $-\frac{1}{2}$ Volt erreicht hat. Verfolgen wir nun die Potentiale auch in der Flüssigkeit, so finden wir, daß bei Z ein plötzlicher Wechsel eintritt: von $-\frac{1}{2}$ Volt (der Zinkplatte) steigt die Spannung (der Flüssigkeit) auf $+\frac{1}{2}$ Volt, um von da ab wieder bis 0 (bei b) zu sinken, bis sie bei K wieder den Wert $-\frac{1}{2}$ Volt

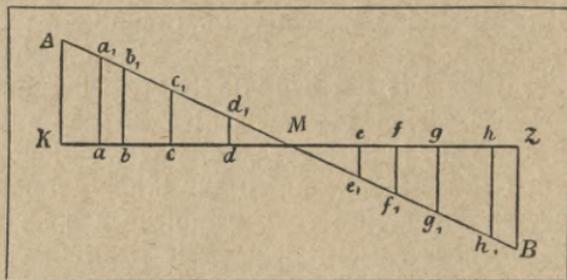


Abb. 85. Schema des Spannungsgefälles.

erreicht hat. Den plötzlichen Wechsel der Potentiale bei K und Z verursacht die elektrische Scheidekraft, die Kraft, der wir das Entstehen der elektromotorischen Kraft verdanken. In Abb. 85 sei KZ ein vom Strome durchflossener Leiter. Bei K hat die Spannung den positiven Wert KA, bei den Punkten a, b, c, d sinkt sie ständig (die Längen der Linien a a₁, b b₁, c c₁, d d₁ u. s. w.), bei M ist sie gleich 0 und bei Z gleich dem negativen Wert ZB.

Die Voltmeterschaltung.

Jetzt ist leicht zu verstehen, warum ein Voltmeter nicht wie das Amperemeter in den Hauptstromkreis eingeschaltet werden darf.

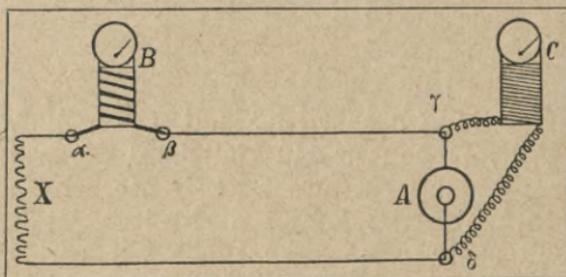


Abb. 86. Schaltungsschema für Volt- und Amperemeter.

Betrachten wir das Schema in Abb. 86: A ist eine Stromquelle, X ein Leitungsnetz, B das in den Hauptstrom eingeschaltete

Amperemeter, das, um dem Strom möglichst wenig Widerstand zu bieten, aus wenig Windungen eines dicken

Drahtes besteht. Weil der Widerstand des Instrumentes nahezu gleich 0 ist, besteht auch zwischen den Klemmen α und β fast kein Spannungsunterschied. Anders verhält sich dies bei den beiden Punkten γ und δ , an welchen die Zuleitungsdrähte zum Voltmeter C angeschlossen sind: Hier herrscht die Spannungsdifferenz, die die elektromotorische Kraft der Stromquelle bei dem Widerstand des Leitungsnetzes X hervorzurufen im stande ist. Das Voltmeter besteht aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes, damit es der Hauptleitung nicht zu viel Strom entziehe; denn durch den großen Widerstand des langen dünnen Drahtes fließt nur ein geringer Bruchteil des Hauptstromes, dem nur der vielmal kleinere Widerstand X entgegensteht. Fehlt ein natürlicher Hauptstromkreis bei einer Stromquelle, deren Spannung gemessen werden soll, so muß er künstlich hergestellt werden (vergleiche Seite 97).

Widerstandsbestimmung.

Wir haben jetzt gesehen, wie wir Stromstärken und Spannungen messen können, und wollen nun noch eine einfache Art der Widerstandsbestimmung kennen lernen.

Lassen wir einen elektrischen Strom durch zwei gleiche Drähte fließen (a, α, b und a, β, b in Abb. 87) und verbinden zwei beliebige Stellen (α und β) dieser Leitungen miteinander, so wird nur dann ein Strom durch diese Verbindung, die auch Brücke genannt wird, fließen, wenn die Spannungen an den beiden Anschlußstellen (α und β) verschieden sind, das heißt, wenn an den Enden des Verbindungsstückes eine Potentialdifferenz besteht. Ist diese nicht vorhanden, so kann in $\alpha \beta$ auch kein Strom fließen. Denken wir uns nun das Spannungsgefälle der beiden Drähte a, α, b und a, β, b graphisch dargestellt, so bekommen wir zweimal die Abb. 85. Markieren wir hier auf den beiden Abbildungen zwei Punkte gleicher Spannungen, z. B. e , so ist das Verhältnis

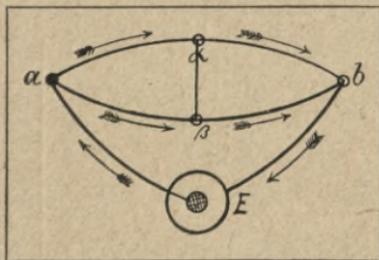
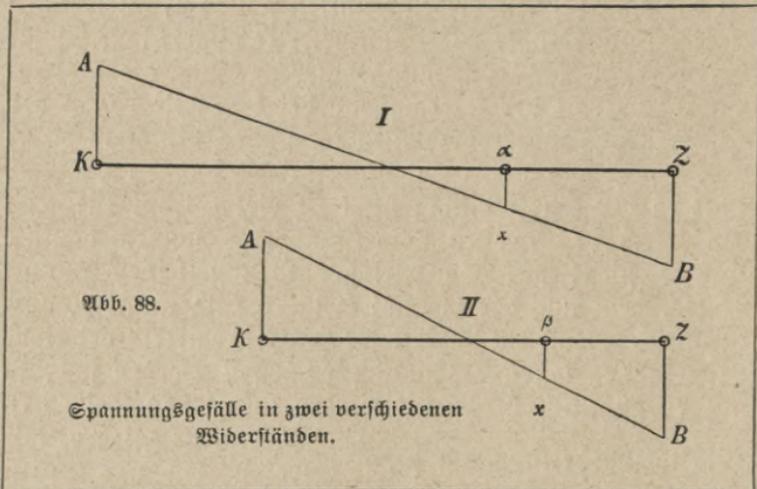


Abb. 87. Wheatstonesche Brücke.

$K e : e Z$ bei der einen Abbildung gleich dem Verhältnis $K e : e Z$ bei der anderen. Nehmen wir auch an, der Widerstand der beiden Zweigdrähte sei verschieden, so gilt



doch das Gleiche. In Abb. 88 sei I der Zweigdraht mit größerem, II der mit geringerem Widerstand; die Spannung ist an den Enden beider gleich $K A$ und $Z B$, und nur die durch die Länge von $K Z$ ausgedrückten Widerstände sind verschieden.

Zeichnen wir hier zwei Punkte gleicher Spannungen ein, z. B. in I αx und in II βx , so ist auch hier $K \alpha : \alpha Z = K \beta : \beta Z$. Das Gleiche gilt auch dann, wenn wir annehmen, daß einer der Zweigdrähte aus zwei Teilen mit verschiedenen Widerständen bestehe.

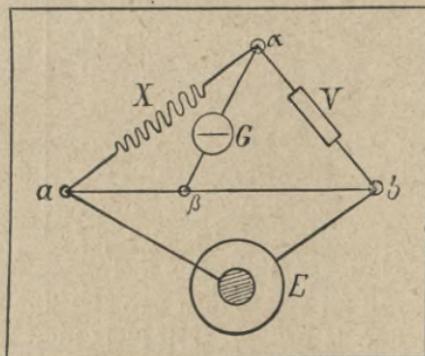


Abb. 89. Wheatstone'sche Brücke.

Wir spannen einen homogenen, an allen Stellen gleichstarken Draht gerade aus, wie $a b$ in Abb. 89, und betrachten ihn als einen Zweig unserer Doppelleitung, die vom Element E gespeist

wird; den anderen Zweig stellen wir zusammen aus einem unbekanntem Widerstande X und einem bekannten V (Vergleichswiderstand). In die Brücke $\alpha\beta$ schalten wir unseren Multiplikator G . Wenn es nicht der Zufall gerade gewollt hat, so ist jetzt die Spannung bei α nicht gleich der bei β , weshalb uns der Multiplikator einen Strom anzeigen wird. Verschieben wir das Drahtende bei β nach rechts oder links, so werden wir leicht die Stelle finden, die mit α auf gleicher Spannung ist, was wir daran erkennen, daß der Multiplikator keinen Strom mehr anzeigt. Daß der ausgespannte Draht $a\ b$ dem Nickelindraht (a) unserer Meßbrücke (Seite 100) und das Drahtende β dem Schieber (c) gleichkommt, braucht nicht näher erwähnt zu werden. Da auf unserer Meßbrücke ein Maßstab angebracht ist, so können wir leicht das Verhältniß $a\beta : \beta b$ ablesen; wir wissen aber auch, daß dies gleich $a\alpha : \alpha b$ ist. Nehmen wir an, daß der Schieber unserer Brücke, die in 100 Teile (Zentimeter) geteilt ist, bei 75 steht, ferner daß unser bekannter Widerstand 10 Ohm habe, so können wir folgende Proportion aufstellen: $75 : 25 = X : 10$; daraus ergibt sich $X = 30$ Ohm.

Wollen wir genaue Messungen machen, so müssen wir zu den Verbindungen der einzelnen Apparate möglichst kurze und dicke Drähte verwenden, damit wir ihre Widerstände vernachlässigen können, ohne dabei einen merkbaren Fehler zu begehen.

Will man Widerstände bei Anwendung von Wechselströmen (siehe vierter Vortrag) messen, so können zur Bestimmung der Stromlosigkeit der Brücke unsere bisher gebrauchten Apparate nicht verwendet werden. Man bedient sich in diesem Falle des Telephons (siehe Anhang). Wird dieses von einem Wechselstrom durchflossen, so gerät durch den Wechsel der Magnetpole die Membrane in Schwingung und gibt einen Ton von sich; ist es tonlos, so ist es auch stromlos. Hat man kein Telephon zur Verfügung, so genügt es, einen einfachen kleinen Elektromagneten mit möglichst vielen Windungen eines dünnen Drahtes in einem Kästchen einer Membran gegenüber zu bringen, wie das auch bei dem im Anhang beschriebenen Telephon gemacht ist.



Den dritten Vortrag bestimmte Rudi wieder für solche Hörer, bei denen er keinerlei Vorkenntnisse, außer solchen, die sie sich in seinem ersten Vortrag erworben hatten, vorauszusetzen brauchte. Er sprach deshalb auch hier nochmals, aber kürzer über die Entdeckung des galvanischen Stromes und die Beschaffenheit eines Elementes sowie über



Abb. 90. Rudi hält seinen dritten Vortrag.

die Zusammenstellung mehrerer Elemente zu einer Batterie. Dann ging er dazu über, an der Hand der bereits bekannten Experimente den Einfluß des galvanischen Stromes auf den Magnet zu zeigen und die Beschaffenheit und Wirkung eines Elektromagneten zu

erklären. Dann kam er auf die Beschreibung der elektrischen Klingel, des Telegraphen und der Elektromotoren zu sprechen. Um auch das Wesen der Dynamomaschine erklären zu können, sprach er eingehender über Magnetinduktion und Induktionsströme, beschrieb die magnetoelektrische Maschine und führte schließlich die Dynamomaschine vor. Die verschiedenen Ankerkonstruktionen, wie T-, Ring- und Trommelanker, berührte er nur kurz. Damit hatte er hinreichend über die Erzeugung des galvanischen Stromes gesprochen und erklärte nun die elektrische Straßenbahn, die Bogenlampe, das Glühlicht, elektrisch betriebene Ventilatoren, Heiz- und Kochapparate u. s. w. Dann ging er zur Beschreibung des Akkumulators über und sprach noch kurz über Spannungen, Leitungsnetze, Sicherungen und Kurzschluß, um mit einer an seine Ausführungen über Induktionsströme anschließenden Beschreibung des Telephons den Vortrag zu schließen.

Auf dem Bild Seite 112 sehen wir Rudi, wie er nach dieser Disposition unter Käthes Assistentz die Herstellung der dabei benutzten Apparate und die mit ihnen ausgeführten Experimente beschreibt.

Die elektrische Klingel.

Eine elektrische Klingel ist sehr einfach herzustellen. Abb. 91 zeigt uns eine solche im Grundriß. a ist ein Grundbrett von beliebigem Holz; b ist ein Elektromagnet, den Abb. 92 im Schnitt zeigt: a ist ein Stück Bandeisen, in das die beiden Magnetschenkel b_1 und b_2 eingienietet sind. c, c sind die Drahtspulen. Die Rähmchen für diese drehen wir aus Holz oder kleben sie aus Karton zusammen. Das Bewickeln von Drahtspulen haben wir im zweiten Vortrag Seite 93 behandelt. Für eine Drahtrolle verwenden wir je nach Größe 12 bis 20 m eines 0,4 bis 0,6 mm starken Kupferdrahtes (für geringere Ansprüche

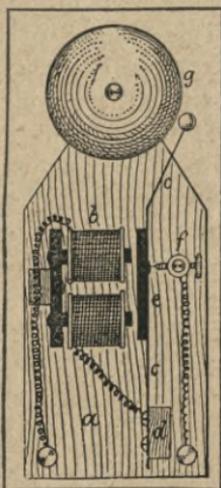


Abb. 91. Die elektrische Klingel.

genügen auch 8 bis 10 m eines etwas stärkeren Drahtes). Die Endflächen der Magnetpole werden mit Papier Scheibchen beklebt,

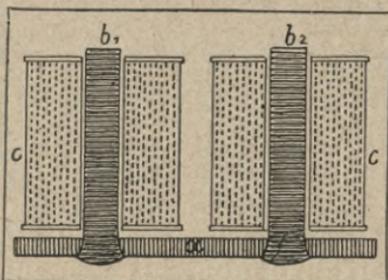


Abb. 92. Elektromagneten mit Spulen (Schnitt).

weil sonst der Anker in Folge des remanenten Magnetismus ab und zu haften bleiben könnte. c (Abb. 91) ist ein federnder Blechstreifen, den wir aus einer alten Uhrfeder oder aus Messingblech herstellen, das wir durch kräftiges Hämmern

auf dem Amboss elastisch machen, daran wird e, der Eisenanker (ein Stück Bandstahl), angeietet oder angelötet. Die Magnetkerne und der Anker müssen gut durchgeglüht werden. d ist ein Holzklotz, an dem das eine Ende der Feder c befestigt ist, das andere Ende wird mit einem Messinghämmerchen oder einer Messingkugel versehen; etwa in der Mitte wird ein Stückchen Platinblech aufgelötet, dem gegenüber die Kontaktspitze f auf einer kleinen Messingsäule ruht. Es ist gut, wenn man f mit einem Muttergewinde versehen, durch das eine Schraube eingedreht werden kann; an dieser lötet man vorn ein kurzes Stückchen Platindraht auf, das die Kontaktspitze bildet. Am Ende des Brettchens a wird die Glockenschale g angebracht. Wie die einzelnen Teile untereinander in leitende Verbindung zu setzen sind, geht aus der Abbildung hervor. Über dem ganzen kann eine Schutzhülle aus Holz oder Pappe angebracht werden; die Glocke selbst muß natürlich frei bleiben.

Der Kontaktknopf. Wir können uns auch ohne Drehbank recht hübsche Kontaktknöpfe herstellen: Auf ein rundes Grundbrettchen a (Abb. 93) wird in der Mitte ein Nagel mit einem breiten Messingkopf b (Reißnagel) eingeschlagen. Aus gehämmertem Messingblech

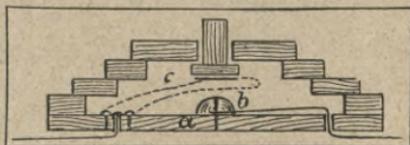


Abb. 93. Schnitt durch den Kontaktknopf.

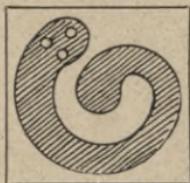


Abb. 94. Feder für den Kontaktknopf.

schneiden wir einen spiralförmigen Streifen (Abb. 94), den wir so mit dem breiteren Ende neben *b* anschrauben, daß das etwas in die Höhe gebogene schmälere genau über *b* zu stehen kommt. Die Rapsel stellen wir uns durch übereinanderleimen von 3 bis 4 Ringen aus Zigarrenkistenholz her. (Siehe Abb. 93.)

Zur Erklärung der Schaltungsweise der elektrischen Hausklingel stellte Rudi eine Tafel auf, deren Zeichnung Abb. 95 zeigt.

Der Morsesche Telegraph.

Der Morsesche Telegraphenapparat ist nicht so schwer herzustellen, wie es vielleicht man-

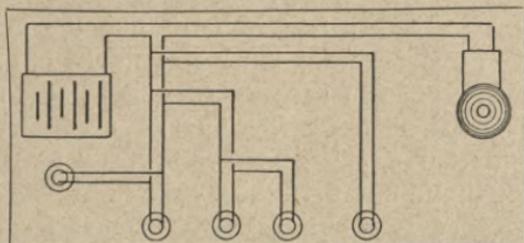


Abb. 95. Schaltungschema einer Klingelanlage.

chem scheinen möchte. Die ganze Konstruktion ist aus den beiden Abb. 96 (Seitenansicht) und 97 (Grundriß) zu er-

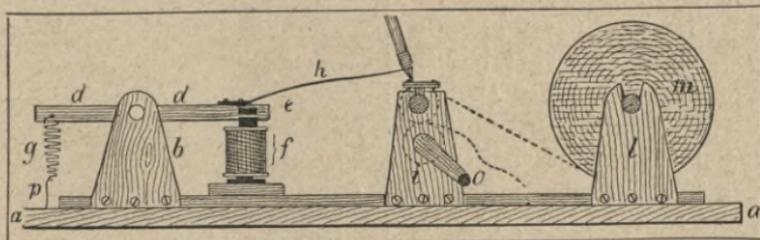


Abb. 96. Der Morseschreiber (Seitenansicht).

kennen. *a* ist das Grundbrett; *b*₁ und *b*₂ sind die Achsenträger für die Achse (*c*) des gleicharmigen Hebels *d*, der aus einem Holzstäbchen mit quadratischem Querschnitte herzustellen ist. Für *c* nehmen wir ein Messing- oder Eisenstäbchen, eventuell einen starken Nagel. Die Achse soll im Hebel fest sitzen, sich in ihren Lagern in *b*₁ und *b*₂ aber leicht drehen lassen. In das eine Ende des Hebels wird

der Anker, der mindestens 4 mm dick und 1 cm breit sein soll, eingelassen; das andere Ende wird mit einer Drahtöse versehen, in welche die Spiralfeder *g* eingehängt

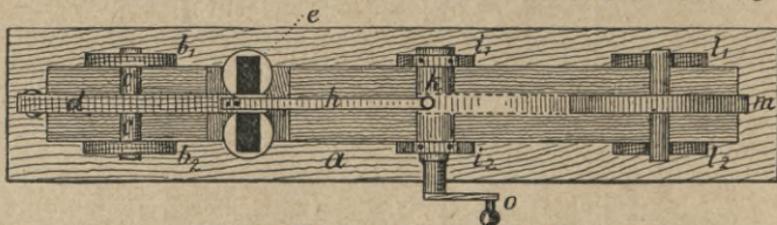


Abb. 97. Der Morseschreiber (Ansicht).

werden kann; letztere wird aus 0,6 bis 0,7 mm starkem Messingfederdraht durch Aufwickeln auf ein bleistiftstarkes Metallstäbchen hergestellt. Die Spannung regulieren wir erst später durch Verlängern oder Verkürzen des Aufhängehaken *p*. Statt der Spirale kann auch einfach eine Gummischmure verwendet werden.

Der zweispulige Elektromagnet *f* wird ebenso hergestellt wie der der elektrischen Klingel; er muß aber etwas größer und stärker sein. Auf dem Hebel *d* wird an dem Ankerende ein etwa 1 cm breiter Blechstreifen aus gehämmertem, 0,5 bis 0,7 mm starkem Messingblech angebracht. Dieser Streifen soll nahezu so lang sein wie der Hebel selbst. Das vorderste Ende (1 cm) wird rechtwinklig aufgebogen und ein kurzes Stückchen Messingrohr mit etwa 5 mm lichter Weite, in das wir später einen weichen Bleistift stecken, wird dasselbst festgelötet. In den Lagerträgern *i*₁ und *i*₂ sind, wie dies in Abb. 98 zu sehen ist, zwei gedrehte Holzwalzen (*k*₁ und *k*₂) eingelassen, die 1,5 bis 2 cm dick sind. Der eine Lagerfortsatz der Walze *k*₂ muß etwas länger sein, damit wir eine Kurbel an ihm befestigen können.

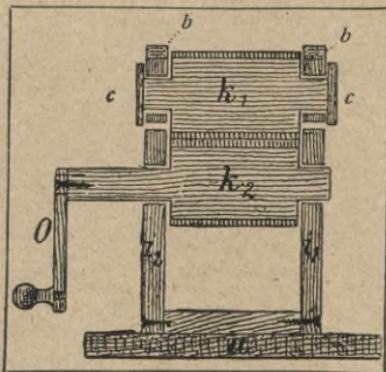


Abb. 98. Rollen zur Bewegung des Papierstreifens (Schnitt).

Da beide Walzen stets fest aufeinanderliegen müssen, so sind die Lager von k_1 so einzurichten, daß sie vermittels zweier Schrauben niedergedrückt werden können, wie dies aus Abb. 99 zu ersehen ist: Aus dem oberen Ende des Lagerträgers i wird ein rechteckiges Stück (a), das die Bohrung für die Rollenachse enthält, herausgesägt und der dadurch entstandene rechteckige Einschnitt noch etwas vertieft. Da-

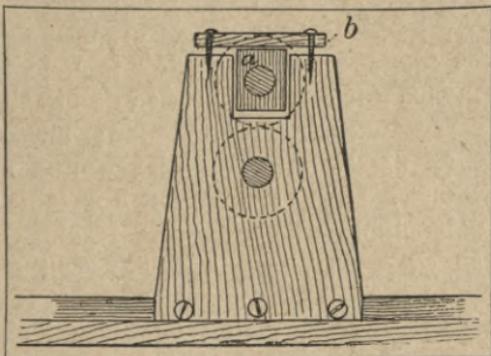


Abb. 99. Rollen zur Bewegung des Papierstreifens (Seitenansicht).

mit a nicht nach außen herausfallen kann, werden die Enden der Rollenachsen, nachdem die Stückchen a darübergeschoben sind, mit kleinen Scheibchen (c, Abb. 98) beklebt. Durch Aufschrauben des Leistchens b (Abb. 98 und 99) wird a niedergedrückt, und dadurch werden die beiden Rollen, die wir noch je mit einem Stückchen Gummischlauch überziehen, aufeinandergepreßt. Die Lagerträger i sind so auf a anzuschrauben, daß k_1 gerade unter das Messingröhrchen, das wir am Ende von h angelötet haben, zu liegen kommt. Die beiden Träger l_1, l_2 haben oben offene Einschnitte, so daß wir den runden Holzstab, auf den wir die Papierstreifenrolle aufschieben, bequem einsetzen können. Nun führen wir noch die beiden Drahtenden des Elektromagneten zu zwei Klemmen an einem Ende des Brettchens a.

Wer etwa eine alte Wanduhr, die ihren Zweck als solche nicht mehr erfüllt, besitzt, kann diese zum maschinellen Antrieb für die Rollen k benutzen. Alles für diesen Zweck Unnötige wird von der Uhr entfernt; also Zifferblatt, Zeiger, auch die Zahnräderübersetzung 1 : 12 für den Stundenzeiger; ferner wird Pendel, Anker und Ankerrädchen herausgenommen. Das Rädchen, das zum Antrieb für das Ankerrädchen gedient hat, wird durch Anlöten zweier Blechplättchen mit Windflügeln versehen. Die Hauptachse, auf

der der Minutenzeiger faß, wird mit der Rolle k_2 verbunden. Die Uhr selbst wird auch auf dem Grundbrette befestigt. In dem Werke bringen wir einen Hebel so verstellbar an, daß er das Flügelrädchen entweder freigibt oder festhält. Sollte nun die Geschwindigkeit, die die Uhr den Rollen erteilt, zu groß sein, so können wir, falls der Antrieb mit einem Gewicht erfolgt, dieses verkleinern. Bei Federantrieb geht das nicht; wir müssen deshalb das Ankerrädchen wieder einsetzen und an dieses die Flügel anlöten; durch Verbiegen der letzteren können wir die Geschwindigkeit noch weiter regeln. War die Geschwindigkeit zu gering, so müssen wir eben noch ein weiteres Überlegungsradchen herausnehmen.

Wir brauchen nun noch den Taster, der in Abb. 100 dargestellt ist. Er besteht aus einem Grundbrett und einem 1 cm breiten und etwa 7 cm langen Streifen aus federn-

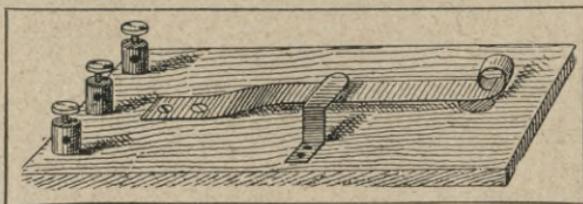


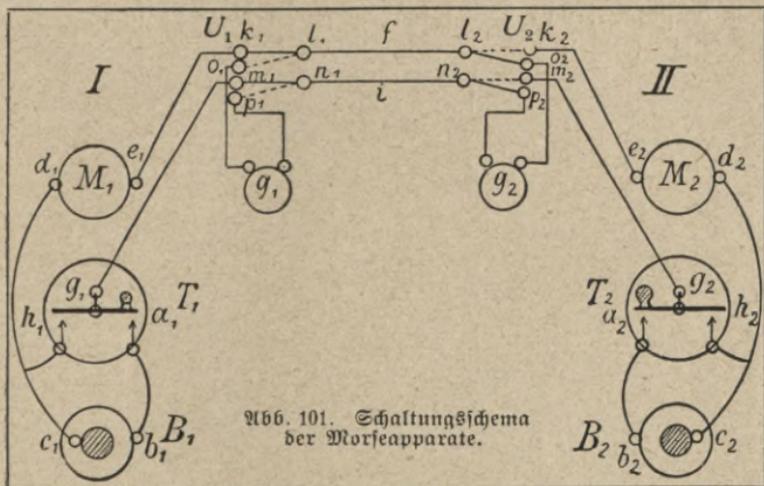
Abb. 100. Morsetaster.

dem Messingblech, ist an einem Ende auf dem Grundbrett aufgeschraubt und am anderen, wie die

Abbildung zeigt, umgebogen. Unter dem umgebogenen Ende ist ein Nagel mit einem Messingkopf angebracht. Dieser ist mit der einen, die Feder mit der zweiten Klemme in leitender Verbindung; mit der dritten Klemme ist ein Blechstreifen leitend verbunden, der über die Feder reicht und diese, wenn sie nicht niedergedrückt wird, berührt. Es ist gut, wenn die Verbindungsdrähte nicht nur eingeklemmt, sondern festgelötet werden.

Um den telegraphischen Verkehr zwischen zwei Stationen zu erläutern, hatte Rudi sich zwei Apparate gemacht, die er an den beiden Tischenden aufstellte und mit Batterie und Klingel so schaltete, wie die Abb. 101 zeigt. Hier sind die Apparate der beiden Stationen (I und II) folgendermaßen bezeichnet: M = Morseapparat, T = Taster, B =

Batterie (3 bis 4 Leclanché-Elemente), g = Glocke und U = Umschalter. Dieser ist ähnlich konstruiert wie der Kommutator (siehe Seite 101); er erlaubt mit einem Handgriff entweder die Glocke, oder den Morseapparat einzuschalten.



Angenommen, man will von Station I nach Station II telegraphieren, so hat man folgendes zu tun: Der Umschalter ist so zu stellen, daß der Morseapparat statt der Glocke eingeschaltet ist; dann wird der Taster niedergedrückt, wodurch die Glocke bei II ertönt. Dabei macht der Strom folgenden Weg: in T_1 wird der Kontakt a_1 geschlossen; von da geht der Strom nach $B_1, b_1, c_1, d_1, M_1, e_1, k_1, l_1, f, l_2$, und da hier U_2 noch auf die Glocke geschaltet ist, nach o_2 , durch g_2 hindurch nach $p_2, n_2, i, n_1, m_1, g_1$ und a_1 . Durch das Glockenzeichen aufmerksam gemacht, wird nun auf II der Umschalter von g_2 auf den Morseapparat umgeschaltet und zum Zeichen, daß dies geschehen, der Taster ein paarmal niedergedrückt; dies bemerkt man in I an dem Aufschlagen des Ankers auf den Elektromagneten. In II wird nun der Papierstreifen in Bewegung gesetzt und in I der Taster. Drücken wir diesen längere Zeit nieder, etwa 1 Sekunde, so wird in II ebensolang der Anker angezogen und dadurch der Blei-

stift auf das über die Rollen gleitende Papier gedrückt, wodurch ein Strich aufgezeichnet wird. Drückt man dagegen den Taster nur ganz kurz nieder, so wird dadurch nur ein Punkt entstehen. Aus verschiedenen Zusammenstellungen von Punkten und Strichen hat man ein Alphabet festgesetzt, das hier wiedergegeben werden soll.

Die Zeichen für die Buchstaben sind:

a . —	j . — — —	s . . .
ä	k — . —	t —
b — . . .	l . — . .	u . . —
c —	m — —	ü . . — —
d — . .	n — .	v . . . —
e .	o — — —	w . — —
f	ö — — — .	x — . . .
g — . .	p . — — .	y — . — —
h	q — — . —	z —
i . .	r . . .	ch — — — —

Die Zeichen für die Zahlen sind:

1 . — — — —	4 —	8 — — — . .
2 . . — — —	5	9 — — — — .
3 . . . — —	6 —	0 — — — — —
	7 — — . . .	

Weitere Zeichen sind noch für:

Punkt	Komma . —	Fragezeichen . . — . . .
	Ausrufzeichen —	

Nachdem Rudi seiner Schwester auf diese Weise ein Telegramm über den Tisch hinüber gesandt und Rätthe es übersetzt hatte, erwähnte er noch, daß man in der Praxis die eine der beiden Leitungen nicht legt, sondern den Strom durch die Erde leitet. Auch erklärte er, daß man mit dieser einfachen Einrichtung nicht auf sehr große Entfernungen telegraphieren könnte, da in dem großen Widerstand des langen Drahtes der Strom so sehr geschwächt würde, daß er nicht mehr im stande wäre, einen Morseapparat in Tätigkeit zu setzen. Man bediene sich deshalb der sogenannten Relais. Rudi beschrieb nur die Einrichtung

und Schaltung des Relais, da er sich keines hergestellt hatte. Er mußte es jedoch später für die drahtlose Telegraphie anfertigen, und es sei deshalb schon hier beschrieben.

Das Relais.

Abb. 102 zeigt das Relais im Grundriß. Im wesentlichen ist es konstruiert wie die elektrische Glocke; nur fehlt die Glockenschale, und die Kontaktspitze befindet sich auf der Seite des Ankers, auf der auch der Elektromagnet ist. Der Anker steht höchstens 0,5 mm von den Magnetpolen entfernt, und die Feder darf nicht sehr stark sein; ihre Spannung kann mit der Stellschraube e reguliert werden. Man darf nicht vergessen, die Polenden mit Papier zu bekleben. Die Kontaktspitze ist so zu stellen, daß sie etwa 0,5 mm von der ihr gegenüberliegenden Verlängerung der Feder absteht. Für normale Ansprüche genügt hier die gleiche Bewickelung, wie bei der Klingel. Nehmen wir mehr und etwas dünneren Draht, so wird das Instrument empfindlicher.

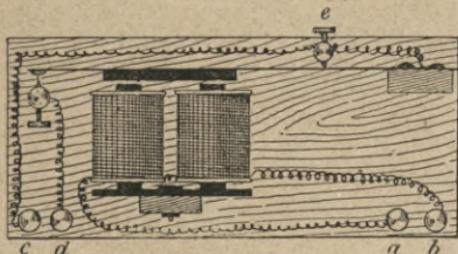


Abb. 102. Relais im Grundriß.

Zum Gebrauche werden die Fernleitungen an die beiden Klemmen a und b angeschlossen; die Klemme c wird mit der einen Klemme des Morseapparates, d mit dem einen Pol der Batterie und die andere Klemme des Apparats mit dem anderen Pole der Batterie verbunden. Kommt durch die Ferndrähte von der anderen Station ein Strom, so wird er, auch wenn er sehr schwach ist, den Anker des empfindlichen Relais anziehen; dadurch wird aber der lokale, durch den Morseapparat gehende Batteriestrom geschlossen und der Schreibstift auf den Papierstreifen niedergedrückt. Hört der Fernstrom auf, so geht der Anker des Relais zurück und unterbricht damit auch den lokalen Strom u. s. w.

Der Elektromotor.

Eine weitere, in der Praxis ungeheuer wichtig gewordene elektrische Maschine ist der Elektromotor.

Alle die Konstruktionen, nach denen man sich gute Elektro-

motoren selbst anfertigen kann, hier zu beschreiben, würde zu weit führen. Es seien deshalb nur die Haupttypen erwähnt.

a) Mit zweipoligem Hufeisenanker. Der einfachste Motor besteht aus zwei einander mit den Polen gegenüberstehenden Elektromagneten, von denen der eine

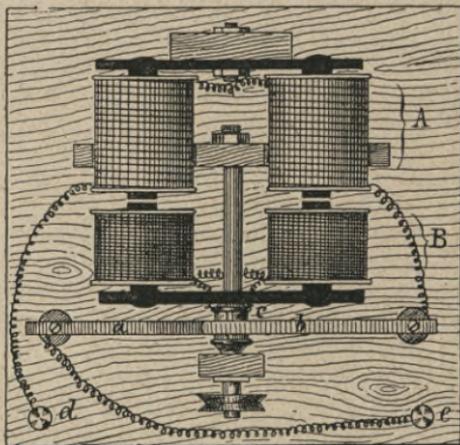


Abb. 103. Elektromotor im Grundriß.

fest (Feldmagnet), der andere drehbar ist (Anker). Die Anordnung geht aus Abb. 103 hervor. A ist der feste, B der bewegliche Magnet; beide sind im wesentlichen ebenso hergestellt wie die der elektrischen Klingel, nur müssen hier die beiden Magnetschenkel weiter auseinanderstehen, da zwischen ihnen die Achse und deren Lagerträger

Platz finden müssen. Das Verbindungsstück des drehbaren Magneten ist in der Mitte mit einer Bohrung versehen zur Aufnahme der Achse, die angelötet werden kann. Die Lager werden so hergestellt, wie es schon früher (siehe Seite 22 u. f.) beschrieben wurde, und müssen auch hier gleich eingölt werden. Bei c wird die Achse mit einer Feile etwas aufgerauht und auf eine Strecke von 1 bis 2 cm in 2 oder 3 Lagen mit Bindfaden umwunden. Dabei ist darauf zu achten, daß alle Windungen regelmäßig nebeneinander liegen. Der dadurch entstandene Wulst ist reichlich mit Schellacklösung (siehe Seite 20) zu bestreichen. Er muß so dick sein, daß wir gerade noch ein etwa 1,5 cm langes Stückchen Messingrohr darüberschieben können. Letzteres wird in zwei Halbzylinder zersägt und so auf dem Wulste befestigt, daß die beiden Hälften einander nicht berühren. Ihre Befestigung erfolgt dadurch, daß wir sie nahe den äußeren Rändern mehrmals mit einem starken Seidensaden umwinden (siehe auch Seite 143, Abb. 121).

Diesen Teil der Maschine nennt man den Kollektor, obgleich die Bezeichnung hier nicht ganz richtig ist; besser wäre es, diesen Teil Kommutator zu nennen; denn er bewirkt, daß die Stromrichtung im Anker im geeigneten Moment geändert wird. Der Ausdruck Kollektor ist von den Ring- und Trommelankermaschinen übernommen. — Die Enden der Ankerbewicklung sind an den beiden Halbröhren, deren Stellung zu den Magnetpolen aus Abb. 104 zu erkennen ist, anzulöten. Der Strom wird dem Anker durch zwei auf dem Kollektor schleifende Federn aus Kupferblech (a und b) zugeführt. Wie die einzelnen Drähte zu verbinden sind, geht aus Abb. 103 hervor. Der Strom tritt bei d ein, geht durch die beiden Spulen des Feldmagneten zur oberen Schleiffeder (b), durch die Ankerwicklung zur unteren Schleiffeder (a) und durch e zur Stromquelle zurück.

Betrachten wir nun die drei schematischen Bilder der Abb. 104. In A geht der Strom so durch den Draht,

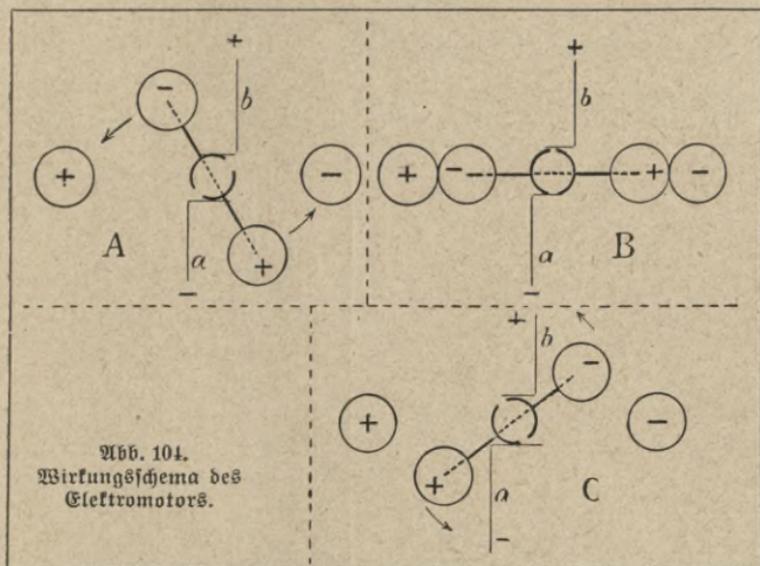


Abb. 104.
Wirkungsschema des
Elektromotors.

daß die Pole die vermerkten Vorzeichen erhalten. Die Folge davon ist, daß die Ankerpole von denen des Feldmagneten angezogen werden, bis sie die in B ange deutete

Stellung erreicht haben. Hier wird nun die Stromrichtung in der Ankerwicklung gewechselt, da der zur unteren Schleifeder eintretende Strom jetzt durch die andere Kollektorhälfte in die Ankerwindungen eintritt; dadurch werden die einander gegenüberstehenden Pole gleichnamig magnetisch und stoßen einander ab, wodurch die Stellung C erreicht wird u. s. w.

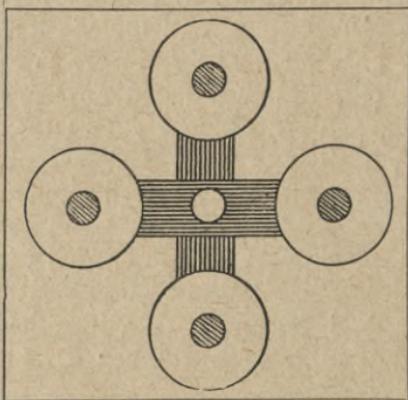


Abb. 105. Vierpoliger Hufeisenanker.

binden, wie das Abb. 106 zeigt. Hier sind die beiden Schleifedern, das heißt die Stellen, an denen der Strom ein- und austritt, mit den

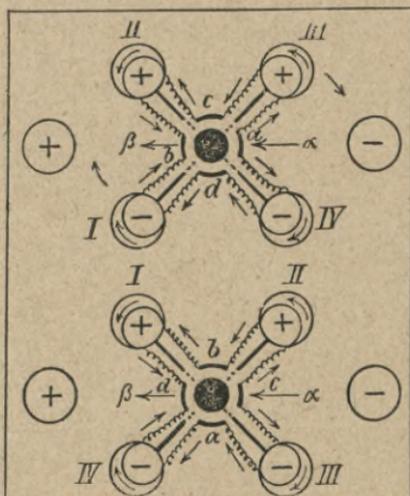


Abb. 106. Verlauf des Stromes beim vierpoligen Anker.

b) Mit vierpoligem Hufeisenanker. Wollen wir die Wirkung dieses Motors verstärken, so können wir statt eines zweipoligen einen vierpoligen Anker verwenden, wie ihn Abb. 105 zeigt. Dementsprechend ist auch der Kollektor vierteilig zu machen, und es sind die Drahtenden der einzelnen Spulen so mit den vier Kollektorlamellen zu verbinden, wie das Abb. 106 zeigt. Hier sind die beiden Schleifedern, das heißt die Stellen, an denen der Strom ein- und austritt, mit den Pfeilen α und β bezeichnet. Wie dann der Strom die Magnetpole umkreist, ist durch kleine Pfeile angedeutet. Wir können uns neben der Ampèreschen Schwimmerregel zur Bestimmung der Magnetpole noch eine andere, etwas einfachere Regel merken. Sehen wir auf die Polfläche eines Elektromagneten und lassen den Strom gegen die Richtung der Uhrzeigerbewegung, also links herum kreisen, so

wird der Pol ein Nordpol; geht dagegen der Strom in gleicher Drehungsrichtung wie der Uhrzeiger, also rechts herum, so wird der Pol ein Südpol.

Wir können noch weiter gehen und auch den Feldmagnet vierpolig machen. Dann müssen aber die einander gegenüberstehenden Pole des Ankers jeweils gleichnamig magnetisch sein und ebenso die Pole des Feldmagneten. Die Stromumkehr im Anker muß immer dann erfolgen, wenn Anker und Feldmagnetpole einander gegenüberstehen.

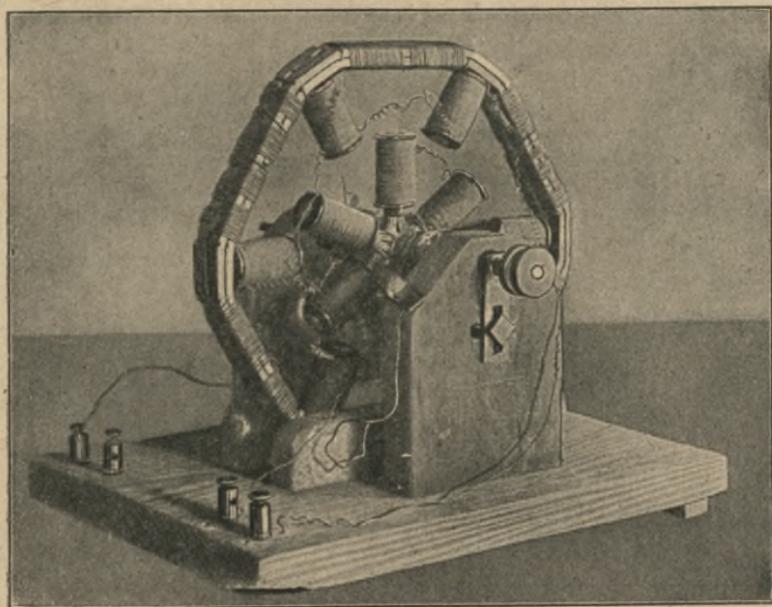


Abb. 107. Sechspoliger Elektromotor.

c) Mit sternförmigem sechspoligem Anker. Abb. 107 zeigt eine sechspolige Maschine, bei der aber Feldmagnete und Anker etwas anders angeordnet sind als bei der oben beschriebenen Maschine. Diese nach einer photographischen Aufnahme wiedergegebene Maschine kann sich jeder mit sehr geringen Hilfsmitteln anfertigen. Der Anker besteht aus einem sechsteiligen Stern, der aus geglähtem Eisendraht zusammengesetzt ist. Jeder Teil dieses Sternes besteht aus einem Drahtbündel, das fest mit

dünnem Bindfaden zu umwinden ist. Durch die Mitte geht eine als Achse dienende Messingstange, die mit den Drähten verlötet ist. Damit die Polenden des Ankers alle gleichweit von der Mitte entfernt seien — und das ist sehr wichtig —, wurden die einzelnen Drähte zuerst etwas länger genommen und die umwundenen Bündel dann an der richtigen Stelle abgesägt; denn seilen lassen sich die Enden solcher Drahtbündel nicht gut. Die einzelnen Schenkel des Feldmagneten sind gleichfalls aus Drahtstücken hergestellt, die in ein aus vier Bandeisenstreifen hergestelltes und mit Draht umwundenes Sechseck eingeklemmt sind. In die vier Eisenbänder wurden an den sechs Stellen der Magnetschenkel halbrunde Ausschnitte eingefeilt, in welche die runden Drahtbündel eingeklemmt werden konnten, ohne ihre Form zu verlieren. Die Maschine ist für zweiphasigen Wechselstrom von 120 Volt gebaut, kann aber auch für Gleichstrom verwendet werden und dient zum Antrieb für eine Influenzelektrifiziermaschine von 50 cm Scheibendurchmesser. Der Abstand zweier Sechseckseiten beträgt 20 cm. Werden die Magnetenden noch mit Polschuhen versehen (siehe unten), so wird die Wirkung erhöht.

d) Mit Doppel-T-Anker. Die Motoren mit dem Doppel-T-Anker sind zwar in ihrer Konstruktion sehr einfach, haben aber den Nachteil, daß wir uns den Anker, wie den Feldmagnet nicht selbst herstellen können. Wir kommen auf diese Ankerform bei der magnetoelektrischen Maschine (Seite 138 u. f.) nochmals zurück und gehen darum hier nicht näher darauf ein. Bei all den hier beschriebenen Maschinen sind die Lager für die Achsen nach der auf Seite 22 u. f. angegebenen Weise anzufertigen und sofort zu ölen.

e) Mit Ringanker. Rudi erklärte in diesem Vortrag auch den Grammeschen Ring ziemlich ausführlich. Er hatte sich einen Ringankermotor gebaut, der ihn allerdings sehr viel Zeit und Arbeit kostete, wobei er sich aber durch manchen Mißerfolg nicht abschrecken ließ.

Es möge hier die Herstellung einer solchen Ringmaschine beschrieben werden; doch es sei vorher erwähnt, daß nur sauberste und sorgfältigste Arbeit einen guten Erfolg verbürgt.

Zuerst wollen wir jedoch das Wesen des Grammeschen

Ringes kennen lernen, das Rudi mit einem einfachen Experiment seinen Hörern klar machte. Er umwickelte zwei halbkreisförmig gebogene kleine Eisenstangen nach der in Abb. 108 angegebenen Weise in wenig Windungen mit je einem isolierten Kupferdrahte, durch den er dann in einer bestimmten Richtung den Strom schickte und die dabei entstehenden Magnetpole durch die Ablenkung der Magnetnadel erkennen ließ. Als er nun die beiden Halbkreise so mit den gleichnamigen Polen zusammenhielt, daß ein geschlossener Kreis entstand, wirkte der Ring wie ein einziger, zweipoliger Magnet.

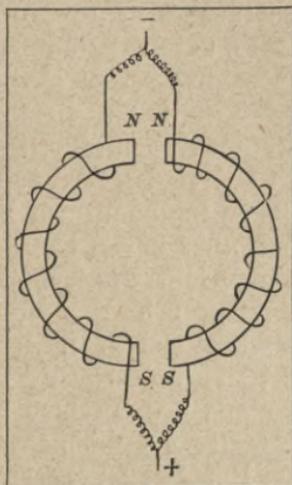


Abb. 108. Entstehung der Pole im Grammeschen Ring.

So einfach die Herstellung dieses Modells des Grammeschen Ringes ist, soviel Mühe und Sorgfalt erfordert der richtige Ringanker.

Der Kern des Ankers, der die Form eines flachen Ringes erhält, wird aus 0,5 mm starkem gut durchgeglühtem Eisen draht hergestellt, indem wir den Draht auf eine entsprechende Form aufwinden. Den Schnitt durch diese Form zeigt Abb. 109. Ein rundes Brettchen, dessen Durchmesser gleich dem der Öffnung des Ringes ist, wird beiderseits mit zwei größeren Brettchen begrenzt, so daß eine Rinne entsteht, in die der Draht hineingewickelt wird. (Die Größenverhältnisse der einzelnen Teile kann man der Abb. 114 entnehmen.) Zwischen die einzelnen Lagen wird reichlich eine dicke Schellacklösung gegossen, die nach dem Trocknen den Draht zusammenhält, so daß die runden Brettchen entfernt werden können.



Abb. 109. Form f. d. Grammeschen Ring.

Der Ring wird nun mit zwölf kleinen Drahtspulen umgeben, wie wir aus Abb. 110 ersehen können. Um diese Spulen möglichst regelmäßig anbringen zu können, bezeichnen wir die betreffenden Stellen durch Papierstreif-

chen, die wir mit Schellack aufkleben. Jede Spule erhält drei bis vier Lagen eines gut isolierten Kupferdrahtes. Über die Drahtstärken wird weiter unten (Seite 134) noch ausführlich gesprochen werden. Kommt mit Baumwolle umspinnener Draht zur Verwendung, so ist dieser während des Aufwickelns mit Schellacklösung zu bestreichen. Bei doppelt mit Seide umspinnendem Draht ist das nicht nötig, es trägt jedoch zur größeren Festigkeit der Spulen bei. Die Drahtenden werden von ihrer Isolierung befreit, und jeweils wird der Anfang des Drahtes der einen Spule mit dem Ende des Drahtes der nächsten zusammengedreht.

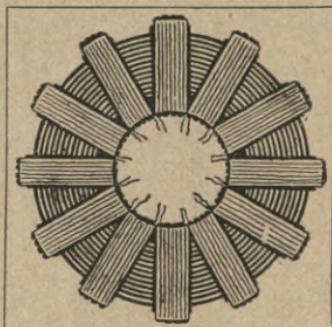


Abb. 110. Der mit 12 Spulen bewickelte Grammesche Ring.

Um den Anker bequem auf eine Achse montieren zu können, lassen wir uns einen Holzkern drehen, den Abb. 111 im Durchschnitt zeigt. Der dickere Teil soll ge-

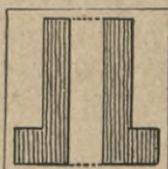


Abb. 111. Holz-kern für den Grammeschen Ring (Schnitt).

rade in den bewickelten Ring hineinpassen und der dünnere einen Durchmesser von mindestens 1,5 cm haben. Abb. 112 zeigt diesen Kern nochmals im Schnitt mit dem darüberge-

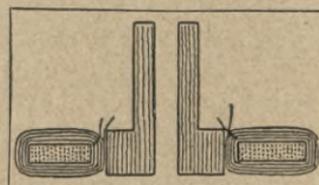


Abb. 112. Schnitt durch Holz-kern und Ring.

schobenen Ring, der an seiner Stelle genau senkrecht zu der Richtung der Längsbohrung fest sitzen muß. Um den Ring möglichst fest mit dem Holze zu verbinden, bestreichen wir beide Teile vor dem Zusammensetzen mit Schellackkitt (siehe Seite 5).

Der dünnere Teil des Holzkerns wird in zwölf gleiche Teile eingeteilt; auf den Teilstrichen sollen Kupferblechstreifen befestigt werden, die, wie Abb. 113 zeigt, alle an ihrem hinteren Ende umgebogen sind und an dem dickeren Teil des Kerns anliegen. Die Streifen (Kollektorlamellen) sollen so breit sein, daß die Zwischen-

räume zwischen den einzelnen nur etwa 1 mm betragen. Um die Lamellen sicher und regelmäßig befestigen zu können, verfahren wir folgendermaßen: Wir bestreichen den Kern mit sehr dicker Schellacklösung und drücken die heißgemachten Blechstreifen auf, wenn der Schellack fast getrocknet ist. Die Streifen müssen sofort genau an ihre richtige Stelle gebracht werden, da sie nachträglich nicht mehr verschoben werden können. Um zu verhindern, daß sie beim Gange der Maschine durch die Zentrifugalkraft abgeschleudert werden, müssen wir sie nahe dem vorderen und hinteren Ende mit in Schellack getränktem Bindsaden umwinden (siehe auch Abb. 114). Nun werden die an dem dickeren Teil des Holz-

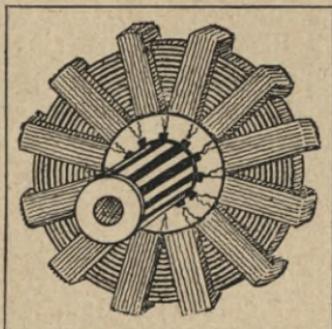


Abb. 113. Ringanker mit Kollektor.

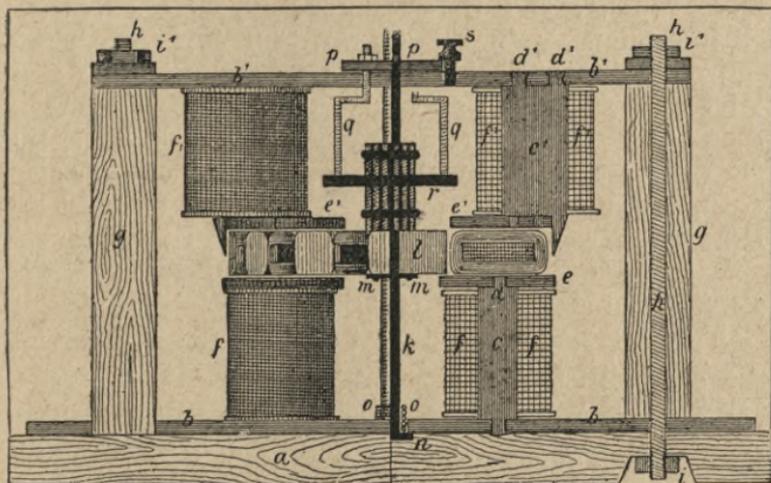


Abb. 114. Fertiger Motor (links Ansicht, rechts Schnitt).

fernes anliegenden Enden der Kupferstreifen gereinigt und mit den zusammengedrehten Drahtenden der Spulen verlötet.

Die übrigen Teile der Maschine sind alle aus Abb. 114 und 115 zu erkennen. Die linke Hälfte der Abb. 114

ist als Ansicht von vorne, die rechte als Horizontalschnitt gezeichnet; nur der Kollektor und das Schleifedergestell sind nicht geteilt, sondern ganz als Ansicht gezeichnet.

Zur Erzeugung eines kräftigen magnetischen Feldes, in welchem sich der Anker drehen soll, dienen zwei starke Elektromagnete. Für geringere Ansprüche genügt auch einer; es ist dann nur der untere in Abb. 114 auszuführen.

Der untere Magnet wird ähnlich hergestellt wie der, den wir auf Seite 113 kennen gelernt haben. In ein ziemlich langes Stück Band Eisen *b* (Abb. 114) wird in die Mitte ein Loch gebohrt, das später das Lager für die Achse aufnehmen soll. In einem Abstand von der Mitte, der sich aus der Figur ergibt, sind zwei starke Stücke Rundeisen *c* einzunieten, die die Magnetschenkel bilden. Die Nietfortsätze (*d*) sind durch Befestigen oder auf der Drehbank herzustellen. Wer im Besitze eines Gewindeschneideapparates ist, tut am besten, alle in der Figur als vernietet gezeichneten Teile zu verschrauben. Um den Ring auf einer möglichst großen Fläche zu umfassen, werden die Pole mit sogenannten Polschuhen (*e*) versehen. Die Form eines Polschuhes ist aus Abb. 116, sein Größenverhältnis zum Anker an Abb. 115 (*e*¹) zu erkennen (*e*¹ sind zwar die Polschuhe des oberen Magneten; diese aber haben genau dieselbe Form wie die des unteren). Bevor wir die Polschuhe annieten, müssen die fertig gewickelten Drahtspulen (*f*) über die Kerne geschoben werden. (Über Drahtstärken siehe unten.)

Die beiden Schenkel des oberen Magneten sind etwas anders geformt. Damit die Gestelle der Schleifedern Platz und Spielraum haben, sitzen die Kerne, die hier flach sind, weiter außen. *b*¹ ist ein Stück Band Eisen von derselben Stärke wie *b*. Es enthält in der Mitte ebenfalls eine Bohrung zur Aufnahme des Lagers, ferner zwei Löcher für die beiden Nietzapfen (*d*¹) des flachen Kernes *c*¹; dieser erhält auf seiner Außenseite einen kurzen Fortsatz (in der Figur etwas zu lang gezeichnet), der nach unten zeigt und dem Anker, wie dies aus der Figur zu ersehen ist, möglichst nahe steht. Die übrigen Löcher in *b*¹ werden jetzt auch gleich eingebohrt, doch soll erst später ihre Lage und Weite mitgeteilt werden. Diese Teile können wir auch in

Abb. 115 erkennen. Die einzelnen Stücke sind da mit denselben Buchstaben bezeichnet wie in Abb. 114. Die linke

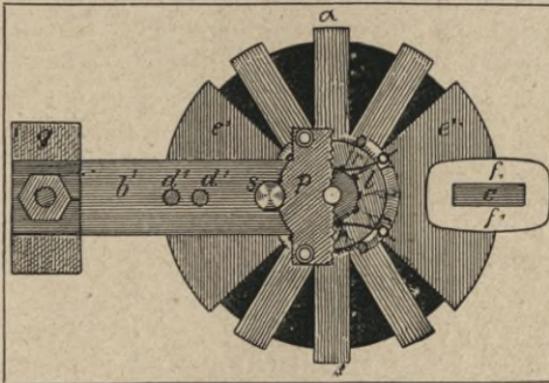


Abb. 115. Motor von oben gesehen (rechts Schnitt).

Hälfte der Abbildung ist als von oben gesehen gezeichnet; die rechte ist so gedacht, als wäre die Maschine in Höhe der Kollektormitte durchgeschnitten und ebenfalls von oben gesehen. Ent-

sprechend dem flachen Querschnitt der Kerne c^1 sind auch die Drahtspulen f^1 flach, genau über den Kern passend herzustellen. Die Polschuhe e^1 werden wie bei dem unteren Magneten erst dann aufgenietet, wenn die bewickelten Spulen über die Kerne geschoben sind. Da c^1 weiter von der Mitte entfernt ist als c , so muß e^1 so an c^1 angenietet werden, daß die Abstände von e , e und e^1 , e^1 gleich sind; denn die Polschuhe sollen nachher beim Montieren der Maschine genau übereinander liegen.

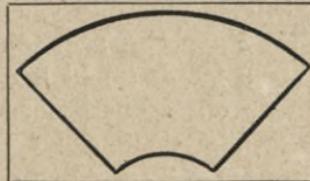


Abb. 116. Gestalt eines Polschuhs.

Jetzt richten wir uns ein starkes Grundbrett (a) aus hartem Holze her, ferner zwei starke rechteckige Holzsäulen (g), die ihrer ganzen Länge nach zu durchbohren sind. Die Höhe der beiden Säulen muß folgender Summe genau gleich sein: der Entfernung der unteren Seite von b bis zur oberen Fläche von e plus 1 mm plus der Dicke des bewickelten Ankers plus 1 mm plus der Entfernung der unteren Fläche von e^1 bis zur unteren Seite von b^1 . Durch die Längsbohrung von g und durch entsprechend einzubohrende Löcher in b, b^1 und a wird eine an ihren Enden

mit Gewinden versehene Messingstange (h) gesteckt, und durch Aufschrauben der Muttern i und i¹ werden die einzelnen Teile fest zusammen gezogen. Es ist vorteilhaft, für die Mutter i in dem Grundbrett eine Vertiefung einzubohren. Auf der Unterseite von g ist ein Einschnitt einzufügen, in den der Bandeisenstreifen b genau hineinpaßt, so daß die Säule nicht auf b sondern auf a aufsteht; natürlich darf der Einschnitt nur so groß sein, daß auch b noch genügend fest gehalten wird.

Für die Achse (k) des Ankers wählen wir eine je nach der Größe der Maschine 5 bis 10 mm starke Messingstange. Nach ihrer Dicke muß sich die Weite der Bohrung durch den Holzkern (l) des Ankers richten. Letzterer wird dadurch an der Achse befestigt, daß wir ihn an einem an dieser angelöteten Messingblechscheibchen (m) anschrauben. Das untere Ende der Achse ist ein wenig abzurunden und zuerst mit gröberer, dann mit feinerer und schließlich mit allerfeinster Schmirgelleinwand abzureiben. Unter der mittleren Bohrung von b ist ein starkes Glasplättchen (n) in a einzulassen; es dient der Achse als Auflager. Die beiden Lager (o) in b wie in b¹ werden auf die bekannte Weise mit Kupferdraht hergestellt und in den betreffenden Bohrungen eingelötet (siehe Seite 22 u. f.). Die Lager sind sofort einzuölen.

Sind die einzelnen Teile in der angegebenen Weise montiert, so muß sich der Anker ohne zu streifen zwischen den Polschuhen, von denen er höchstens 1 mm Abstand haben darf, drehen lassen.

Es wären nun noch die Schleiffedern anzubringen. Sie sollen so den Kollektor berühren, daß die Magnetpole an den Punkten α und β (Abb. 115) entstehen. Wie aus dem Schema Abb. 108 erhellt, entstehen die Pole da, wo der Strom ein- und austritt. Die Verbindungslinie der Berührungspunkte müßte also senkrecht stehen zu der Verbindungslinie der Mitten der Magnetkerne. In Wirklichkeit aber ist die günstige Lage der Berührungspunkte etwas im Sinne der Ankerdrehung verschoben. Da wir diese Lage nur durch Probieren herausfinden können, müssen wir die Schleiffedern an einem drehbaren Gestelle anbringen.

Die günstige Stellung können wir daran erkennen, daß beim Gang der Maschine die auf dem Kollektor auftretenden Funken kleiner sind als bei jeder anderen Lage. Eine Platte aus dünnem Holz (Ahorn) oder besser aus Vulkanfiber oder Hartgummi, deren Form aus Abb. 115 p — p zeigt nur die eine Hälfte — hervorgeht, ist in der Mitte durchbohrt und wird so auf b aufgelegt, daß die Achse durch diese Bohrung hindurchgeht. In jeder Ecke dieser Platte wird ein in Abb. 114 mit q bezeichneter 2 bis 3 mm starker Kupferdraht befestigt. An je zweien auf der gleichen Seite sich befindenden Drähten wird ein federnder Kupferstreifen r angelötet. r ist so zu biegen und die zweimal rechtwinkelig umgebogenen Drähte q sind so zu stellen, daß die Schleiffeder unter gelindem Druck auf dem Kollektor aufliegt. Hart neben p ist ein Loch in b¹ einzubohren und mit einem Gewinde zu versehen, in das die Metallschraube s (mit breitem Kopf) hineinpaßt. Indem wir p während des Ganges der Maschine um die Achse drehen, können wir, wie bereits erwähnt, die günstigste Berührungsstelle für die Schleiffedern ausfindig machen und sie in dieser Lage durch Anziehen der Schraube s fixieren.

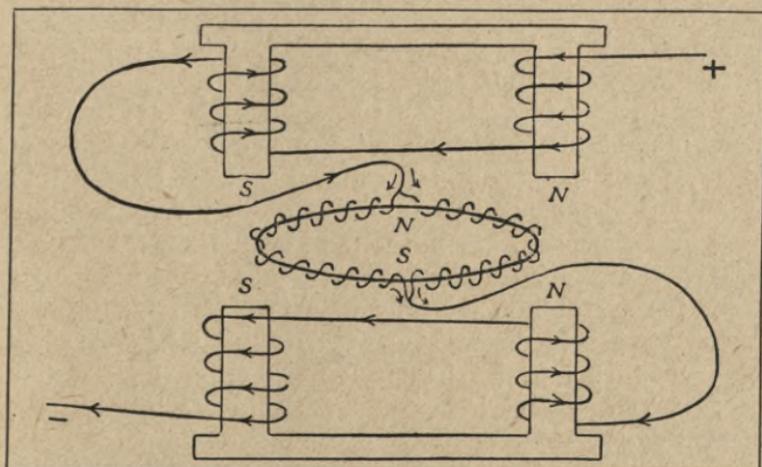


Abb. 117. Bewickelungschema.

Wie die Spulen zu bewickeln und untereinander zu verbinden sind, geht aus dem Schema Abb. 117 hervor.

Bestimmung der Drahtstärken.

Jetzt wollen wir noch sehen, wie wir die Stärken und Längen der Drähte für unsere Bewickelungen bestimmen können. Man beachte folgende Punkte:

1. Der Widerstand der Bewickelung des Feldmagneten soll stets etwas größer sein als der der Ankerwicklung (Feldmagnet = $\frac{3}{5}$, Anker = $\frac{2}{5}$). Der Widerstand eines Drahtes ist proportional seiner Länge und umgekehrt proportional seinem Querschnitte. Der Querschnitt q berechnet sich aus dem Durchmesser des Drahtes nach der Formel: $q = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$, worin $\pi = 3,14$ ist. (Man benutze auch die Tabellen am Schlusse des Buches.)

2. Der Widerstand in einem Ringanker ist gleich $\frac{1}{4}$ des Widerstandes im ganzen Ankerdraht, da dem Strom zwei Wege, die nur halb so lang sind als die genannte Ankerwicklung, offenstehen.

3. Bauen wir einen Motor mit Rücksichtnahme auf eine bestimmte Stromquelle, so kann er um so größer ausgeführt werden, je mehr elektrische Energie uns zur Verfügung steht. Die Energie eines Stromes wird in Watt gemessen und ist gleich dem Produkt aus Spannung und Stromstärke. 1 Watt gleich 1 Volt mal 1 Ampere (siehe auch zweiter Vortrag S. 84 u. f.). Haben wir bei gegebener Energie verhältnismäßig hohe Spannung und geringe Stromstärke, so ist es nach dem Ohmschen Gesetze (S. 86 u. f.) vorteilhafter, längere und dünnere Drähte für die Bewickelung zu verwenden, als wenn wir eine geringe Spannung und eine große Stromstärke haben. Um einen Anhaltspunkt für die absoluten Maße zu geben, sei folgendes gesagt. Ist der Feldmagnet eines Motors an Größe dem Magnet einer mittelgroßen elektrischen Klingel gleich und steht uns eine Batterie von etwa 3 bis 6 Leclanché-Elementen zur Verfügung, so mag die Bewickelung des Feldmagneten gleich der der betreffenden elektrischen Klingel sein, also für jede Spule etwa 20 m eines 0,5 mm starken Kupferdrahtes.

4. Schalten wir die Magnet- und Ankerwicklung hinter-

einander (Hauptstrommaschine), das heißt so, daß der Strom zuerst die Magnetschenkel umkreist, dann durch den Ankerdraht fließt und schließlich wieder zur Stromquelle zurückkehrt (siehe auch Abb. 125), so ist der Gesamtwiderstand der Maschine größer, als wenn wir die beiden Wicklungen nebeneinander (Nebenschlußmaschine) schalten, also so, daß sich der Strom beim Eintritt in den Motor teilt und einerseits um den Feldmagnet, anderseits um den Anker fließt, um beim Austritt aus der Maschine sich wieder zu vereinigen und zur Stromquelle zurückzukehren (Abb. 126). Wollen wir einen Motor von vornherein als Nebenschlußmaschine bauen, so ist der Widerstand der Ankerdrähte eben so groß oder etwas kleiner zu wählen, als der der Drähte des Feldmagneten. Näheres über die Unterschiede dieser Schaltungsweisen ist bei der Beschreibung der Dynamomaschine ausgeführt (S. 148).

5. Um aus den hier gegebenen Anhaltspunkten die Drahtmaße für eine der hier beschriebenen Maschinen berechnen zu können, vergleichen wir zuerst den für den Motor zur Verfügung stehenden Strom mit dem, den die unter 3. erwähnten 3 bis 6 Leclanché-Elemente liefern. Den inneren Widerstand des oben erwähnten Motors berechnen wir mit Hilfe der Widerstandstabelle (im Anhang) und erhalten für die Bewicklung des Ankers 3,2 Ohm, dies sind $\frac{2}{5}$ des gesamten Widerstandes: es kommen auf den Feldmagneten $\frac{3}{5}$, also 4,8 Ohm, so daß wir im ganzen einen Widerstand von 8 Ohm erhalten. Haben wir einen Strom, der die doppelte Anzahl von Watt liefert wie die 3 bis 6 Elemente, so sind die Dimensionen des Motors etwa 1,5mal so groß auszuführen; der gesamte Widerstand (8 Ohm) hat aber gleich zu bleiben für den Fall, daß auch das Verhältnis von Spannung zu Stromstärke gleichgeblieben ist. Wollen wir dagegen den Motor für einen Strom bauen, der zwar dieselbe Energie besitzt wie die Leclanché-Batterie, aber bei geringerer Stromstärke eine höhere Spannung hat, so ist der Gesamtwiderstand der Maschine dadurch größer zu machen, daß man mehr Windungen macht, also längeren und dünneren Draht verwendet.

6. Sind wir nun über die Dimensionen und die Drahtwiderstände der herzustellenden Maschine im klaren, so

schätzen wir mit Hilfe der Widerstandstabelle Länge und Stärke des Drahtes, der auf eine Spule kommen soll, ungefähr ab. Um erkennen zu können, ob der Draht die gegebene Spule auch ausfüllt oder auf ihr hinreichend Platz findet, müssen wir den inneren Spulendurchmesser (also die Kerndicke) zu dem äußeren Spulendurchmesser addieren — die Maße sind immer in Millimetern auszudrücken — die Summe mit 2 dividieren und das Resultat mit π ($\pi = 3\frac{1}{7}$) multiplizieren. Wir erhalten dadurch die mittlere Länge einer Windung. Um die Zahl der Windungen festzustellen, müssen wir die Dicke des Drahtes mit der Isolierung kennen.

Nehmen wir zum Beispiel an, der Kerndurchmesser sei 1 cm, der äußere Spulendurchmesser 3 cm, die Spulenlänge 5 cm, der Widerstand des Drahtes 1 bis 1,5 Ohm und die Drahtdicke hätten wir auf 0,5 mm mit der Isolierung, also auf 0,7 mm geschätzt. Wir wollen nun die erforderliche Länge und den Widerstand berechnen.

$$\text{Spulendurchmesser} = 30 \text{ mm,}$$

$$\text{Kerndurchmesser} = 10 \text{ mm,}$$

somit mittlere Länge einer Windung

$$\frac{10 + 30}{2} \cdot \pi = 20 \cdot \frac{22}{7} = 62,9 \text{ mm, rund } 6,3 \text{ cm.}$$

Wieviel Windungen haben auf der 50 mm langen Spule eines mit der Isolierung 0,7 mm starken Drahtes Platz?

$$50 : 0,7 = 71,4 \text{ Windungen.}$$

Wieviel Lagen gehen auf die Spule, wenn ihr Halbmesser 15 mm, der Halbmesser des Kernes 5 mm beträgt?

$$15 - 5 = 10 \text{ mm; } 10 : 0,7 = 14,3 \text{ Lagen.}$$

Somit ergeben sich $71,4 \cdot 14,3 = 1021,02$ Windungen. Jede Windung hat eine durchschnittliche Länge von 6,3 cm, also ergibt sich für die Gesamtlänge

$$\text{rund } 1021 \cdot 6,3 \text{ cm} = 64,32 \text{ m.}$$

Da die Dicke des Drahtes ohne die Umspinnung 0,5 mm beträgt, so ergibt sich nach der Tabelle ein Widerstand von

$$64,32 \cdot 0,08 = 5,1 \text{ Ohm.}$$

Wir haben also nicht sehr gut geschätzt; der Widerstand ist etwa 4mal zu groß. Wir müssen deshalb die gleiche Rechnung nochmals für einen etwas stärkeren Draht durchführen. Nehmen wir zum Beispiel für den nackten Draht 0,7, für den umsponnenen 1 mm an, so brauchen wir davon 31,5 m, deren Widerstand sich auf etwa 1,25 Ohm beläuft.

7. Diese hier angegebenen Verhältnisse brauchen nur dann berücksichtigt zu werden, wenn wir von dem Motor unter größtmöglicher Ausnützung der vorhandenen elektrischen Energie Arbeit verlangen. Soll die Maschine nur ein Spielzeug sein, das sich dreht, wenn man einen Strom hineinleitet, so sind wir daran nicht gebunden und können die Maße für die Wickelungsdrähte ganz willkürlich wählen.

Induktionsströme.

Nachdem Kudi seine verschiedenen Motoren vorgeführt und erklärt hatte, ging er dazu über, soviel über Induktionsströme zu sprechen, als unbedingt zum Verständnisse der magnetelektrischen Maschine und der Dynamomaschine nötig war. An einigen kurzen Experimenten zeigte er zuerst die Haupterscheinungen der Magnetinduktion und dann die der Elektroinduktion.

Magnetinduktion.

Zur Demonstration der Entstehung von Induktionsströmen hatte sich Kudi eine große hohle Drahtspule gemacht, auf der nahezu 80 m eines 0,5 mm starken Drahtes aufgewickelt waren. (Es genügen für diesen Versuch aber auch kleinere Spulen.) Eine größere Anzahl von Stricknadeln hatte er einzeln magnetisiert (Magnetisieren siehe Seite 90 u. 140) und dann so zu einem Bündel zusammengebunden, daß alle gleichnamigen Pole auf derselben Seite waren. Dadurch war ein starker Stabmagnet entstanden. Die Drahtenden der Spule verband Kudi mit seinem Vertikalgalvanoskop. Sobald er dann den Stabmagnet in die Spule hineinschob, schlug die Nadel des Instruments einen Augenblick nach der einen Seite aus; als er ihn herauszog, geschah der Ausschlag nach der anderen Seite. Das gleiche Experiment wiederholte er, indem er den Magnet viel rascher hineinsteckte und herauszog; dabei wurden die Ausschläge des Galvanoskopes größer als vorher.

Nach diesem Versuche schob Kudi eine kurze Betrachtung über die Kraftlinien ein, über die er ja schon im

zweiten Vortrag eingehend gesprochen hatte. Er erklärte fernerhin, daß, wenn ein Leiter der Elektrizität von Kraftlinien durchschnitten wird, in ihm elektrische Ströme auftreten. In einem beliebig geformten Leiter sind die Ströme ungeordnet und kommen nicht zur Geltung. Geben wir aber dem Leiter die Form eines langen, zur Spule aufgewickelten Drahtes, so summieren sich die kleinsten Stromimpulse zu einem durch seine Wirkungen erkennbaren elektrischen Strome. Ein Strom wird nur so lange erzeugt, als die Kraftlinien in Bewegung sind. Je rascher sie sich bewegen, desto stärker ist der Strom. Der Strom, der beim Eintritte von Kraftlinien in einem Leiter entsteht, ist in seiner Richtung dem Strom, der durch die austretenden Kraftlinien hervorgerufen wird, entgegengesetzt.

Elektroinduktion. Ähnlich wie ein Stahlmagnet wirkt eine von einem Strome durchflossene Spule. Um auch das zu zeigen, hatte sich Rudi eine kleinere Spule gemacht, die in die größere eingesteckt werden konnte. Auch die kleinere Spule war hohl, so daß es möglich war, einen Eisenkern in sie hineinzuschieben. Rudi führte den Versuch zuerst ohne, dann mit dem Eisenkern aus. In letzterem Falle war die Wirkung bedeutend stärker, da durch die Gegenwart des Eisens die Zahl der Kraftlinien sehr vergrößert wird.

Der dritte Versuch bestand darin, daß Rudi die kleine Spule mit dem Eisenkern in der großen stehen ließ und den Strom zur kleinen plötzlich ein- und ausschaltete. Beim Einschalten des Stromes erhielt er den Ausschlag des Galvanoskopes nach derselben Seite wie beim Eintauchen des Magneten; das Ausschalten entsprach in dieser Beziehung seinem Herausnehmen.

Nach diesen einleitenden Versuchen ging Rudi zur Erklärung der Wirkungsweise der magnetelektrischen Maschine über. Er hatte sich selbst eine solche gefertigt, und wir wollen nun sehen, wie man dabei zu Wege gehen muß, um zu einem sicheren und guten Ergebnisse zu gelangen.

Die magnetelektrische Maschine. Um eine gutgehende magnetelektrische Maschine herstellen zu können, bedürfen wir vor allem eines

starken Stahlmagneten, dessen Form von der des Ankers abhängt. Von den drei uns schon bekannten Ankerformen kommen nur die beiden in Abb. 118 dargestellten in Betracht.

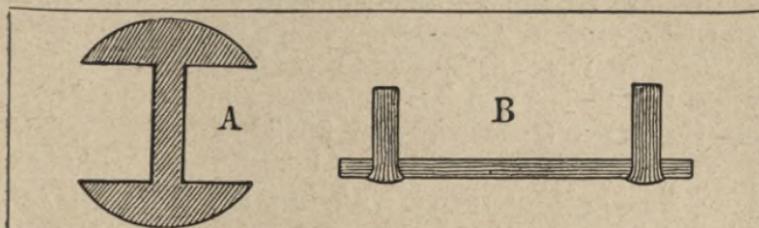


Abb. 118. Ankerformen für magnetoelektrische Maschinen.

Für die Stahlmagnete kommen verschiedene Spezialstähle in den Handel; für unsere Zwecke jedoch genügt gewöhnlicher Werkzeugstahl, der in 50 bis 70 cm langen Stäben als Rund- und Bandstahl von den verschiedensten Querschnittsdimensionen in den Handel kommt. Es können auch Sägeblätter verwendet werden.

Die Doppel-T-Anker sind für solche Maschinen geeigneter als die sogenannten Hufeisenanker, haben aber den Nachteil, daß wir sie nicht selbst herstellen können. Man kann sie dagegen bei jedem Mechaniker kaufen.

Der Werkzeugstahl kommt meist in weichem, geglühtem Zustand in den Handel; trotzdem ist es vorteilhaft, ihn vor der Bearbeitung nochmals durchzuglühen. Da es sich hier um ziemlich starke Stücke handelt, wird allerdings in den meisten Fällen selbst ein guter Bunsenbrenner nicht mehr genügen, die Eisenstäbe richtig zum Glühen zu bringen.

Die Schmiedeeesse.

Wir müssen uns deshalb rasch eine kleine Schmiedeeisse anfertigen. An das eine Ende eines Gummischlauches stecken wir einen

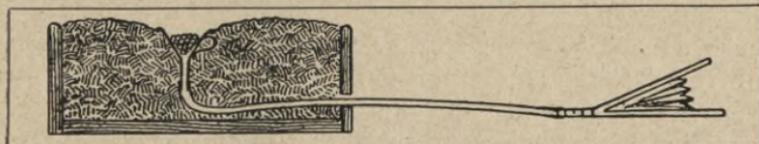


Abb. 119. Die improvisierte Schmiedeeisse (Schnitt).

alten Trichter aus Eisenblech, an das andere einen Blasebalg. Der Trichter wird mit der Öffnung nach oben in eine

mit Sand gefüllte Riste gesteckt und der Schlauch zu einem in die Seite eingebohrten Loch hinausgeleitet. Die Trichteröffnung wird etwa zur Hälfte mit etwas mehr als nußgroßen Kieselsteinen angefüllt. Den Schnitt durch diese Einrichtung zeigt Abb. 119.

Nehmen wir an, unser Anker habe einen Durchmesser von 25 mm und eine Länge von 30 mm, so brauchen wir ein 60 cm langes, 12 mm breites und 3 mm dickes, ferner ein 18 cm langes, 15 mm breites und 3 mm dickes Stück Bandstahl. Ersteres wird in zehn, je 6 cm lange, letzteres in vier, je 4,5 cm lange Stäbe zerlegt. Wie diese später zu einem Magnetstock angeordnet werden, geht aus Abb. 120 hervor. Um den Anker an einer möglichst großen Fläche nahe zu umschließen, müssen in den einander gegenüberstehenden Magnetschenkeln der Ankerkrümmung entsprechende Aushöhungen angebracht werden (siehe Abb. 120 A). Um die einzelnen Stäbe zu einem festen Ganzen zusammenzuhalten, müssen die längeren an dem dem Ankerausschnitt entgegengesetzten Ende, die kürzeren an beiden Enden durchbohrt werden. Es erübrigt nun noch, alle Kanten, mit Ausnahme derer der Ankerausschnitte, mit Feile und Schmirgelpapier wohl abzurunden.

Je dünner die einzelnen Stäbe sind, desto besser lassen sie sich magnetisieren, weshalb sich Sägeblätter sehr gut eignen. Auch können wir dann das Magnetisieren in Ermangelung eines starken Stromes durch Streichen mit einem Stahlmagneten bewerkstelligen (siehe unten). Zum Ausfeilen der Rundung für den Anker klemmen wir dann eine größere Anzahl solcher Blätter zusammen in den Schraubstock und befeilen sie mit der halbrunden Eisenfeile.

Härten und Magnetisieren von Stahlstäben.

Jetzt müssen die Stahlstäbe gehärtet werden. In einem Holzkohlenfeuer, das wir auf unserer Schmiedeeise entfachen, werden sie einzeln bis auf helle Rotglut erhitzt und dann direkt aus dem Feuer heraus in kaltes Wasser geworfen. Nachdem so alle Stäbe gehärtet sind, werden sie mit Schmirgelleinwand von der durch das Glühen entstandenen Oxidschicht etwas befreit und müssen dann magnetisiert werden. Zu diesem Zweck stellen wir uns

eine Drahtspule her, in die die Stahlstäbe gerade hineinpassen. Die Bewickelung muß so gewählt werden, daß mit der uns zur Verfügung stehenden Stromquelle ein möglichst starker Gleichstrom durch möglichst viele Windungen fließt. Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes (Seite 86 u. f.) ist es nicht schwer, das festzustellen. Ist unsere Stromquelle überhaupt schwach, so müssen wir den Strom entsprechend länger wirken lassen, was jedoch den Mangel an Intensität bei weitem nicht ersetzen kann. Es ist weit vorteilhafter, 12 Ampere 2 $\frac{1}{2}$ Minuten wirken zu lassen, als z. B. 1 Ampere 30 Minuten. Nach einem andern Verfahren, das aber auch einen starken Strom erfordert, verfährt man folgendermaßen: Man windet sich aus 2 bis 2,5 mm starkem, isoliertem Kupferdraht eine Spule, die aber für die kürzeren Magnetstäbe nicht länger als 2 cm, für die längeren nicht länger als 2,5 bis 3 cm sein darf. In diese Spule bringen wir den zu magnetisierenden Stab so, daß die Spule genau über seiner Mitte liegt; erst jetzt wird ein möglichst starker Strom durch die Windungen geschickt und der Stab so in der Spule etwa 15 bis 20 mal hin und her geschoben, daß das Stabende der einen Seite immer nur bis zum Spulenende der gleichen Seite geführt wird. Man hört wieder in der Mitte auf und zwar so, daß jede Stabhälfte gleich oft durch die Spule gegangen ist; dann wird der Strom abgestellt. Steht uns kein starker Strom zur Verfügung, so tun wir gut daran, das Magnetisieren von einem zuverlässigen Mechaniker besorgen zu lassen. Stehen uns gute, starke Stahlmagnete zur Verfügung, so können wir unsere Stäbe auch durch Streichen magnetisch machen. Das einfachste Verfahren, wozu wir auch nur einen Magneten brauchen, besteht darin, daß man erst den einen, z. B. den Nordpol des Strichmagneten, in der Mitte auf den zu magnetisierenden Stab aufsetzt, ihn unter starkem Aufdrücken nach dem Ende zu führt, da hochhebt, in der Luft im Bogen zurückgeht, wieder in der Mitte aufsetzt u. f. f. 10 bis 20 mal; dann wiederholt man das gleiche Verfahren mit dem anderen Pol nach der anderen Seite des Stabes. Bessere Resultate gibt folgendes Verfahren: Wir legen zwischen 2 Stabmagnete ein Holz, das so dick

wie die Magnete und 1 bis 2 cm kürzer als die zu magnetisierenden Stäbe ist; rechts liegt der Nordpol, links der Südpol am Holz an. Darauf wird der Stahlstab so gelegt, daß seine Enden auf den Magnetpolen aufliegen. Zwei weitere Stabmagnete werden, durch ein 5 mm dickes Hölzchen getrennt, so in der Mitte des Stabes aufgesetzt, daß sie mit diesem Winkel von 45° bilden und daß rechts der Nord-, links der Südpol aufliegt. Nun fährt man erst an das eine Ende (nicht darüber hinaus!), dann über die Mitte weg nach dem anderen u. s. f. 10 bis 20 mal und hört so in der Mitte auf, daß man gleich oft über jede Hälfte gefahren ist.

Es ist besonders darauf zu achten, daß die eine Hälfte, also fünf Stück, der längeren Stahlstäbe an dem mit dem Ausschnitt versehenen Ende + (nord-) magnetisch, die andere Hälfte der Stäbe an dem ausgeschnittenen Ende — (süd-) magnetisch werden. Mit einer freischwebenden Magnetnadel stellen wir die Nord- und Südpole der einzelnen Magnete genau fest und bezeichnen sie deutlich mittels Tinte mit den Zeichen + und —. Nun werden diese Magnete in der aus Abb. 120 hervorgehenden Anordnung zusammengestellt. Zwei Eisenstäbe, die an beiden Enden mit Gewinden versehen sind, werden durch die Löcher geschoben, und mit je zwei Muttern werden die Magnete fest zusammengedreht. Sollten an den Berührungsflächen der einzelnen Magnete infolge des Glühens oder eines anderen Umstandes Unebenheiten aufgetreten sein, so müssen diese durch Schleifen, was aber vor dem Magnetisieren auszuführen ist, mit Schmirgel beseitigt werden, feilen läßt sich gehärteter Stahl nicht mehr!

Den so gewonnenen Magnetstock können wir dadurch verstärken, daß wir uns noch Magnete von passender Größe herstellen, mit denen wir die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäben ausfüllen, natürlich unter richtiger Berücksichtigung der Pole.

Wir kommen nun zur Bewicklung des Ankers. Je länger und dünner der Draht ist, den wir verwenden, desto höher ist die Spannung und desto geringer die Stromstärke. Für eine Maschine in den hier angegebenen Di-

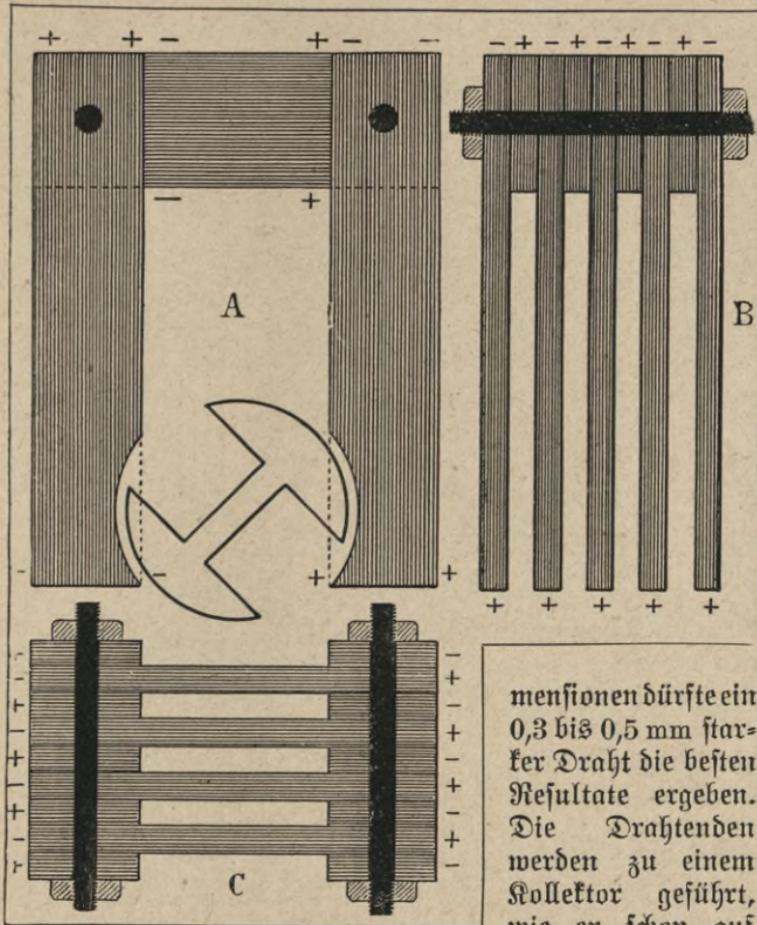


Abb. 120. Der aus einzelnen Stäben zusammengesetzte Magnetstod.

menfionen dürfte ein 0,3 bis 0,5 mm starker Draht die besten Resultate ergeben. Die Drahtenden werden zu einem Kollektor geführt, wie er schon auf Seite 123 beschrieben worden ist. Die

Stellung der Schleiffedern ist hier genau dieselbe wie dort. Außer diesem Kollektor, der den in den Spulen induzierten Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt, können wir auch einen solchen zur Abnahme von Wechselstrom auf der Achse anbringen. Er besteht einfach aus zwei nebeneinander liegenden, aber



Abb. 121. Gleich- und Wechselstromabnehmer auf einer Achse.

voneinander isolierten Metallringen. Abb. 121 zeigt beide Kollektoren nebeneinander auf einer Achse. Die Drahtenden der Spule, die zu dem äußeren der beiden Kollektoren führen, müssen natürlich unter dem inneren hindurchgehen.

Verwenden wir statt des Doppel-T-Ankers den in Abbildung 118 B abgebildeten, so ist der dazu nötige Stahlmagnet

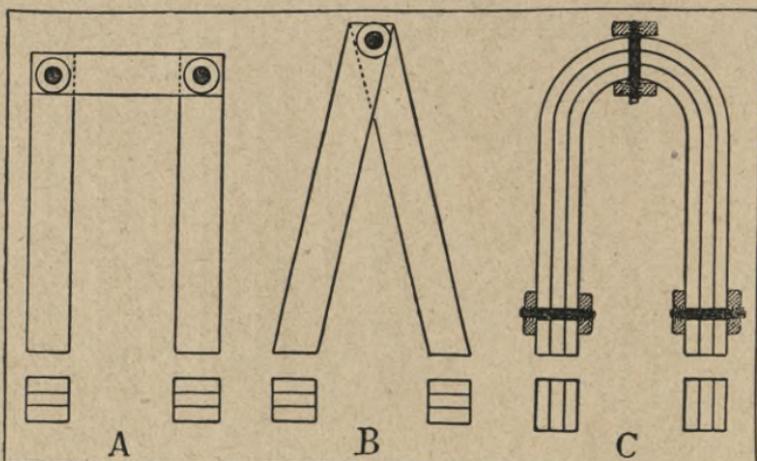


Abb. 122. Verschiedene Formen für Feldmagnete.

etwas einfacher herzustellen. Abb. 122 zeigt drei verschiedene Formen. Für die Verwendung von Sägeblättern dürfte die Form C am geeignetesten sein; natürlich müssen dann mehr als drei Streifen zusammengelegt werden. Die Stirnfläche des Feldmagneten soll mindestens 1 qcm groß sein.

Abb. 123 zeigt den Anker mit den Spulen (d) und deren Stellung zum Feldmagnet (a) im Schnitt; c ist die Achse, b der Ankerkern, e der Kollektor. Diese Teile sind den entsprechenden des auf Seite 123 beschriebenen Elektromotors in jedem Punkte gleich. Für die Bewickelung gilt das nämliche wie beim Doppel-T-Anker.

Der Anker der magnetoelektrischen Maschine muß, um einen elektrischen Strom zu liefern, ziemlich rasch gedreht werden. Wir befestigen deshalb auf der Achse eine aus Hartholz gedrechselte Welle, über die wir einen Riemen oder eine Schnur zu einem Schwungrade leiten. Wir können dazu das Schwungrad einer Nähmaschine mit Fuß-

betrieb verwenden, wenn wir die Nähmaschine von dem Tischchen abheben. Wir können uns aber auch ein Schwungrad folgendermaßen selbst herstellen: Wir fügen uns aus einem breiten Brett, das wir eventuell aus anderen zusammenleimen, eine runde Scheibe. Auf ihre beiden Seiten kleben wir je einen Ring aus starkem Pappendeckel, der so groß ist, daß er den Rand der Scheibe um etwa 0,5 cm überragt. Dadurch wird eine Rinne gebildet, in der eine Schnur laufen kann, ohne abzugleiten. Es ist nun noch eine Kurbel anzubringen und

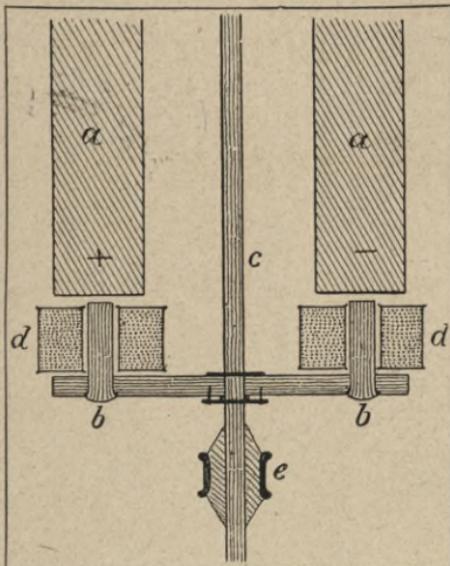


Abb. 123. Schnitt durch die magnetelektrische Maschine mit Hufeisenanker.

die Scheibe auf einer Achse an einem Gestelle zu befestigen. Dessen Konstruktion ausfindig zu machen, überlassen wir der Phantasie des jungen Bastlers.

Wirkungsweise der magnetelektrischen Maschine.

Die Wirkungsweise

der magnetelektrischen Maschine erklärte Rudi im Anschluß an die Experimente über Magneto- und Elektroinduktion. Dort haben wir gesehen, daß in einem Leiter elektrische Ströme entstehen, sobald Kraftlinien sich in ihm bewegen. Dabei konnten wir beobachten, daß das Ein- oder Aus-treten der Kraftlinien für die Stromrichtung bedingend war. Maxwell hatte eine Regel aufgestellt, die uns gestattet, die Richtung des Induktionsstromes sicher festzustellen. Betrachten wir die Abb. 124, die die Kraftlinien eines Magnetstabes NS darstellt; wir sehen an den eingezeichneten Pfeilen, daß diese Linien, vom Nordpol nach allen Seiten ausstrahlend, sich nach dem Südpol hin bewegen. Die Max-

welche Regel heißt: Betrachtet man eine Drahtspule, die sich in einem magnetischen Felde¹⁾ bewegt, in der Richtung der Kraftlinien, so bringen eintretende Kraftlinien einen Strom hervor, der der Uhrzeigerbewegung entgegengesetzt ist, austretende dagegen einen solchen, der dieselbe Drehungsrichtung hat wie der Uhrzeiger.

In Abb. 124 sind fünf Drahtringe eingezeichnet. Nehmen wir an, daß sich I und II von links nach rechts bewegen

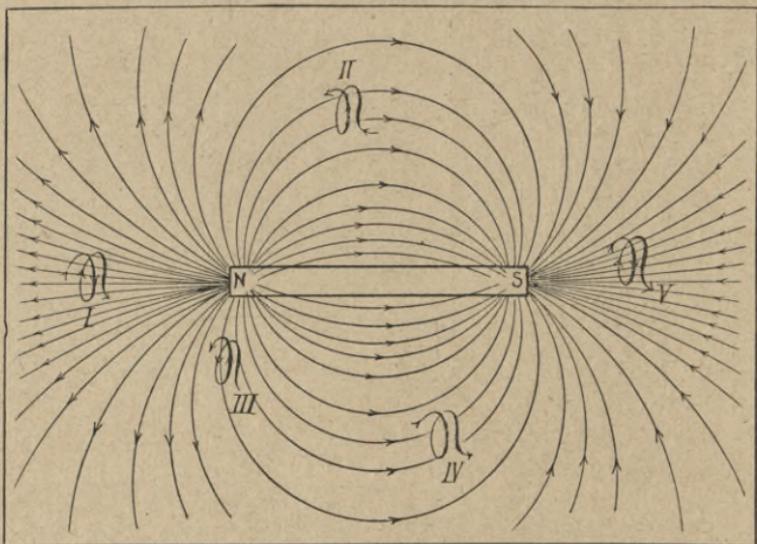


Abb. 124. Drahtringe, die sich in einem magnetischen Feld bewegen.

und III, IV und V von rechts nach links, so werden die induzierten Ströme in der eingezeichneten Richtung fließen.

Betrachten wir die Verhältnisse bei unserer magnetischen Maschine mit dem Hufeisenanker in der in Abb. 123 dargestellten Lage, so gehen die Kraftlinien im Bogen vom $+$ -Pol des Stahlmagneten durch den Anker hindurch zum $-$ -Pol. Dabei treten sie in die linke Drahtrolle von vorn, in die rechte von hinten ein, da sie in einem Bogen von einem Pol zum anderen gehen. Wird

¹⁾ Unter einem magnetischen Feld versteht man den von Kraftlinien durchdrungenen Raum in der Nähe eines Magneten.

der Anker so gedreht, daß die linke Spule gewissermaßen nach oben aus der Bildfläche heraustritt und die rechte sich abwärts bewegt, so treten aus beiden Spulen Kraftlinien so lange aus, bis der Anker eine Drehung von 90° gemacht hat. Wird er dann weiter gedreht, so dringen Kraftlinien ein, aber von der anderen, der hinteren Seite her, bis die Pole des Ankers, nachdem er sich um 180° gedreht hat, vor denen des Magneten stehen. Wir wollen die Richtung der während der halben Umdrehung in den beiden Spulen induzierten Ströme feststellen. Dabei soll „von vorn gesehen“ jedesmal die Richtung vom Anker zum Feldmagneten, „von hinten gesehen“ die umgekehrte Richtung angeben. Zuerst, während sich die linke Spule nach oben bewegt, treten von hinten kommende Kraftlinien aus ihr heraus, oder, wie man sich auch ausdrücken kann, die Zahl der von hinten in die Spule eindringenden Kraftlinien wird ständig geringer; der Strom wird also von hinten gesehen im Sinne der Uhrzeigerbewegung durch die Spule fließen. Beginnt die Spule nach einer Drehung von 90° sich wieder abwärts zu bewegen, so wird die Zahl der von vorn eindringenden Kraftlinien beständig größer. Betrachten wir wie vorhin die Spule von hinten, so fließt der induzierte Strom immer noch im Sinne der Uhrzeigerbewegung. Jetzt wollen wir sehen, was unterdessen in der anderen Drahtrolle — die ursprünglich rechts stand — vor sich gegangen ist. Hier sind zuerst die von vorn kommenden Kraftlinien aus der Spule ausgetreten, dann — nach einer Viertelumdrehung — die von hinten kommenden eingetreten, also gerade umgekehrt wie bei der zuerst betrachteten Drahtrolle. Hier fließt demnach der Induktionsstrom von hinten gesehen entgegen dem Sinne der Uhrzeigerbewegung. Daraus folgt, daß der Strom in den Spulen, die sich oberhalb der Bildebene bewegen, in der einen, in denen, die sich unterhalb der Ebene bewegen, in der anderen Richtung fließt. Verbinden wir die Drahtenden der Spulen so wie bei einem gewöhnlichen Elektromagnet, bei welchem der Draht um den einen Magnetschenkel rechts, um den anderen links herum aufgewickelt ist, so werden sich die in

den beiden Drahtrollen induzierten Ströme nicht entgegenfließen, sondern addieren; dagegen werden sie die Drähte während der ersten halben Umdrehung in der einen, während der zweiten in der anderen Richtung durchfließen, da ja in beiden Spulen in dem Augenblick, in dem sie die Pole des Feldmagneten passieren, der Induktionsstrom seine Richtung ändert.

Führen wir die Drahtenden der Ankerspulen zu zwei ganzen, voneinander isolierten Ringen auf der Achse und leiten mittels zweier Schleiffedern den Strom in einen Draht, so durchfließt er diesen unter fortwährender Änderung seiner Richtung. Davon können wir uns überzeugen, wenn wir das Vertikalgalvanoskop mit den Schleiffedern verbinden und die Maschine ganz langsam in Gang setzen: nach je einer halben Ankerumdrehung wird die Nadel des Instrumentes zuerst nach der einen, dann nach der anderen Seite ausschlagen. Drehen wir aber den Anker sehr rasch, so bekommen wir überhaupt keinen Ausschlag, weil die einzelnen Impulse, die ständig ihre Angriffsrichtungen auf die Nadel ändern, so rasch nacheinander eintreffen, daß die Trägheit der Nadel und des Magneten diesen nicht erlauben, den Impulsen zu folgen. Wir können dagegen mit einer kleinen Glühlampe das Vorhandensein eines Stromes nachweisen, denn der Kohlenfaden wird in der gleichen Weise erhitzt, ob der Strom in der einen oder anderen Richtung ihn durchfließt.

Um von der magnetelektrischen Maschine Gleichstrom abnehmen zu können, haben wir auch den zweihälftigen Kollektor auf der Achse montiert. Daß dieser als Kommutator, als Stromwender wirkt, haben wir schon auf Seite 123 gesehen.

Die Dynamomaschine.

Sich selbst eine Dynamomaschine, die wirklich als Generator zu gebrauchen ist, anfertigen zu wollen, ist ein Unternehmen, das meistens daran scheitert, daß eben eine solche Maschine in allen ihren Teilen ganz genau berechnet sein will. Wer sich nach den Berechnungsangaben auf Seite 134 u. f. einen größeren Motor gebaut hat, kann unter Umständen das Glück haben — es wäre ein Zufall —, daß dieser auch als Generator zu verwenden ist. Unter den beschriebenen

Motoren kann in dieser Beziehung am meisten von den vierpoligen mit Hufeisenanker oder von solchen mit Doppel-T-Anker erwartet werden. Wie wir die Maschinen auf ihre Fähigkeiten dieser Art hin zu prüfen haben, wird am Ende des Abschnittes erwähnt. Jetzt wollen wir zuerst hören, was Rudi in seinem Vortrag über das Prinzip der Dynamomaschine ausführte.

Wir haben gesehen, daß, wenn sich ein Drahtkreis in einem magnetischen Felde bewegt, in diesem — dem Drahtkreis — ein elektrischer Strom erzeugt wird. Der Strom ist umso stärker, je stärker das magnetische Feld ist. Nun ist es eine bekannte Tatsache, daß wir ein Stück weiches Eisen mit Hilfe eines elektrischen Stromes zu einem viel stärkeren Magnet machen können als ein gleich großes Stück Stahl. Es lag deshalb der Gedanke nahe, für magnetelektrische Maschinen statt Stahlmagnete Elektromagnete zu verwenden und den Strom für diese entweder einer Batterie, oder einer kleineren magnet-

elektrischen Maschine zu entnehmen. Werner v. Siemens kam zuerst (i. J. 1867) auf den Gedanken, den Ankerstrom selbst zur Erregung der Feldmagnete zu verwenden. Auch das weichste Eisen, wenn es einmal magnetisch gemacht war, behält eine Spur von Magnetismus, die genügt, einen wenn auch sehr kleinen Strom im Anker zu erzeugen. Dieser kleine Strom wird um den Feldmagnet geleitet und macht ihn ein wenig stärker,

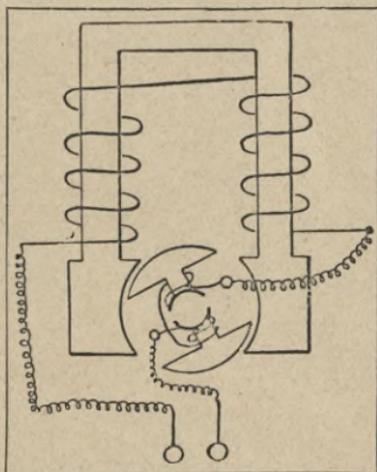


Abb. 125. Schema einer Hauptstrommaschine.

wodurch auch der induzierte Strom wieder stärker wird und den Feldmagnet noch stärker macht u. s. f., bis die Grenze der Magnetisierungsfähigkeit des Eisens erreicht ist. Zur besseren Veranschaulichung dieses Vorganges stellte Rudi eine Tafel mit der in Abb. 125 dargestellten Figur auf.

Diese Tafel zeigt die sogenannte Hauptstrom- oder Serienschaltung, weil der Hauptstrom, das ist der ganze im Anker erzeugte Strom, durch die Windungen des Feldmagneten fließt. Anders verhält sich das bei der in Abb. 126 dargestellten Schaltungsweise, der sogenannten Nebenschlußschaltung. Hier liegen die Feldmagnete im Nebenschluß zu dem im Anker erzeugten und durch das Leitungsnetz (X) fließenden Strom. Diese Schaltungsweise ist die gebräuchlichere, da durch einen bei R (Abb. 126) eingeschalteten Rheostaten (siehe Anhang) die Spannung bequem reguliert werden kann. Mache ich den Widerstand in R größer, so sinkt die Spannung, mache ich ihn kleiner, so steigt sie. Es können auch beide Schaltungsweisen kombiniert werden (Verbund- oder Compoundmaschine), doch ist hier

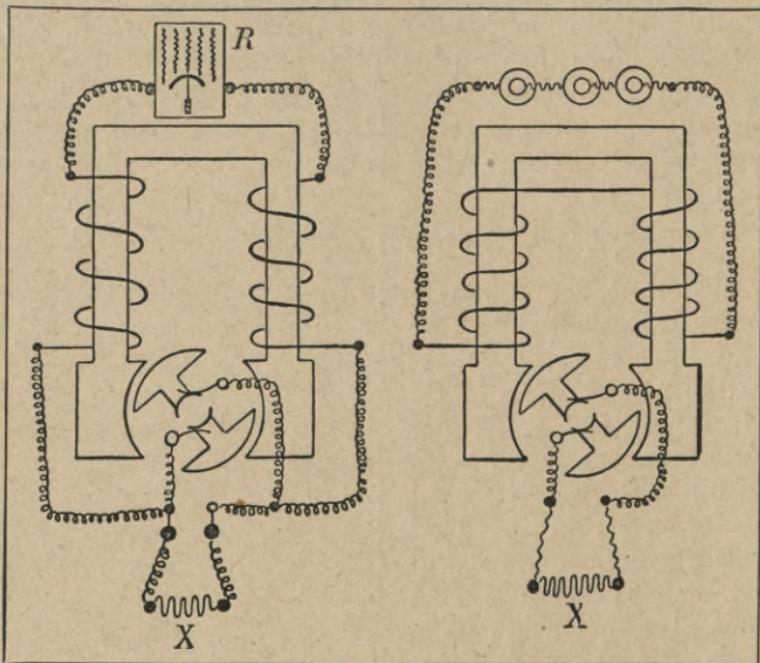


Abb. 126. Schema einer Nebenschlußmaschine.

Abb. 127. Schema einer Maschine mit Fremderregung.

nicht der Platz, auf all diese Einzelheiten einzugehen; wir wollen uns lieber nur mit solchen Experimenten be-

schäftigen, die den Verhältnissen unseres einfachen Laboratoriums angepaßt sind.

So wollen wir z. B. sehen, wie wir einen Elektromotor zur magnetelektrischen Maschine machen können: Wir verbinden die Drahtenden der Feldmagnetwicklung mit einer Batterie und können dann, wenn der Anker gedreht wird, von den Schleiffedern Strom abnehmen. Diese Schaltungsweise zeigt Abb. 127.

Wollen wir mit einem unserer Motoren unser Glück probieren, ob er auch als Generator zu verwenden ist, so müssen wir folgendermaßen verfahren: Wir schalten Anker und Feldmagnet hintereinander (Serienschaltung), in den Stromkreis des Feldmagneten eine Stromquelle und in den äußeren Stromkreis ein Amperemeter X ein, wie aus Abb. 128 ersichtlich ist. (Die Elemente können natürlich auch an einer anderen Stelle des Stromkreises eingeschaltet werden.) Dieser Hilfsstrom braucht nicht stärker zu sein, als daß er den Motor gerade noch in langsame Rotation versetzt. Drehen wir nun den Anker gewaltsam in entgegengesetzter Richtung, als er durch den Batteriestrom gedreht wurde, so wird er einen Strom erzeugen, der gleichgerichtet mit dem der Elemente ist. Während die Maschine im Gang ist, verbinden wir zuerst die beiden Punkte a und b (Abb. 128) durch einen kurzen Kupferdraht und schalten dann die Batterie aus. An dem angeschlossenen Amperemeter können wir jetzt sehen, ob das Glück uns hold war und unseren Motor auch als Generator arbeiten läßt.

Nachdem Rudi die wichtigsten theoretischen Dinge über Motoren und Generatoren besprochen hatte, ging er dazu

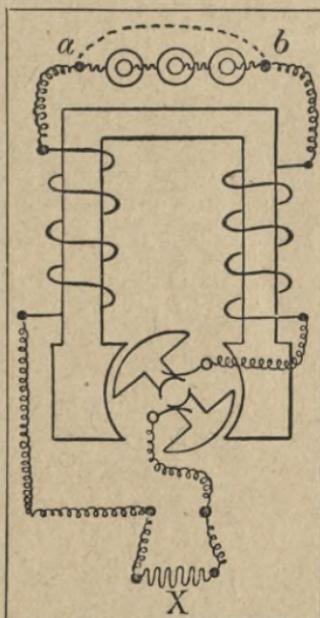


Abb. 128. Einschaltung eines Hilfsstromes in den Stromkreis der Dynamo.

über, seinen aufmerksamen Zuhörern die praktische Anwendung dieser Maschinen im Großbetriebe zu erklären.

Die elektrische Lokomotive. Zuerst führte er eine kleine elektrische Lokomotive vor. Er hatte sie sich aus einer Spielzeugeisenbahn, an deren Maschine die Betriebsfeder gebrochen war, hergestellt, indem er einen kleinen Elektromotor so auf der Lokomotive, von der er Kessel und Uhrwerk entfernt hatte, befestigte, daß die Welle des Motors unmittelbar auf dem oberen Rande des Lokomotivenrades auslag. Um die Reibung zwischen diesen beiden Rädern zu vergrößern, legte er in die Furche der Motorwelle einen kleinen Gummiring.

Das Geleise der Bahn, das ein großes Oval bildete, befestigte er auf einem entsprechend großen Pappendeckel, den er, um ihm mehr Halt zu geben, auf der Unterseite mit Holzleisten benagelte. In Abständen von etwa 10 cm stellte er Tragmasten aus Weidenholzstäbchen auf und verband je zwei, die einander gegenüber standen, während das Geleise zwischen ihnen hindurchlief, mit einer Schnur. An dieser wurde die aus 1 mm starkem Kupferdraht bestehende „Oberleitung“ befestigt. Damit die Unterseite, an welcher der stromabnehmende Schleifbügel entlanggleiten sollte, auch an den Befestigungsstellen völlig glatt sei, lötete er auf der Oberseite Drahtstückchen an, die in Schlingen der Aufhänge Schnüre eingehängt wurden. Der Schleifbügel war in der Form gebogen, wie wir sie an unseren Straßenbahnen sehen, isoliert von dem übrigen Gestell auf der Lokomotive befestigt und mit der einen Polklemme des Motors verbunden. Die andere Klemme wurde mit dem Gestell der Maschine und außerdem mit einer auf der Radachse aufliegenden Schleiffeder in leitende Verbindung gebracht. Die einzelnen Schienen des Geleises waren untereinander verlötet. Der Strom eines kleinen Akkumulators, der durch die Oberleitung in den Motor eintreten und durch die Räder und Schienen wieder zurückfließen konnte, ließ unsere elektrische Lokomotive ohne Schwierigkeiten eine stattliche Anzahl kleiner Wagen mit ziemlich großer Geschwindigkeit hinter sich herziehen.

Die Bogenlampe.

Auch eine kleine Bogenlampe fertigte sich Rudi. Abb. 129 zeigt ihre Einrichtung: Auf dem Grundbrett a ist die Säule b errichtet, in welcher der Hebel c mit dem Griff d befestigt ist. Der Hebel ist aus Holz und darf sich nicht zu leicht um seine Achse drehen, damit er in jeder Lage, in die wir ihn bringen, stehen bleibt. Er hat bei e ein Loch, in welchem die Kohle K₁ festgesteckt werden kann; für denselben Zweck ist in a bei f ein Loch. Für K₁ und K₂ verwenden wir möglichst dünne Bogenlampenkohlen, die wir, wenn wir nur einen schwachen Strom zur Verfügung haben, mit dem Messer sehr fein zuspitzen. Um die Kohlen wickeln wir blanke Kupferdrähte, die zu den Klemmen g und h führen. Um den Lichtbogen zu erzeugen, verbinden wir die beiden Klemmen mit unserer stärksten Stromquelle, bringen die beiden Kohlespitzen zuerst miteinander in Berührung und rücken sie dann ein paar Millimeter auseinander, in welchem Augenblicke der Lichtbogen entsteht. Dies wird bei unserem einfachen Apparat aber nur kurze Zeit dauern, da die Kohlespitzen abbrennen; wir müssen deshalb von Zeit zu Zeit K₁ durch Verstellen des Hebels tiefer rücken. Bei großen Bogenlampen werden die Kohlenstifte durch ein selbsttätig wirkendes Uhrwerk auf dem richtigen Abstand erhalten.

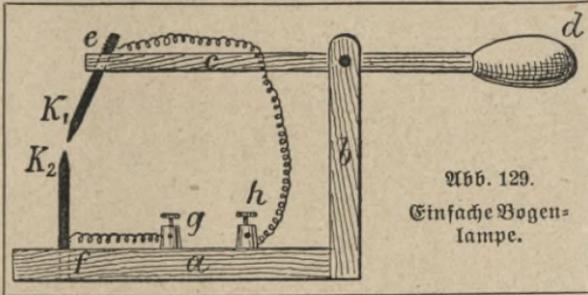


Abb. 129.
Einfache Bogenlampe.

Der Kurzschluss.

Um das Wesen des berüchtigten Kurzschlusses zu erklären, hatte Rudi für den Vortrag eine kleine Spielerei hergerichtet. Er klebte sich aus Packpapier ein kleines Häuschen und malte Fenster, Türen u. s. w. auf. An beiden Giebeln ließ er zwei weiße Isolierknöpfe sehen. Rechts und links vom Hause, den Giebeln gegenüber stellte er je eine Tele-

graphenstange auf. Von den Isolierknöpfen am linken Giebel des Hauses führten zwei starke Kupferdrähte über die Telegraphenstange nach der Akkumulatorenbatterie. Diese Leitungen setzte er mit zwei dünnen Eisendrähten durch das Haus hindurch über die Isolierknöpfe am rechten Giebel bis zu der zweiten Telegraphenstange fort, an welcher eine Leiter lehnte, auf der ein aus Papier geschnittener Arbeiter stand. Der Arbeiter schien an einer Glühlampe zu arbeiten, die an die beiden Eisendrähte angeschlossen war und glühte. In dem Papierhaus legte Nudi auf die Leitung leicht zusammengeballtes mit wenig Tropfen Petroleum beträufeltes Seidenpapier.

Er erklärte, daß hier von einer starken Stromquelle in einer durch das Haus führenden Leitung der Glühlampe Elektrizität zugeführt werde. Die Glühlampe biete dem Strom einen sehr großen Widerstand, so daß er eine gewisse Stärke nicht überschreiten könne. Wenn nun aber der an der Leitung arbeitende Mann aus Unachtsamkeit ein Werkzeug, z. B. eine Zange fallen ließe, und sie würde so auf die beiden Leitungsdrähte zu liegen kommen, „wie dieses Stückchen Draht hier“ — dabei legte er ein Stückchen Kupferdraht auf die beiden Eisendrähte —, so würde auch im großen das gleiche Ereignis eintreten wie hier im kleinen. Kaum hatte er das Kupferdrahtstückchen auf die Leitung gelegt, als diese anfang glühend zu werden und durchschmolz; einen Augenblick später stand das Haus in Flammen. Dadurch, daß der Strom, statt den schwierigen Weg durch die Glühlampe nehmen zu müssen, durch das Drahtstückchen kurz geschlossen — daher das Wort „Kurzschluß“ — war, wurde er so stark, daß die Leitungsdrähte zu glühen anfangen und das auf ihnen liegende Papier im Hause entzündeten. In Wirklichkeit liegt zwar kein Seidenpapier auf den Leitungsdrähten, diese sind aber meist mit leicht entzündlichen, sehr stark brennenden Materialien wie Pech, Wachs, Guttapercha u. s. w. isoliert.

Die Sicherungen. Mit obigem Versuch kann man gleichzeitig auch noch einen zweiten verbinden, der zeigt, in welcher Weise die Sicherungen wirken. Zu diesem Zweck unterbrechen wir den einen der Zu-

Leitungsdrähte zu dem Häuschen und überbrücken die Unterbrechung mit einem dünnen Streifen von Stanniolpapier, das so viel Strom durchläßt, daß das Lämpchen noch hell leuchtet, aber doch so dünn ist, daß es sofort schmilzt, wenn die Leitung kurz geschlossen wird. Wir machen den Versuch dann zuerst mit der Sicherung, die so rasch durchschmilzt, daß der Strom unterbrochen wird, bevor der dünne Eisendraht im Häuschen zum Glühen kommen kann. Darauf verbinden wir die unterbrochene Stelle direkt und stellen den Kurzschluß noch einmal her, wobei nun wie vorhin das Haus in Flammen aufgeht.

Der elektrische Zigarrenanzünder.

Rudi erwähnte nun noch die Verwendung der Elektrizität zu Heizzwecken, doch konnte er dazu keine Apparate oder Experimente vorführen, obgleich ein hierher gehöriger Apparat, zu dessen Betrieb nur ein paar kleine Akkumulatorenzellen nötig sind, nicht schwer herzustellen ist. Es ist der elektrische Zigarrenanzünder. Wir stellen durch einige Versuche fest, wie stark ein etwa 7 bis 10 cm langer Eisendraht sein muß, damit er von dem ungeschwächten Strom unserer Akkumulatorenbatterie bis zur Weißglut erhitzt wird, ohne aber durchzuschmelzen. Der Draht wird zu einer Schnecke zusammengebogen, wie Abb. 130 zeigt. Dann besorgen wir uns — bei einem Mechaniker wird das zu haben sein — ein kleines Stückchen Asbestpappe, von der wir ein rundes Scheibchen abschneiden,



Abb. 130. Drahtschnecke für den Zigarrenanzünder.

das so groß ist, daß es unsere Drahtschnecke reichlich überdeckt. Ein zweites Scheibchen von derselben Größe muß durch Spalten möglichst dünn gemacht werden. Nunmehr richten wir uns einen runden Holzstab her von etwa 10 cm Länge und mit einem Durchmesser, der dem der Asbestscheibchen gleich ist. Ferner brauchen wir noch einen mit mehreren Löchern versehenen Ring aus Messingblech, dessen äußerer Durchmesser ebenfalls gleich dem der Scheibchen und dessen innerer etwas größer als der der Drahtschnecke ist. Auf die eben abgefeilte Stirnseite des Holzstabes wird zuerst

die dicke Asbestscheibe gelegt, dann die Drahtschnecke so, daß ihre Enden a und b (Abb. 130) rechts und links heraussehen, darauf kommt die dünne Asbestscheibe, und schließlich wird das Ganze durch Aufnageln des Messingringes zusammengehalten. Die freien Drahtenden löten wir an zwei dicken isolierten Kupferdrähten an; diese führen wir in Rinnen, die in den Holzstab geschnitten werden, nach dessen unterem Ende, wo sie an zwei Klemmschrauben enden. Den einen dieser Drähte können wir auch durch eine Kontaktfeder ersetzen, deren Befestigung aus der den ganzen Apparat darstellenden Abb. 131 hervorgeht. Wird ein hinreichend starker Strom durch die Drahtschnecke geleitet, so fängt diese an zu glühen, und dadurch wird auch die dünne Asbestscheibe glühend, an welcher dann die Zigarre angezündet werden kann. — Für die Drahtschnecke Platin- draht statt Eisendraht zu verwenden, ist, von dem hohen Preis des Platins abgesehen, natürlich weit vorteilhafter.

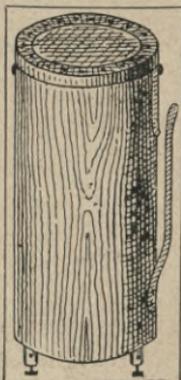


Abb. 131. Der Zigarrenanzünder.

Schluss.

Zum Schluß seines Vortrages erklärte Rudi noch kurz das wichtigste vom Akkumulator und vom Telephon. Bei der Erklärung des Akkumulators führte er ein einfaches Experiment aus: Er stellte in ein mit verdünnter Schwefelsäure (1 : 10) angefülltes Standglas zwei Bleiblechstreifen, die er kurz vorher mit einem Messer blank geschabt hatte. Durch diese Zelle leitete er den Strom von zwei Akkumulatoren, worauf die eine der Platten sich bräunte, die andere ihren Glanz verlor und grau wurde. Bevor er die Bleiplatten an den Akkumulator angeschlossen, brachte er sie mit dem Vertikalgalvanoskop in Verbindung, welches keinen Strom anzeigte; nachdem dann die eine Platte stark gebräunt war, tat er dasselbe nochmals, wobei nun die Nadel des Instrumentes so weit ausschlug, als es ihr möglich war.

Endlich sprach Rudi noch über das Telephon. Dieser Apparat wird im nächsten Vortrag ausführlich behandelt werden.



Schon im dritten Vortrag haben wir die grundlegenden Begriffe über Induktionsströme und ihr Entstehen kennen gelernt. In diesem Vortrage nun behandelte Rudi die schwierigeren Induktionserscheinungen, nämlich die Selbstinduktion und die Wirbelströme.

Wir haben gesehen, daß, wenn wir in einer hohlen Drahtspule eine zweite von einem Strome durchflossene

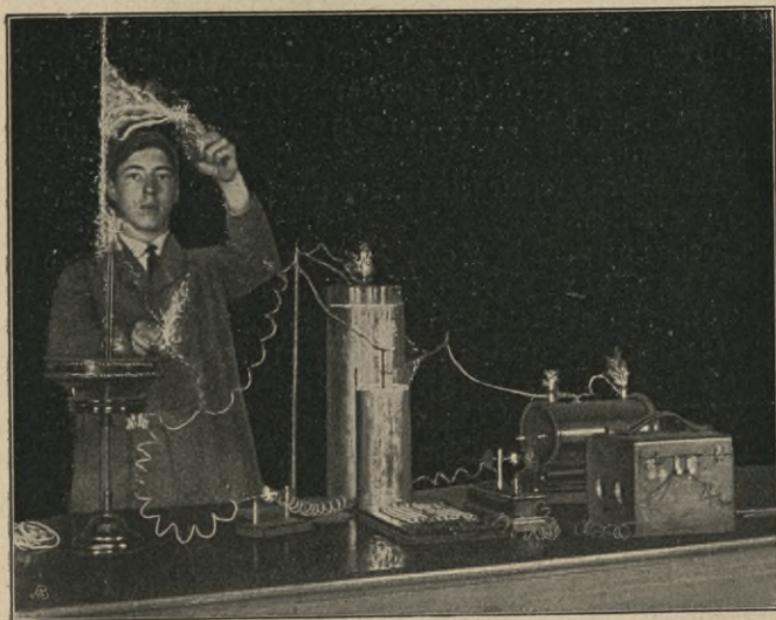


Abb. 132. Rudi mit den Vorversuchen für seinen Vortrag: „Wechselströme höherer Frequenz“ beschäftigt.

bewegen, in der äußeren Ströme induziert werden, deren Richtung wir mit Hilfe der Maxwell'schen Regel (Seite 146)

bestimmen können, wobei es natürlich einerlei ist, ob die induzierte Spule die äußere und die induzierende die innere ist, oder umgekehrt. Wir wollen nun auch noch sehen, wie sich die elektromotorische Kraft des induzierten (sekundären) Stromes zu der Intensität des induzierenden (primären) Stromes und der außerdem noch mitwirkenden Größen verhält.

Regeln zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft des Induktionsstromes.

1. Je stärker der induzierende Strom

(oder Magnet) ist, umso größer ist unter sonst gleichen Verhältnissen die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes.

2. Je größer die Anzahl der Windungen des sekundären Stromkreises ist, umso größer ist die elektromotorische Kraft in diesem.

3. Je rascher die Entfernung des primären Stromes (oder Magneten) von der sekundären Spule geändert wird, oder je plötzlicher der primäre Strom geschlossen oder geöffnet wird, umso größer ist die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes.

Aus diesen drei Regeln können wir folgendes allgemeine Gesetz ableiten.

Je größer die Zahl der Kraftlinien ist, die während der Zeiteinheit in die mit Drahtwindungen erfüllte Flächeneinheit ein- oder austreten, umso größer ist die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes.

Selbstinduktion.

Schon im vorigen Vortrag wurde erwähnt, daß ein- und austretende Kraftlinien in jedem Leiter der Elektrizität, von welcher Beschaffenheit oder Gestalt er auch sei, Induktionsströme hervorrufen. Wird eine Drahtspule von einem Strom durchflossen, den wir abwechselnd öffnen und schließen, so werden in ihr die Kraftlinien, die eine der vielen Windungen aussendet, die benachbarten Windungen treffen und dadurch in diesen Induktionsströme hervorrufen. Es fließt also hier der induzierende und der induzierte Strom in einem und demselben Drahte. Dabei ist die Richtung des

induzierten Stromes, wie wir mit Hilfe der Maxwell'schen Regel feststellen können, beim Schließen des primären Stromes diesem entgegengesetzt, beim Öffnen mit ihm gleichgerichtet.

Diese Tatsachen können wir durch ein sehr einfaches Experiment erläutern. Wir verbinden den einen Pol einer Stromquelle mit einer Blechplatte, den anderen mit einem spitzen Nagel, den wir zur bequemeren Handhabung durch das vordere Ende eines Holzstabes geschlagen haben. Wir drücken abwechselnd den Nagel auf das Blech und heben ihn wieder ab. In dem Augenblick, in welchem sich die Spitze von dem Blech entfernt, können wir das Auftreten eines kleinen Funkenchens beobachten. Diese Erscheinung wird etwas verstärkt, wenn wir einen der Verbindungsdrähte, statt ihn ausgestreckt zu lassen, auf einen Bleistift aufwickeln; noch mehr verstärkt wird sie, wenn wir die Drahtspulen z. B. eines Elektromagneten in den Stromkreis einschalten. Der beim Schließen des Stromes entstehende Induktionsstrom ist, wie man auch schon an dem viel kleineren Funken erkennt, schwächer — da er dem Hauptstrom entgegenfließt — als der beim Öffnen entstehende. Die beim Schließen und Öffnen auftretenden Funken nennt man Schließungs- und Öffnungsfunken.

Diese Art von Induktion nennt man Selbstinduktion, die dabei auftretenden Ströme Extraströme. Sie entstehen nicht nur beim Öffnen und Schließen des Hauptstromes, sondern bei jeder Veränderung in seiner Stärke oder Richtung.

Wirbelströme. Wir wollen jetzt sehen, wie sich diese Ströme in Leitern verhalten, die nicht die Gestalt eines Drahtes haben, z. B. in den Eisenankern von Dynamomaschinen. Hier wären massive Eisenmassen der Induktionswirkung derartig stark ausgesetzt, daß die darin auftretenden Induktionsströme, die in diesem speziellen Fall Wirbelströme genannt werden, die größten Verluste verursachen würden, weil sich dabei die zur Drehung des Ankers aufgewandte Energie zum großen Teil statt in Elektrizität in Wärme verwandeln würde. Es werden deshalb bei größeren Maschinen die Anker nicht aus einem Stücke hergestellt, sondern quer zu der Richtung der Wirbel-

ströme unterbrochen, indem sie aus vielen dünnen Eisenblechplättchen, die durch Papierscheiben voneinander isoliert sind, zusammengesetzt werden.

Um zu zeigen, wie stark die Erwärmung von Leitern durch Wirbelströme werden kann, können wir uns einen

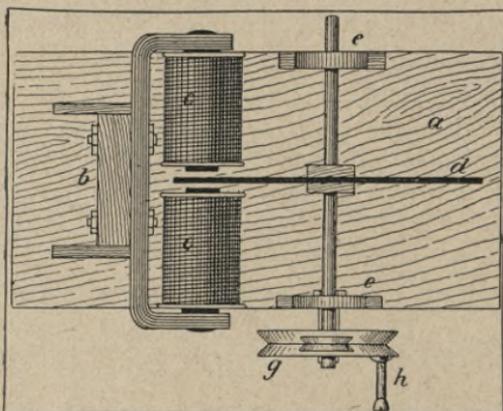


Abb. 133. Apparat zur Demonstration der Wirbelströme (von oben gesehen).

Apparat herstellen, den Abb. 133 von oben, Abb. 134 von der Seite zeigt. a ist ein starkes Grundbrett; auf diesem ist an dem Gestell b der starke Elektromagnet c befestigt. Die Form des Elektromagneten, dessen Pole

sich einander unmittelbar gegenüberstehen müssen, geht zur Genüge aus der Abbildung hervor. Es sei nur erwähnt, daß der die beiden Schenkel verbindende Bügel, da er ziemlich lang ist, recht stark fein muß. Die Polenden sollen 4 bis höchstens 5 mm voneinander abste-
hen. Zwischen den Polen soll sich der Rand einer 2 mm starken Kupferscheibe d bewegen. Wir können auch ein anderes Metall

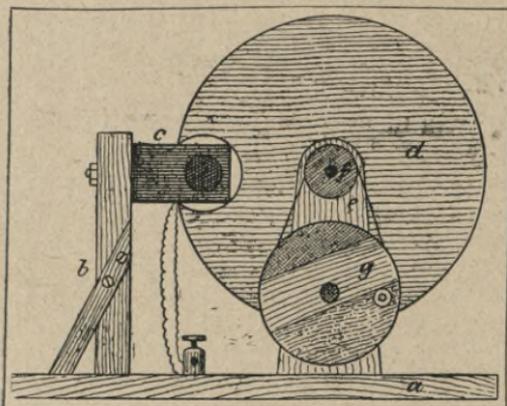


Abb. 134. Derselbe von der Seite gesehen.

verwenden als Kupfer, das ziemlich teuer ist. Aluminium ist neben Kupfer am geeignetsten (Eisen kann wegen

feiner magnetischen Eigenschaften nicht verwendet werden). Die Scheibe wird von einer Achse getragen, die in Lagern auf den beiden Lagerträgern (e) ruht. Die Lager sind wie üblich herzustellen (siehe Seite 22). An dem einen Ende der Achse wird eine kleine Welle (f) angebracht und darunter ein großes Übersetzungsrad (g), das mit einer Kurbel (h) versehen wird und um eine in dem Lagerträger befestigte Achse gedreht werden kann. Über das große und das kleine Triebrad wird eine starke Schnur oder ein runder Riemen gelegt, der sehr straff angespannt sein muß.

Schicken wir nun durch den Elektromagneten einen starken Strom und lassen die Scheibe rotieren, so werden wir zuerst wahrnehmen, daß die Scheibe unserer Kraft einen um so größeren Widerstand entgegensetzt, je rascher wir sie drehen wollen. Erhalten wir die Kupferscheibe längere Zeit in möglichst rascher Rotation, so wird sie sich so stark erhitzen, daß daraufgegoßenes Wasser laut zischend verdampft.

Dämpfung. Ein zweiter Versuch zeigt, daß diejenigen Ströme, die in einem sich in einem magnetischen Felde bewegendem Leiter entstehen, stets so gerichtet sind, daß sie diesen Leiter in der entgegengesetzten Richtung zu bewegen streben. Dieses Gesetz ist zuerst von Lenz ausgesprochen und nach ihm das Lenzsche Gesetz genannt worden. Um den Versuch auszuführen, nehmen wir die Schnur von dem Triebrad und der kleinen Welle herunter und versehen, bevor der Elektromagnet erregt ist, die Scheibe in rasche Rotation, indem wir das freie Achsenende zwischen Daumen und Zeigefinger drehen. Wir werden jetzt längere Zeit warten müssen, bis die Scheibe wieder zur Ruhe kommt; darauf drehen wir sie nochmals an und schließen dann den Strom, der den Elektromagneten erregt; fast sofort wird die Scheibe zur Ruhe kommen.

Diese Tatsache wird dazu benutzt, um die großen Schwingungszeiten der Nadeln von empfindlichen Meßinstrumenten zu dämpfen, indem die z. B. auf eine Drahtspule reagierenden Magnete sich zwischen massiven Kupfer-

platten bewegen müssen, in denen sie bei ihrer Bewegung Ströme induzieren, die sie — die Magnete — in entgegengesetzter Richtung zu bewegen bestrebt sind. Dadurch wird ein zu langes Hin- und Herschwingen verhindert.

Einfache Elektriermaschine.

Wir haben gesehen, daß in einer einfachen Drahtspule beim Öffnen und Schließen des Stromes Induktionsströme entstehen, die so hoch gespannt sind, daß sie sogar einen kleinen Luftwiderstand unter Bildung eines Funkens überwinden können. Daß ein solcher Strom, wenn er durch den menschlichen Körper geleitet wird, in diesem deutlich gefühlt werden muß, ist ziemlich klar.

Wir wollen nun sehen, wie wir eine einfache elektrische Klingel als Elektriermaschine gebrauchen können. Wir verbinden die Klingel unter Einschalten eines Kontaktknopfes wie üblich mit einer Stromquelle. Um unnötiges Geräusch zu vermeiden, stopfen wir die Glockenschale mit

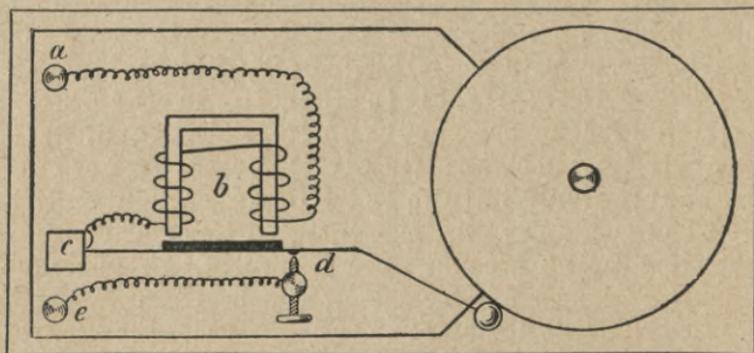


Abb. 135. Schema einer elektrischen Klingel.

Papier aus. Die Stellschraube an der Kontaktfeder stellen wir so, daß der Hammer sich möglichst rasch hin und her bewegt. Betrachten wir das Schema einer elektrischen Klingel in Abb. 135, so fließt der Strom von der Klemme a durch die Windungen des Elektromagneten b nach c und durch die Feder und den Anker zur Kontaktspeize d, von wo er über e zur Batterie zurückkehrt. Wird nun der Anker angezogen und dadurch der Strom unterbrochen, so entsteht bei d ein Öffnungsfunk; in diesem

Augenblick muß also die Spannungsdifferenz zwischen c und d sehr groß gewesen sein. Schließen wir den Strom, so daß der Hammer ständig hin und her schwingt, und berühren wir mit der einen Hand c , mit der anderen d , so wird der Öffnungsstrom lieber den geringeren Widerstand unseres Körpers als den großen Luftwiderstand bei d überwinden und deshalb zum größten Teil unseren Körper durchfließen.

Wir können uns, um nicht immer c und d anfassen zu müssen, aus zwei Messingrohrstücken Hanteln machen. An dem einen Ende des Rohres löten wir einen etwa 1 m langen isolierten Kupferdraht fest und treiben auf der gleichen Seite einen Holzzapfen, der als isolierender Griff dienen soll, in die Röhre. Die freien Enden der Drähte werden dann mit c und d verbunden. Wollen wir für weitere Versuche die Stärke des elektrifizierenden Stromes verändern, so müssen wir den Hauptstrom entsprechend regeln.

Der Induktionsapparat.

Der einfache Induktionsapparat dient dazu, Ströme niederer Spannung in solche hoher Spannung umzuwandeln. Man kann deshalb auch einen derartigen Apparat als Transformator bezeichnen.

Im wesentlichen kennen wir den Apparat schon aus dem vorigen Vortrag. Er besteht aus einer inneren Drahtspule mit wenig Windungen eines dicken Drahtes und aus einer äußeren mit sehr viel Windungen eines dünnen Drahtes. Da, wie wir gesehen haben, die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes mit von der Zahl der Kraftlinien abhängt, die ihn erzeugen, so wickeln wir den inneren, den primären Draht auf einen Eisenkern auf. Damit in diesem keine schädlichen Wirbelströme auftreten können, fertigen wir ihn nicht aus einem massiven Stück, sondern setzen ihn aus einzelnen Drahtstücken zusammen. Wir verwenden geglühten, oxydierten Eisendraht von 0,5 bis 1,5 mm Stärke. Bevor wir den Draht in einzelne Stücke zerschneiden, müssen wir ihn strecken, da sonst, wenn die Stäbchen verbogen und verbeult sind, in dem Kerne unnütze Hohlräume entstehen. Zu diesem Zwecke befestigen wir in einem langen Zimmer oder im Korridor etwa an

einer Türklinke das eine Drahtende; am anderen Ende des Raumes wickeln wir den Draht einige Male um einen etwa fingerstarken Holzstab und ziehen nun, den Stab mit beiden Händen umfassend, so lange und so stark an dem Draht, bis er an irgend einer Stelle reißt. Man ziehe vorsichtig, daß man beim Reiß nicht zu Boden stürze. Den nun völlig geraden Draht läßt man ausgestreckt am Boden liegen und schneidet ihn hier in die einzelnen Stäbchen auseinander. Diese werden mit dünner Schellacklösung bestrichen, nach dem Trocknen zu einem Bündel zusammengelegt und fest mit Leinenfaden in regelmäßig aneinanderliegenden Windungen umbunden.

Unmittelbar auf den Eisenkern, der auf beiden Seiten höchstens 0,5 mm frei bleiben soll, wird der primäre Draht in zwei bis vier Lagen (genaueres über Drahtmaße siehe Seite 134 u. f.) und in einer Stärke von 0,8 bis 2 mm möglichst regelmäßig aufgewunden. Das Anbringen von Randscheiben ist gänzlich überflüssig und hindert nur nachher beim Wickeln der sekundären Spule.

Nachdem die Enden des primären Drahtes durch Anbinden vor dem Aufrollen bewahrt sind, wird die Spule mit zwei bis drei Lagen eines starken in Schellack getränkten Papiers umgeben. Der Rand der Papierhülle soll auf beiden Seiten genau mit der untersten Drahtlage abschneiden.

Sobald der Schellack getrocknet ist, können wir mit dem Wickeln der sekundären Spule beginnen. Am geeignetsten ist ein möglichst dünner mit Seide umspinnener Kupferdraht. Verwenden wir einen mit Baumwolle isolierten Draht, so muß dieser während der Bewickelung mit Schellacklösung bestrichen werden. Die einzelnen Windungen müssen sauber und genau nebeneinander gelegt und jede Lage muß, bevor die nächste darüber gewickelt wird, mit einem dünnen, in Schellack oder heißes Paraffin getauchten Papier umgeben werden. Alle Lagen sollen gleichviel Windungen haben, damit sie alle gleich lang sind. Die dazwischen gelegten Papiere sollen auf jeder Seite 1 mm über die äußerste Windung hinaussehen. Sollte beim Wickeln der Draht reißen, oder werden von vorne-

herein mehrere Drähte verwendet, so dürfen die Verbindungsstellen, die zu verlöten sind, nicht mitten in der Lage sein, sondern sind an ihren äußersten Rand zu verlegen. Wir müssen also den Draht, wenn er nicht zufällig aufgeht, da abschneiden, wo er eine Lage beendet hat. Bei kleinen Apparaten, an die wir keine großen Anforderungen stellen, braucht dieser Umstand nicht berücksichtigt zu werden, und man kann den Draht sparen.

Die Spulmaschine.

Das Bewickeln führt man am besten mit der Hand aus. Es ist ein zeitraubendes und mühsames Geschäft, namentlich wenn der Draht sehr dünn ist; wir können es aber, die nötige Geduld vorausgesetzt, mit der Hand pünktlicher machen, als mit einer

Spulmaschine, die freilich den großen Vorteil der Zeitersparnis für sich hat. Abb. 136 zeigt eine solche Einrichtung.

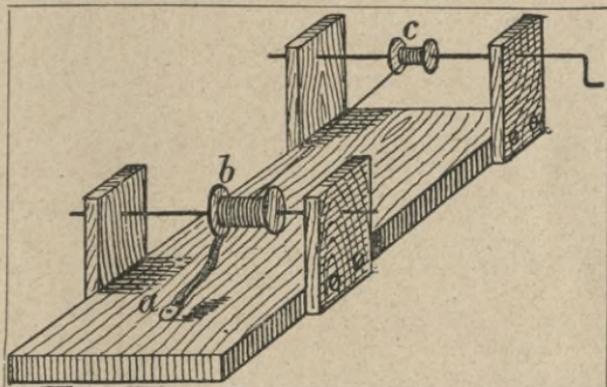


Abb. 136. Spulmaschine.

Die Spule, auf die wir aufwickeln, ist mit *c* bezeichnet und sitzt fest auf einer aus starkem Eisendraht hergestellten Kurbel. *b* ist die Rolle, von der der Draht abgenommen wird; damit er immer straff gespannt bleibt, wird *b* durch die Feder *a* gehemmt. Je breiter die Spule *c*, desto größer muß ihr Abstand von *b* sein.

Ist auch die sekundäre Spule fertig gewickelt, so werden ihre beiden Drahtenden vorläufig in der Mitte über der Rolle zusammengedreht. Dann können die Randscheiben aus dünnem Holz oder aus schellackierter Pappe angebracht werden. Diese Scheiben sitzen an den freien Enden des Drahtkernes fest auf. Der etwa noch vor-

handene Zwischenraum zwischen ihnen und der Spule wird mit Paraffin ausgegossen. Ist dies erkaltet, so umgeben wir die ganze Rolle mit einer Schutzhülle aus Karton, die mit den Randscheiben abschneidet. Die Enden des die Hülle bildenden Kartonstreifens werden zusammengeleimt oder durch Umwickeln mit einer Lage Bindfaden zusammengehalten. Die Drahtenden der sekundären Spule werden durch zwei Löcher in der Kartonhülle herausgeleitet.

In zwei quadratische Brettchen sägen wir je einen runden Ausschnitt, der gerade so groß ist, daß wir die fertige Spule hindurchschieben können. Auf einem Grundbrett von passender Größe werden diese beiden Brettchen so befestigt, daß die durch die beiden Löcher geschobene und hier angeleimte Spule auf beiden Seiten etwa 1 cm frei herausragt. Auf den beiden Brettchen bringen wir zwei Klemmschrauben an, mit denen wir die freien Enden des sekundären Drahtes verbinden.

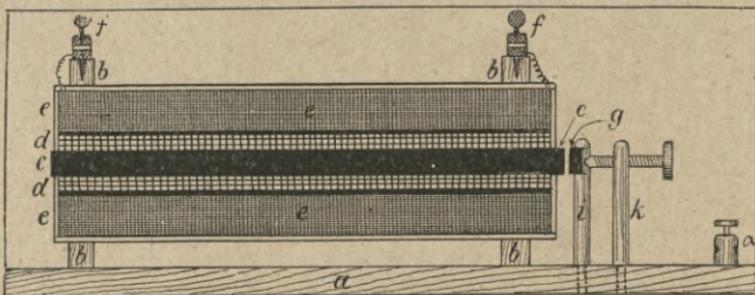


Abb. 137. Schnitt durch einen einfachen Induktionsapparat.

Die Abb. 137 und 138 veranschaulichen diese Anordnung im Schnitt und im Grundriß. a zeigt das Grundbrett, b die quadratischen Brettchen, in deren runden Löchern die Spule ruht. c ist der Eisenkern, d die primäre, e die sekundäre Wickelung und mit f sind die beiden Klemmen bezeichnet.

Daß wir Induktionsströme erzeugen können, indem wir den primären Strom abwechselnd schließen und öffnen, haben wir bereits gesehen. Wir bringen deshalb an unserem Apparat eine Vorrichtung an, die die Unterbrechung in regelmäßigen, sehr rasch aufeinanderfolgenden Intervallen selbsttätig ausführt. Eine solche Einrichtung kennen

wir schon von der elektrischen Klingel her (Seite 113). Die von der Klingelkonstruktion kaum abweichende Form des Unterbrechers an unserem Induktionsapparat ist aus den beiden Figuren zu erkennen: *g* ist ein Eisenanker, der an der Feder *h* angelötet ist; letztere ist an der Messing-säule *i* so befestigt, daß *g* gerade vor dem Eisendrahtkern steht, und zwar in einem Abstände von 2 bis 3 mm. *k* ist

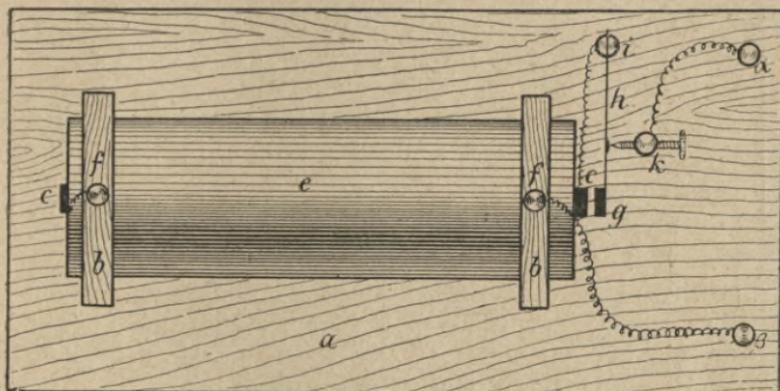


Abb. 138. Einfacher Induktionsapparat von oben gesehen.

die in einer Messingsäule verschraubbare Stellschraube, die mit einer Kontaktspitze aus Platin versehen ist. Wie die Enden des primären Drahtes mit den Klemmen *a* und *β* verbunden werden, ist aus der Abb. 138 ersichtlich.

Bei diesem Apparat können wir die Stärke des Induktionsstromes nicht unmittelbar regeln. Da es jedoch oft von Vorteil ist, diese je nach Bedarf ändern zu können, so sei weiterhin noch eine andere Form der Elektrifiziermaschine beschrieben, die auch für die Ausführung der oben schon beschriebenen Versuche (Seite 137 u. f.) sehr praktisch ist. Der Hauptunterschied gegenüber dem zuvor angeführten Apparat besteht darin, daß die sekundäre Spule beweglich ist. In Abb. 139 bezeichnen die gleichen Buchstaben wieder die gleichen Teile wie in den beiden vorhergehenden Abbildungen. Der Eisenkern *c* ist nach rechts 1,5 bis 2 cm länger als die primäre Spule *d*, mit der er links eben abschneidet. Er ist in dem starken Brettchen *b* so befestigt, daß er mit seiner

Bewickelung nach links hinausragt. Die sekundäre Spule *e* wird auf eine Kartonhülle aufgewickelt, die glatt über *d* paßt. Sie wird wie oben mit Randscheiben und einer Schutzhülle aus Karton versehen und auf dem Brettchen *l* angeleimt, das so dick ist, daß, wenn es auf *a* aufliegt, die darauf befestigte sekundäre Spule über die primäre geschoben werden kann. Rechts und links von dem

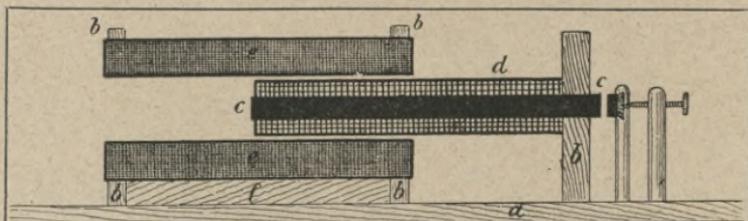


Abb. 139. Induktor mit verschiebbarer sekundärer Rolle.

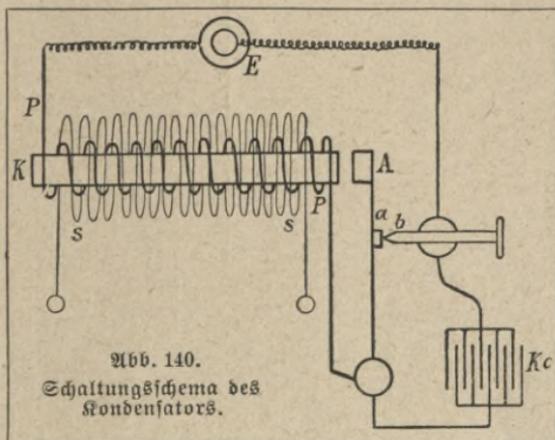
Brettchen *l* sind Leisten auf *a* anzunageln, damit es in der dadurch entstandenen Rinne Führung hat und ohne Beschädigung der Spulen hin und her geschoben werden kann. Der Unterbrecher wird hergestellt, wie oben schon beschrieben.

Es ist klar, daß der Induktionsstrom umso schwächer wird, je weiter wir die sekundäre Spule herausziehen; wir können also durch ihr Hin- und Herschieben die Stärke des sekundären Stromes ohne Abänderung des primären regeln.

Schrauben wir die Stellschraube des Unterbrechers so weit nach vorn, daß der Anker am Eisenkern fest anliegt, so kann keine Unterbrechung des Stromes mehr stattfinden. Bewegen wir jetzt die sekundäre Spule hin und her, so erhalten wir, wie wir schon im dritten Vortrag (Seite 137 u. f.) sahen, ebenfalls Induktionsströme.

Der Funkeninduktor. Wir wissen, daß die Spannung des Induktionsstromes mit von der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher der erregende Strom unterbrochen wird. Ferner wissen wir, daß an der Unterbrechungsstelle jeweils ein Funke auftritt, wenn der Strom geöffnet wird. Das Auftreten des Funkens zeigt uns aber, daß der Strom nicht plötzlich unterbrochen wird, das heißt nicht in der kurzen Zeit von seinem normalen Wert auf 0

herabsinkt, in der die tatsächliche Trennung des Leiters erfolgt, sondern daß er infolge der Selbstinduktion den Luftzwischenraum anfangs überwindend, nur allmählich schwächer wird, bis er ganz unterbrochen ist. Wollen wir also die Wirkung eines Induktionsapparates verstärken, so müssen wir danach trachten, den Funken an der Unterbrecherstelle möglichst zu verkleinern. Wir betrachten das Schema Abb. 140, in welchem K den Eisenkern, P die primäre, s die sekundäre Wickelung, E die Stromquelle, A den Eisenanker und



a b die Unterbrecherstelle bezeichnet. Wenn wir den zwischen a und b entstehenden Funken verkleinern wollen, so müssen wir die Spannungsdifferenz dieser Punkte verringern, was wir dadurch erreichen, daß wir ihre Kapazität vergrößern,

indem wir einen Kondensator (K_0) an sie anschließen, wie das auf der Abb. 140 zu ersehen ist. Der Kondensator muß eine große wirksame Fläche haben und wird deshalb aus einzelnen Stanniolblättern hergestellt, die durch Papier voneinander isoliert sind. Er wird in einem Kasten untergebracht, der zugleich die Grundlage für die Induktorrolle bildet, und von der Größe dieser hängen auch die Maße des Kastens ab. Die isolierenden Papierblätter schneiden wir aus nicht zu dünnem Seidenpapier (oder dünnem Paraffinpapier) so groß, daß sie mit etwa 0,5 cm Spielraum in dem Kasten Platz finden. Die Stanniolblätter müssen 1 bis 2 cm kleiner sein, als die Papiere und auf einer Seite einen 4 bis 5 cm langen Fortsatz haben (siehe Abb. 141). Um die Isolier-

Der Kondensator.

fähigkeit der Seidenpapiere zu erhöhen, werden sie in Schellacklösung gebadet. In ein flaches Gefäß, etwa eine hinreichend große Entwicklungschale, wie sie in der Photographie gebraucht werden, gießen wir den Schellack. Die zugeschnittenen Seiden-

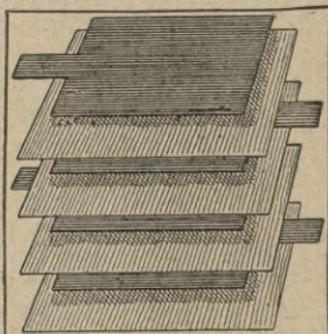


Abb. 141. Pake der Stanniolblätter mit ihren Anfängen.

papiere werden dann einzeln durch die Lösung durchgezogen und mit je zwei Stecknadeln an einer ausgespannten Schnur zum Trocknen aufgehängt. Danach werden die Stanniolblätter, durch die schellackierten Papiere voneinander getrennt, so aufeinandergelegt, daß beim ersten der Fortsatz nach rechts, beim zweiten nach links, beim dritten wieder nach rechts u. s. w. herausragt, wie dies in Abb. 141

zu sehen ist. Den fertigen Kondensator zeigt Abb. 142A. Um die Fortsätze der Stanniolblätter fest zusammenzuhalten und gut mit einem Draht verbinden zu können, biegen wir uns aus Messingblech eine Klammer a (Abb. 142B) und versehen sie mit

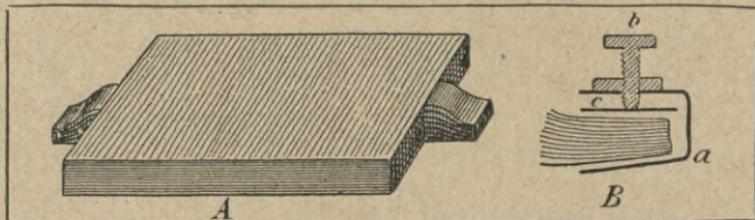


Abb. 142. Der fertige Kondensator.

einem Muttergewinde und einer Schraube b. Damit sich letztere beim Zusammenklemmen der Fortsätze nicht in das Stanniol einbohrt, wird das Blechstückchen c dazwischen gelegt.

Da der Kondensator aber nicht nur die Unterbrecherfunken abzuschwächen, sondern auch oszillatorische Schwingungen zu erzeugen hat, muß die Größe seiner Kapazität in einem bestimmten Verhältnis zu der Größe des ganzen Apparates stehen; die günstigste Bemessung findet man, wenn man zuerst nur wenig Blätter in den Kondensator legt und die damit er-

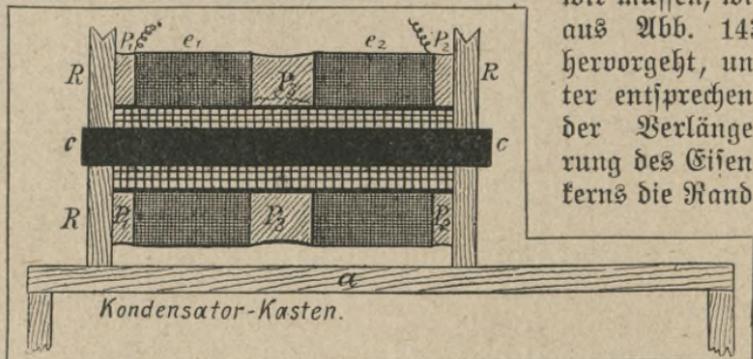
zielte Funkenlänge des Induktors mißt. Darauf legt man einige Blätter mehr ein und mißt — natürlich unter sonst gleichen Bedingungen — wieder die Funkenlänge. Ist sie größer geworden, so legt man noch mehr Blätter ein u. s. f. bis die Länge der Funken wieder abnimmt. Als Anhaltspunkte mag folgendes dienen: nehmen wir an, die Länge der Stanniolblätter verhielte sich zur Breite wie $\frac{3}{5}$ zu $\frac{2}{5}$ und sie seien jeweils so lang wie die Induktorrolle, so mögen für kleine Apparate 30 bis 40 Blätter genügen, für größere wird sich deren Zahl auf 200 bis 250 belaufen. Wie der Kondensator einzuschalten ist, wurde oben schon besprochen.

Solche Induktionsapparate, die mit Kondensatoren versehen sind, nennt man Funkeninduktoren, da man ziemlich starke Funken mit ihnen erzeugen kann; häufig werden sie auch mit dem Namen ihres ersten Erbauers *Ruhmkorff* bezeichnet.

Je größer wir die Funkeninduktoren bauen, destomehr Sorgfalt ist auf die Isolierung der einzelnen Windungen und besonders der einzelnen Lagen zu verwenden. Denken wir uns einen Leiter, der gewissermaßen selbst elektromotorisch tätig ist, wie z. B. ein Element, so ist die Spannungsdifferenz zweier seiner Punkte um so größer, je weiter die Punkte von der Mitte entfernt sind (siehe Seite 106 u. f.). Ein solcher Leiter ist z. B. der sekundäre Draht eines Induktionsapparates. Ein Punkt des Drahtes in einer Lage ist von dem direkt über ihm liegenden Punkt des Drahtes in der nächsten Lage nur um einen Bruchteil eines Millimeters durch das jede Lage bedeckende Papier getrennt; da sich zwischen zwei solchen Punkten eine große Anzahl wirksamer Windungen befindet, so kann je nach der Größe des Apparates eine recht beträchtliche Potentialdifferenz zwischen diesen Punkten auftreten, die unter Umständen stark genug ist, die Isolierung zu durchschlagen und damit den Apparat sehr zu schädigen. Wir müssen deshalb bei Induktoren, deren Spulenmaße 10 bis 12 cm in der Länge und 5 cm im Durchmesser übersteigen, schon stärkeres Papier, das tüchtig mit Schellack oder heißem Paraffin zu bestreichen ist, zur Isolierung der einzelnen Lagen anwenden. Bei größeren Apparaten soll zur Isolierung ausschließlich reines Paraffin, das in sauberen Gefäßen flüssig zu machen ist, angewendet werden.

Sollen die Funkeninduktoren für eine Funkenlänge von zehn oder noch mehr Zentimeter gebaut werden, so genügt diese einfache Art der Isolierung auch nicht mehr. In diesem Falle müssen wir die Spule in zwei Teilen herstellen, die durch einen mehrere Zentimeter breiten Zwischenraum voneinander getrennt sind. Abb. 143 zeigt den Schnitt durch die Rolle eines solchen Apparates. Die Drahtenden der beiden Spulen e_1 und e_2 sind natürlich so miteinander zu verbinden, daß ein die Windungen durchfließender Strom den Kern stets in gleicher Richtung umkreist.

Ferner dürfen wir bei diesen größeren Induktoren die Befestigung der Spule nicht mehr in der oben beschriebenen Weise mit den Holzrähmchen (b) bewerkstelligen, sondern



wir müssen, wie aus Abb. 143 hervorgeht, unter entsprechender Verlängerung des Eisenkerns die Rand-

Abb. 143. Schnitt durch die Rolle eines Funkeninduktors.

scheiben R aus Holz herstellen. Sie müssen fest auf dem Kern aufsitzen und mindestens 5 mm von der Spule abstehen. Ihr Durchmesser sei um 2 cm größer als der der Spule.

Es müssen jetzt noch die Zwischenräume, die in Abb. 143 mit P bezeichnet sind, mit Paraffin ausgegossen werden. Wir legen um die Spule herum einen Kartonstreifen, der so groß ist, daß er beiderseits fest an den Randscheiben R anliegt, aber die Spule nicht ganz umschließt, sondern oben einen 1 cm breiten Spalt freiläßt, durch welchen das Paraffin in die Hohlräume P_1 , P_2 und P_3 eingegossen wird. Nach Erkalten des Gusses wird der Karton wieder entfernt, da bei diesen größeren Apparaten die Schutzhülle aus einem besser isolierenden Material hergestellt werden muß. Am

geeignetsten ist ein Überzug aus gutem Seidenstoff oder aus einer dünnen Hartgummiplatte, die in kochendem Wasser weich gemacht und dann solange als sie noch heiß und biegsam ist, um die Spule herumgelegt wird. Entlang der zusammenstoßenden Ränder der Ebonitplatte werden schon vor ihrem Erhitzen mit einem glühenden Nagel Löcher eingebraunt, durch die jetzt ein Seidenband genestelt wird, damit es die Hülle zusammenhält.

Wie schon erwähnt, bildet der Kasten, in dem der Kondensator untergebracht wird, zugleich die Grundlage für die Induktortorrolle.

Um dieser einen sicheren Halt zu geben, werden die hölzernen Randscheiben (R) auf der Unterseite etwas abgeflacht und von der Innenseite des Kastens angeschraubt. Für sehr große und schwere Apparate dürfte sich die in Abb. 144 dargestellte Befestigungsart am meisten empfehlen.

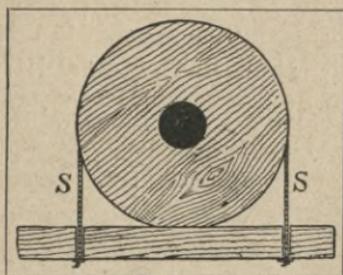


Abb. 144. Befestigung der Induktortorrolle.

Die Randscheiben erhalten auf ihrem Umfange eine Furche, wie auch auf Abb. 143 ersichtlich, durch die eine starke Saite läuft (S in Abb. 144); diese geht durch entsprechende Löcher in dem Deckel (a) des Kastens hindurch und wird innen verknotet.

Isoliermethode bei grösseren Induktoren.

Für Apparate, die Funken von 15 cm Länge und mehr liefern sollen, genügt es nicht, die sekundäre Wicklung in zwei oder vielleicht auch drei Spulen zu trennen, sondern wir müssen uns etwa 20 bis 30 einzelne ganz flache Spulen herstellen, die die Form von Scheiben mit einer Dicke von 0,5 bis 1 cm und einen Durchmesser von 8 bis 16 cm haben. Zum Wickeln der Scheiben müssen wir uns eine besondere Einrichtung herstellen. Zuerst fertigen wir auf der Drehbank eine Holzwalze, deren Durchmesser gleich dem der mit starkem Papier umwickelten primären Spule ist. Zwei Holzscheiben, die je auf einer Seite völlig eben sein müssen — man stellt sie am besten auf der Drehbank her — sind in der Mitte durchbohrt, so

daß sie knapp passend auf die Holzwalze aufgeschoben werden können. Jetzt schneiden wir uns einen Kartonstreifen, der 5 mm breit und so lang ist, daß seine Enden, wenn er um die Holzwalze herumgelegt wird, gerade zusammenstoßen. Mit einem Papierstreifen leimen wir die Enden des Kartons zusammen und achten darauf, daß dieser selbst nicht an der Walze kleben bleibt. Dann werden die beiden Scheiben von rechts und links auf die Walze geschoben, so daß der Kartonring zwischen sie zu liegen kommt; die Scheiben werden fest an ihn angepreßt und mit ein paar in die Walze geschlagenen Nägeln oder mit Klammern festgehalten. Vorher mußten wir jedoch noch in jede Scheibe möglichst nahe des mittleren großen Loches ein kleines von

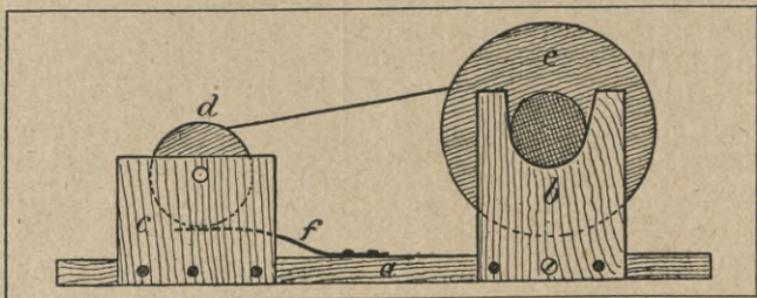


Abb. 145. Spulmaschine für den Funkeninduktor.

1 bis 2 mm Weite bohren. Bevor wir die zweite Scheibe auf die Holzwalze schieben, führen wir das Ende des aufzuwindingenden Drahtes durch dieses kleine Loch, so daß ein Stück von etwa 10 cm Länge herausragt und mit einem Reißnagel an der Holzwalze befestigt werden kann. Die Spulmaschine ist ähnlich herzustellen wie die auf Seite 165 abgebildete; die abgeänderte Einrichtung ist aus Abb. 145 zu erkennen, wo mit a das Grundbrett, mit b das Lagerbrett, das oben mit einem Einschnitt für die Holzwalze versehen ist, mit c der Träger der Spule d, von der der Draht abgenommen wird, mit e die Holzscheibe, und mit f die an d schleifende Bremsfeder bezeichnet ist. Eine Kurbel ist überflüssig, da wir die dicke Holzwalze bequem selbst anfassen und drehen können.

Wenn wir mit dem Bewickeln beginnen wollen, so

stellen wir auf einen Spiritusbrenner ein Gefäß mit siedendem Paraffin hart neben die Spulmaschine und richten uns einen Pinsel her, der so schmal und lang ist, daß man mit ihm zwischen den beiden Holzscheiben bis auf die Holzwalze reichen kann. Mit diesem Pinsel tragen wir Paraffin auf den zwischen den Scheiben liegenden Ring auf, doch nicht zu viel, damit die Unterlage für die erste Wicklung nicht uneben wird. Jetzt beginnen wir mit dem Aufspulen des Drahtes. Jede Lage, die aus 20 bis 30 Windungen bestehen wird, soll mit einer dünnen Schicht von heißem Paraffin überstrichen werden. Nach jeweils fünf oder sechs Lagen, so lange die Windungen dem Kern noch nahe und somit klein sind, bei den mittleren Windungen nach je drei, bei den äußersten nach je einer Lage, schalten wir einen Streifen dünnen, paraffinierten Papiers ein.

Wie aus Abb. 150 zu ersehen ist, soll der Durchmesser der nach den Spulenenden zu liegenden Scheiben kleiner sein, als der der in der Mitte liegenden. Ist eine Spule fertig gewickelt, so wird zuletzt noch soviel Paraffin aufgestrichen, daß die oberste Drahtlage noch 1 mm hoch überdeckt ist.

Sollten sich während des Bewickelns durch das Bestreichen mit Paraffin Unebenheiten einstellen und die einzelnen Windungen nicht mehr genau nebeneinander legen lassen, so braucht uns das weiter keine Sorge zu machen; wir wickeln dann regellos unter reichlicher Zugabe von Paraffin einige Lagen auf, winden einen paraffinierten Papierstreifen mehrmals darüber, wickeln wieder einige Lagen, schalten wieder Papier ein und so fort. Das sorgfältige, regelmäßige Wickeln hat nur den Vorteil einer geringen Raumersparnis, den wir mit einem recht beträchtlichen Zeitverlust ziemlich teuer bezahlen müssen. Bei schlecht isolierten Drähten, z. B. solchen, die nur einmal mit Baumwolle umspunnen sind, ist es freilich doch sehr zu empfehlen, die Bewickelung möglichst regelmäßig auszuführen, da sich sonst einige Kurzschlußstellen bilden und bei größerer Zahl dem Apparat recht schädlich werden könnten.

Nach Erkalten des letzten Paraffingusses werden die Holzscheiben entfernt. Sollte dies mit Schwierigkeiten verbunden

sein, so kann man durch Beklopfen mit dem Hammer etwas nachhelfen. Dem Übelstande des Haftensbleibens können wir auch dadurch vorbeugen, daß wir die Innenseiten der Holzscheiben mit passenden, in Schellacklösung getränkten und gut getrockneten Papierscheiben belegen. An der Spule bleibt dann das Papier haften, während sich das Holz leicht löst; aber auch das Papier muß dann wieder sorgfältig, eventuell durch Beseuchten mit reinem Alkohol entfernt werden.

In dieser Weise werden alle Spulen hergestellt. Dabei ist aber auf eines besonders zu achten. Bei der einen Hälfte aller Drahtscheiben beginnen wir mit der ersten Windung auf der rechten Seite, lassen also das Drahtende zu dem kleinen Loch der rechten Scheibe heraussehen und hören mit der letzten Windung auf der linken Seite auf; diese Spulen werden im folgenden mit I bezeichnet. Bei den Spulen der anderen Hälfte, die mit II bezeichnet sind, beginnen wir links und hören rechts auf.

Es handelt sich nun darum, alle die einzelnen Spulen auf die primäre Rolle aufzuschieben und ihre Drahtenden

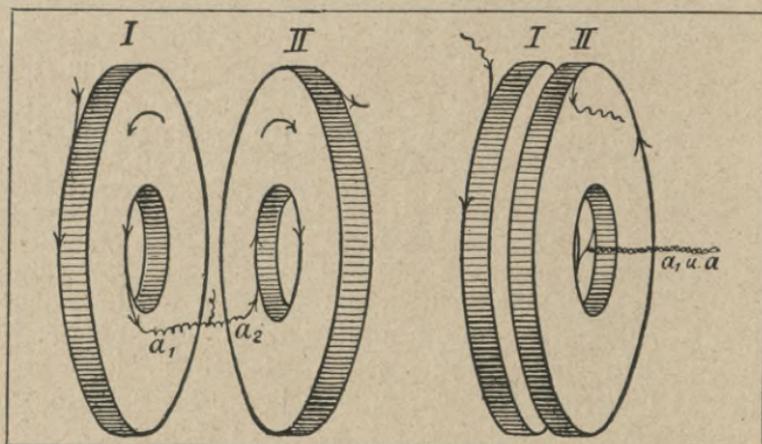


Abb. 146.

Abb. 147.

Verbindung der einzelnen Spulen.

in gute leitende Verbindung zu bringen. Wir legen je eine Spule I und eine Spule II so aufeinander (siehe Abb. 146), daß die inneren Drahtenden a_1 und a_2 , die

vorher vollständig von ihrer Isolierung befreit wurden, aufeinander zu liegen kommen; die Enden selbst führen wir, wie Abb. 147 zeigt, nach rechts zu dem Loch der Spule hinaus und drehen sie so weit fest zusammen, daß wir die Drahtscheiben nachher noch 3 bis 5 mm voneinander entfernen können. Darauf wird der überschüssige Draht abgeschnitten, so daß die zusammengedrehten Enden, die noch verlötet werden müssen, nur ein kleines Stümpfchen bilden. Letzteres wird mit einem kleinen Tropfen Lötwasser, das völlig säurefrei sein muß — man setze zur Vorsicht noch etwas Salmiaksalz zu — versehen; ein kleines Stückchen Lötzinn, das wir papierdünn gehämmert haben, wird auf die Drahtenden gelegt und mit einem 3 bis 4 mm dicken glühenden, auf Salmiak von der Drydschicht gereinigten Kupferdraht berührt, worauf es zwischen den Drähten verfließt. Das verlötete Ende wird zwischen den Spulen so nach außen gerichtet, wie das aus Abb. 148 zu ersehen ist. In gleicher Weise werden sämtliche Spulen I und II miteinander verbunden, und dann die einzelnen Paare auf die primäre Rolle aufgeschoben, alle freien Drahtenden nach oben gerichtet. Jede der Spulen soll von der nächsten einen 3 bis 5 mm breiten Abstand haben, und die dadurch entstehenden Hohlräume müssen mit Paraffin ausgegossen werden, nachdem die hölzernen Randscheiben in der oben beschriebenen Weise befestigt wurden (Seite 172).

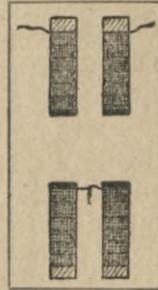


Abb. 148. Ver-
bindung zweier
Spulen.

Um diese Arbeit genau ausführen zu können, fertigen wir uns ein kammartiges Gebilde aus starkem Karton

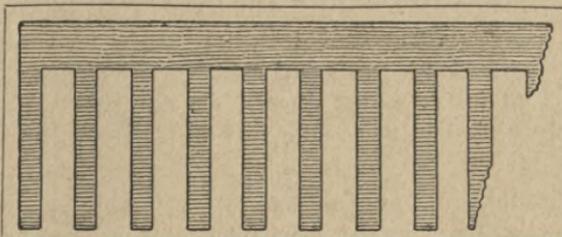


Abb. 149. Kartonkamm zum Einrichten der Spulen.

oder Pappendeckel (Abb. 149), dessen Zähne eine Breite von 5 mm und eine Länge haben, die gleich dem Durchmesser

der Drahtscheiben ist; die Zwischenräume zwischen den Zähnen sind gleich der Dicke der Drahtscheiben. Ferner richten wir uns einen Karton, der so groß ist, daß er, um die Rollen herumgelegt, an den hölzernen Randscheiben fest anliegt, aber oben nicht schließt, sondern einen zum Eingießen des Paraffins genügend breiten Spalt frei läßt. Bevor wir jedoch diesen Kartonmantel befestigen, legen wir die Zähne unseres Kammes zwischen die Drahtrollen, so daß alle genau in gleichem Abstände und parallel nebeneinander liegen. Dann erst wird der Karton herumgelegt und mit einer Schnur mehrfach fest umwickelt. Die Drahtenden müssen alle zu dem freigelassenen Spalt heraussehen. Jetzt kann der Kamm herausgenommen und das Paraffin eingegossen werden. Nach dem Erkalten des Gusses wird der Kartonmantel abgenommen, die freien Drahtenden werden verlötet und im übrigen wird verfahren, wie oben (Seite 172) schon beschrieben wurde.

Für größere Induktoren seien außer dem Gesagten noch einige besondere Winke gegeben. 1. Da das Verhältnis der sekundären Rollenlänge zur Länge des Eisenkernes mit der primären Wicklung nicht einerlei ist, so ist es ratsam, sich die im Verhältnis zur übrigen Arbeit kleine Mühe zu machen, etwa 3 bis 5 verschieden lange Primärrollen herzustellen. Die Sekundärspule wird dann am besten auf ein Hartgummi- eventuell auch Glasrohr aufmontiert, in das die Primärspulen gerade hineinpassen. Die beste Wirkung wird ausprobiert. Ist dann die größte oder die kleinste Spule die beste, so machen wir uns noch eine größere bzw. kleinere. Als Ausgang für die Bemessungen dienen die in Abb. 150 dargestellten Verhältnisse. (In Abb. 150 sind die einzelnen Scheiben der Deutlichkeit wegen dicker und daher in etwas geringer Anzahl gezeichnet.) Als Ergänzung für die allgemeine Tabelle auf Seite 182 dienen die folgenden Angaben speziell für die oben beschriebene Wicklungsart. Endlich muß bei solchen Apparaten die Isolation noch sorgfältiger hergestellt werden. Als isolierende Masse genügt auch hier reines Paraffin; besser ist es, wenn man 4 Teile Kolophonium schmilzt und darin 4 Teile Bienenwachs und 2 Teile Guttapercha löst. An Stelle des oben beschriebenen

Kartonmantels wird jetzt ein ganz geschlossener Blechmantel gelegt; die Längsnaht wird verlötet und gegen die Randscheibe mit Glaserkitt oder einer Mischung aus Asbest und Wasserglas abgedichtet. In dem Blechmantel müssen zwei Löcher vorgesehen sein; durch das eine wird die Isoliermasse eingegossen, wobei die Luft durch das andere Austritt findet. Ist der Raum, der in Abb. 150 schwarz angelegt ist, ganz

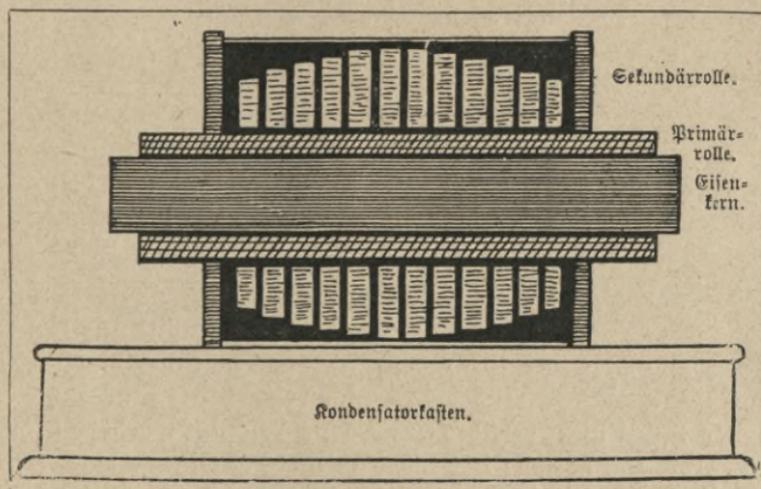


Abb. 150. Schematischer Schnitt durch einen großen Funkeninduktor.

ausgefüllt, so wird das eine Loch in dem Mantel mit einem Kork verschlossen; in das andere wird mit einem durchbohrten Kork ein Glasrohr angebracht, das man mit einer Wasserstrahlspumpe verbindet. Während man den Blechmantel möglichst gleichmäßig (durch eine größere Anzahl kleinerer Flämmchen) auf 115 bis 130°*) erhitzt, saugt man mit der Strahlpumpe die Luft ab. Das Verfahren soll 24 Stunden ununterbrochen fort dauern; es hat den Zweck, die sehr schädlichen Luftreste aus der Isoliermasse zu entfernen.

Die Klemmschrauben, an die die Drahtenden der sekundären Wicklung geführt werden, dürfen keine Kanten, sondern müssen, wie wir im ersten Kapitel schon sahen, möglichst runde Formen haben (siehe

*) Je nach Art der Masse, jedenfalls so weit, daß diese dünnflüssig ist.

Seite 44). Bei den größeren Apparaten ist es auch vorteilhaft, die Klemmen nicht auf die Randscheiben aufzuschrauben, sondern auf zwei Glasäulen zu befestigen, die wir neben der Induktorrolle in das Grundbrett eingelassen haben.

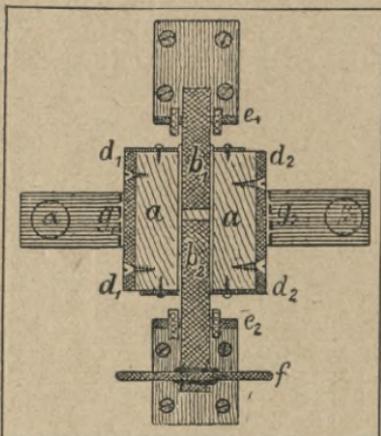


Abb. 151. Kommutator (Horizontalschnitt).

ander innen nicht berühren. Wie sie befestigt werden, geht aus Abb. 153 hervor: wir löten an b ein Messingscheibchen c an, das an a angeschraubt wird. Die eine Achsenhälfte (b_2) wird am Ende quer durchbohrt, und in dem Loch wird der dünnere Messingstift f , der als Griff dient, angelötet. Nun werden an a auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten die Kupferblechstreifen dangeschraubt;

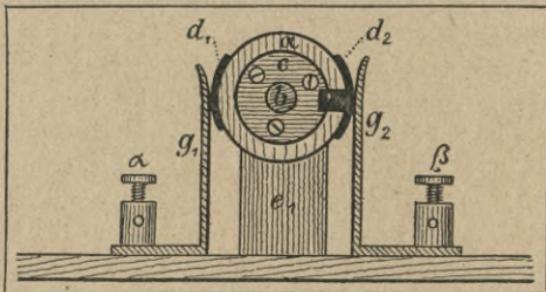


Abb. 152. Kommutator (Vertikalschnitt).

der Streifen d_1 wird mit b_1 und b_2 mit d_2 in leitende Verbindung gebracht. Die Lagerträger e fertigen wir aus starkem Messingblech und die Lager selbst, welche hier nicht geölt werden dürfen, in der bekannten Weise (Seite 22).

Ferner ist es vorteilhaft, auf dem Apparat noch einen Kommutator anzubringen; wir können ihn wie den auf Seite 101 beschriebenen herstellen. Geeigneter ist der im folgenden beschriebene Stromwender, der zugleich auch als Ausschalter dient. Eine Holzwalze a (Abb. 151 und 152) wird der Länge nach durchbohrt; zwei Achsenhälften b werden von rechts und links in die Bohrung hineingeschoben, dürfen aber ein-

Zwei kupferne Schleiffedern g werden so auf dem Grundbrett angeschraubt, daß sie rechts und links an der Walze a schleifen. Jetzt verbinden wir e_1 mit der Kontaktspitze des Unterbrechers und e_2 mit dem freien Ende der primären Wickelung durch dicke Kupferdrähte oder Kupferblechstreifen. Die Verbindungsstellen sind zu verlöten. Auf den Federstreifen e_1 und e_2 ist je eine Klemmschraube (α und β) anzulöten. Steht nun die Walze a wie in Abb. 151, so tritt der Strom bei α ein und geht durch d_1 , b_1 nach e_1 , durch den Unterbrecher in den Apparat und

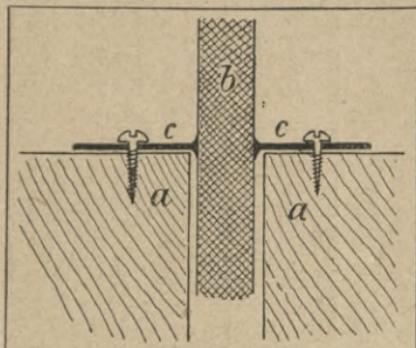


Abb. 153. Befestigung der Achse des Kommutators.

kommt durch e_2 , b_2 , d_2 und β zurück. Drehe ich a um 90° , so ist der Strom ausgeschaltet; drehen wir in der gleichen Richtung nochmals um 90° , so geht der Strom von α zuerst nach d_2 , e_2 und kommt durch e_1 , d_1 nach β zurück, durchfließt also den Apparat in umgekehrter Richtung wie vorhin.

Drahtmasse für Induktionsapparate.

Bei einfachen Elektrifiziermaschinen brauchen wir uns an keine bestimmten Verhältnisse der Bewickelungen zu halten; es gilt hier ganz allgemein: primäre Spule aus wenig Windungen eines dicken Drahtes, sekundäre Spule aus viel Windungen eines dünnen Drahtes.

Bei der Herstellung von Funkeninduktoren halte man sich an die folgenden Tabellen Seite 182 und 183.

Unterbrecher.

Bei kleineren Apparaten bis zu 4 cm Funkenlänge reicht der gewöhnliche Unterbrecher aus. Auch für größere Induktoren, bis zu 15 cm Funkenlänge, genügt diese Konstruktion, nur müssen dann die Kontakteile des Unterbrechers aus ziemlich starken Platinstücken bestehen. Auch können wir, da bei den dicken Induktorrollen der Eisenkern ziemlich hoch liegt, die Feder

Masse für einfachere Funkeninduktoren

Funkenlänge mm	Primäre Rolle		Sekundäre Rolle			Nötige Stromspannung Volt
	Drahtstärke mm	Zahl der Lagen	Drahtstärke mm	Drahtlänge m	Drahtgewicht ca. kg	
1 bis 10	0,8 bis 1	2	0,1	400 bis 800	—	etwa 2 bis 5
10 bis 50	1 bis 1,3	2 oder 3	0,1	1000 bis 7000	—	etwa 5 bis 7
50 bis 100	1,3 bis 1,7	3	0,1 bis 0,2	7000 bis 15 000	0,75 bis 1,5 (bei 0,1 mm) 2,5 " 5 (" 0,2 ")	etwa 7 bis 8 (Stfun- mulator)
100 bis 200	1,7 bis 2,2	3 oder 4	0,2 (0,1)	15 000 bis 30 000	5 bis 10 (bei 0,2 mm) 1,5 " 3 (" 0,1 ")	etwa 8 bis 12 (Stfun- mulator)

Masse für bessere Funkeninduktoren

Alle Maße in mm	Eisenkern			Primärrolle				Sekundärrolle		
	Funkenlänge	Länge	Dicke	Stärke der einzelnen Eisenbrähte	Länge	Zahl der Lagen	Drahtstärke	Durchmesser	Länge	Äußerer Durchmesser
100	150	16	0,8	140	2	1	34	130	80	4
200	360	35	1	300	3	2	70	260	140	4
300	600	42	1,2	540	3	2,5	85	440	230	3

des Hammers senkrecht stellen, wie aus Abb. 154 hervorgeht: K bezeichnet den Eisenkern, H den Hammer, P den Platinkontakt, F die Feder, die durch die Stellschraube S mehr oder weniger gegen die Spule hineingedrückt werden kann, welcher Umstand es ermöglicht, die Schnelligkeit der Unterbrechungen etwas zu regeln. Man

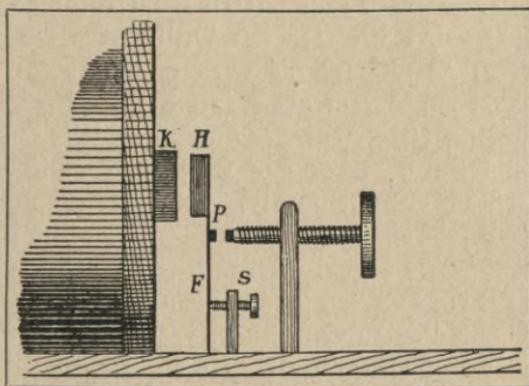


Abb. 154. Einfacher Unterbrecher.

mache den Eisenkern H möglichst leicht und den Hebel c kurz.

Quecksilberunterbrecher.

Abb. 155 zeigt einen sehr gut arbeitenden und für Apparate bis zu 30 cm Funkenlänge ausreichenden Unterbrecher, einen sogenannten Quecksilberunterbrecher. Eine Messingsäule

oder auch aus Holz gefertigte Säule, S wird an ihrem unteren Ende zur Befestigung im Grundbrett etwas ab-

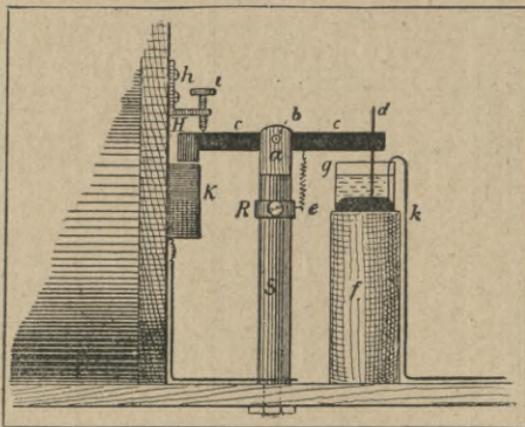


Abb. 155. Quecksilberunterbrecher.

welche eine Stricknadel (b) hineinpaßt. c zeigt uns einen gleicharmigen Hebel aus Aluminiumblech oder Holz, der links den Eisenanker (H) trägt und rechts zur Aufnahme eines 2 bis 3 mm starken Kupferdrahtes (d) durchbohrt ist. In der Mitte erhält c ein Loch, in welches die oben erwähnte Stricknadel paßt. Um die Säule S wird ein Messingring (R) gelegt, der an einer Stelle durchlocht wird. Über das Loch lötet man eine kleine Schraubenmutter, durch die man eine Schraube eindrehen und damit den Ring an der Säule befestigen kann. Außerdem wird an R ein Häkchen zum Einhängen der Feder e angelötet. Unter das rechte Ende des Hebels wird auf einem Holzfuß f ein kleiner Glasbehälter g aufgestellt, in welchen das Quecksilber eingegossen wird. Das Ende des Drahtstiftes d wird mit einer Platinspitze versehen. Ferner wird ein schmaler Messingblechstreifen (h) rechtwinkelig umgebogen, auf einer Seite durchbohrt, mit einem Muttergewinde versehen und mit der anderen über dem Anker (H) an der Randscheibe des Induktors angeschraubt. Durch das Ge-

gedreht und mit einem Gewinde versehen, an ihrem oberen zweiseitig abgeflacht. Auf diese abgeflachten Stellen werden zwei Messingblechstreifen (a_1 und a_2 in Abb. 156) angelötet, die je mit einer Bohrung zu versehen sind, in

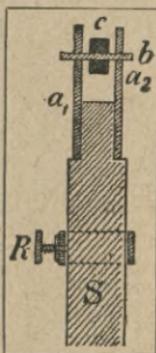


Abb. 156. Träger des Hebels zum Quecksilberunterbrecher.

winde geht die Schraube *i*, mit der wir die Entfernung des Ankers vom Magnetkerne *K* regeln können. Zum Gebrauch wird über das Quecksilber, das von dem Platineende des Stiftes *d* gerade berührt wird, eine etwa 2 cm hohe Schicht Petroleum aufgegossen. Der Strom tritt durch einen über den Rand des Glases in das Quecksilber eingetauchten Kupferblechstreifen *k* ein und geht durch *d*, *c* und *b* in die Säule *S* und von da den üblichen Weg durch den Apparat. Bei welcher Stellung der Schraube *i* und des Ringes *R*, durch dessen Verschieben die Spannung der Feder *e* reguliert werden kann, der Unterbrecher am besten funktioniert, ist durch Probieren ausfindig zu machen.

Elektrolytischer Unterbrecher nach Wehnelt.

Für Unterbrechungen

sehr hoher Zahl wird gewöhnlich der Wehnelt'sche oder elektrolytische Unterbrecher gebraucht. Für unsere Zwecke ist er jedoch nicht geeignet, schon deswegen nicht, weil er sehr starke Ströme erfordert. Rudi hatte sich trotzdem nur zur Demonstration für seinen Vortrag einen Wehnelt'schen Unterbrecher hergestellt, zu dessen Betriebe ihm seine zwölfzellige Akkumulatorenbatterie gerade ausreichte.

An das Ende eines 2 bis 3 mm starken Kupferdrahtes lötete er ein 5 mm langes Stückchen Platindraht und hämmerte es zur feinen Spitze aus. Diesen Draht schob er mit der Spitze voran in eine Glasröhre und schmolz sie gerade über der Platinspitze so ab, daß letztere noch 1 mm weit herausragte. Die Platin- und die daran anschließende Glasspitze brachte er in der Stichtlamme des Böttröhrs bis zur hellen Weißglut, damit die beiden Teile innig miteinander verschmelzen sollten. An das aus der Glasröhre hervorragende Ende des Kupferdrahtes lötete er eine Klemmschraube. In ein ziemlich großes rundes Einmachglas stellte er dann einen halbzyllindrischen Mantel aus Bleiblech, der einen über den Rand des Gefäßes hinausragenden Fortsatzstreifen trug, an dem eine Klemme angelötet war. Die Glasröhre befestigte er in einem auf das Gefäß passenden Holzdeckel nahe dem Rande, so daß er durch Drehen des Deckels sie der Bleiplatte beliebig nähern konnte. Die Röhre ragte von oben ungefähr bis

in die Mitte des Gefäßes, das er mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt hatte.

Zum Gebrauch eines Wehnelt'schen Unterbrechers wird der Unterbrecher des Induktors kurz geschlossen; dann verbinden wir den positiven Pol der Akkumulatorenbatterie mit der Platinspitze und die Bleiplatte mit der einen Klemme des Induktionsapparates, dessen andere Klemme wir mit dem negativen Pol der Batterie verbinden. Der Kondensator ist hierbei am besten auszuschalten.

Die Wirkungsweise dieses Apparates ist ungefähr folgende. Beim Durchgang des Stromes durch die Schwefelsäure entstehen durch Elektrolyse an den Elektroden Gase, und zwar tritt an der Platinspitze Sauerstoff, an der Bleiplatte Wasserstoff auf. Da nun aber der starke Strom die feine Platinspitze sehr stark erhitzt, so entwickelt sich um diese herum Wasserdampf, der durch die große Hitze in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt wird. Diese Gase nehmen ein so großes Volumen um die Spitze herum ein, daß diese ganz von der Flüssigkeit getrennt wird. Damit ist der Strom unterbrochen, die Gasblase steigt auf, und der Vorgang beginnt von neuem.

Die an der Spitze auftretende Wärme ist so groß, daß die sich bildenden Gase bis zum Glühen erhitzt werden, was zur Folge hat, daß auch die Flüssigkeit eine hohe Temperatur annimmt, so daß man nach kurzer Zeit die Arbeit mit dem elektrolytischen Unterbrecher einstellen muß.

Nachdem Rudi die verschiedenen Konstruktionen der Induktoren erläutert hatte, ging er dazu über, diejenigen Eigenschaften der Wechselströme zu besprechen, durch welche sie sich besonders vom Gleichstrom unterscheiden.

Wechselströme.

Die Ströme, die wir in unseren Induktoren erhalten, sind, wie wir gesehen haben, auch Wechselströme, das heißt Ströme, die fortwährend ihre Richtung ändern. Solche Ströme haben wir im vorigen Kapitel kennen gelernt. Die zweipolige magnet-elektrische Maschine (Seite 138 u. f.) liefert uns einen einfachen Wechselstrom, dessen Verlauf in Abb. 157 graphisch dargestellt ist. Stehen die Induktionsrollen des Ankers gerade vor den Magnetpolen, wenn wir beginnen, die Maschine

in Rotation zu setzen, so steigt die elektromotorische Kraft und damit, wenn der Ankerdrahtkreis geschlossen ist, auch die Stromstärke von dem Wert 0 bei a bis zu ihrem höchsten Wert bei α , den sie nach einer Ankerdrehung von 90° erreicht hat; jetzt fällt die Spannung wieder, bis sie bei b

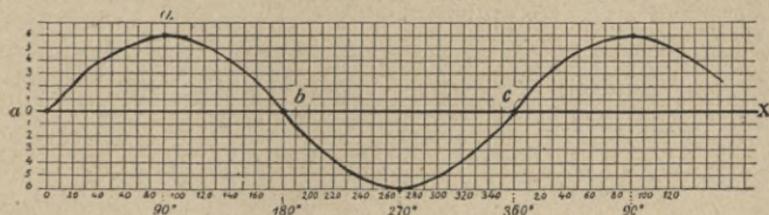


Abb. 157. Kurve eines einfachen Wechselstromes.

nach einer Ankerdrehung von 180° wieder den Wert 0 erreicht hat. In diesem Augenblick ändert der Strom seine Richtung, was in der Figur daran zu sehen ist, daß die Kurve nicht mehr oberhalb der Linie ax verläuft, sondern unterhalb. Hier wiederholt sich der gleiche Vorgang bei umgekehrter Stromrichtung. Hat der Anker eine volle Drehung (360°) gemacht, so ist die Spannung im Punkte c wieder gleich 0, der Strom steigt und fällt wieder wie zu Anfang und so fort.

Betrachten wir nun die Wechselströme, die in einem einfachen Induktionsapparat entstehen, während der Unterbrecher in Tätigkeit ist. Der Verlauf eines solchen Stromes ist in Abb. 158 versinnlicht: Wird der primäre Strom

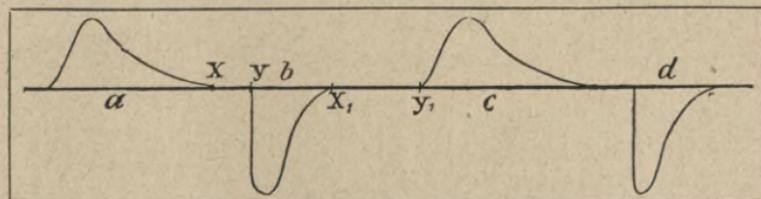


Abb. 158. Kurve eines Induktorstromes.

geschlossen, so erhalten wir im sekundären Draht einen Stromimpuls, der rasch ansteigt bis zu einem gewissen Maximalwert, der mit von der Geschwindigkeit, mit der der Strom geschlossen wird, abhängt, um sogleich wieder auf 0 herabzusinken (a in Abb. 158). Der Unterbrecher

mag nun noch so rasch funktionieren, der Stromimpuls war so kurz, daß eine gewisse Zeit verstreicht, bevor der Strom wieder geöffnet wird. Diese Zeit ist in der Figur durch die Strecke $x y$ dargestellt. Bei y tritt dann der Stromwechsel ein, und wir erhalten den anders gerichteten Öffnungsstrom (b), der noch viel rapider verläuft und einen höheren Maximalwert erreicht als der Schließungsstrom. Dann vergeht wieder eine gewisse Zeit (x_1, y_1), bis der Strom geschlossen wird und so fort.

Es fragt sich nun: Wie können wir Spannungen und Stromstärken von Wechselströmen messen? Wie wir im vorigen Kapitel schon sahen (Seite 148), reagiert z. B. unser Vertikalgalvanoskop aus den dort erwähnten Gründen nicht auf Wechselströme. Dagegen ließe sich denken, daß die Volt- und Amperemeter, bei denen weiche Eisenteile durch die magnetische Kraft einer Spule bewegt werden, auch auf Wechselströme reagieren, da ja, wenn der Elektromagnet seine Pole ändert, sich auch ebenso rasch die Pole des weichen Eisens ändern, dieses somit auf jeden Fall angezogen wird. Diese Überlegung ist wohl ganz richtig, doch wir würden zu sehr schlechten Resultaten kommen, wenn wir mit unseren Instrumenten Wechselströme messen wollten; denn erstens dürfen die verwendeten Eisenmassen nur sehr klein, zweitens muß das Eisen absolut weich sein, was eigentlich nur bei chemisch reinem Eisen der Fall ist, und drittens müssen die Instrumente für Wechselströme, und zwar für solche mit ganz bestimmten Perioden, geeicht sein.

Rudi hatte sich zur Demonstration in seinem Vortrag zwei Meßinstrumente für Wechselstrom gefertigt, deren Konstruktion am Schlusse dieses Kapitels beschrieben ist. Das eine, ein sogenanntes Hitzdrahtinstrument, benutzt die Stärke der Ausdehnung, die ein vom Strome durchflossener kurzer dünner Draht infolge der Erwärmung erfährt, als Maßstab für die Stromstärke. Das zweite ist ein Elektrodynamometer, ein Instrument, das sich nur dadurch von unserem Vertikalgalvanoskop unterscheidet, daß statt des Stahlmagneten eine Drahtrolle ohne Eisenkern verwendet wird. Wenn ein solches Instrument von einem Wechselstrom durchflossen wird, so ändert sich die Stromrichtung

gleichzeitig in der äußeren und in der inneren Spule, weshalb die Ablenkung der letzteren immer nach der gleichen Seite erfolgt. Auch das im Anhang beschriebene Universalinstrument ist zur Messung von Wechselströmen geeignet.

Eine zweite Frage, die von vornherein nicht so begründet erscheinen mag, wie die erste, ist die, ob auch für Wechselströme das Ohmsche Gesetz (Seite 84 u. f.) gilt. Diese Frage ist nur bedingungsweise zu bejahen, nämlich dann, wenn der vom Strome durchflossene Leiter völlig frei ist von Selbstinduktion (Seite 158); ist dies nicht der Fall, so erhält das Ohmsche Gesetz Modifikationen, die von einer großen Anzahl einzelner Umstände abhängig sind.

Impedanz. Schicken wir z. B. durch eine Drahtspule mit einem Eisenkern, also durch einen Leiter mit sehr großem Selbstpotential, einen Wechselstrom, so bietet diesem die Spule einen größeren Widerstand, als sie einem Gleichstrom bieten würde, da die Spannung des Extrastromes der des Wechselstromes entgegenwirkt. Diese Tatsache läßt sich durch ein sehr einfaches Experiment beweisen: Auf Seite 109 u. f. haben wir die Wheatstonesche Brücke und ihre Benützung zur Messung von Widerständen kennen gelernt.

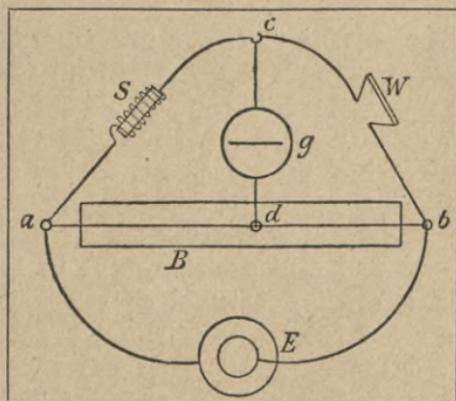


Abb. 159. Wheatstonesche Brücke.

Wir schalten nun, wie aus Abb. 159 hervorgeht, in den Stromkreis einer solchen Brücke eine mit einem Eisenkern versehene Drahtspule S, an Stelle des Vergleichswiderstandes bringen wir einen möglichst induktionsfreien Leiter, etwa einen Graphitstab, dessen Widerstand wir — nur der Bequemlichkeit wegen — annähernd gleich dem der Spule S wählen, und stellen dann den Schlitten der Brücke so, daß das Galvanoskop stromlos ist. Jetzt wissen wir, daß sich der Widerstand von S zu dem von W verhält wie die

Strecke $a d$ zur Strecke $d b$; dabei ist es völlig einerlei, wie stark die elektromotorische Kraft in E und wie groß der Widerstand von g ist. Wir können deshalb statt des Elementes E eine magnetoelektrische Maschine, die uns Wechselstrom liefert, und statt des Galvanometers ein Telephon einschalten. Das Telephon ist nämlich eines der geeignetsten Instrumente, um das Vorhandensein selbst sehr schwacher Wechselströme noch zu erkennen, indem es diese durch Er tönen anzeigt. Die Einrichtung des Telephons selbst ist am Schlusse dieses Kapitels Seite 200 beschrieben. Wenn aber eine Drahtspule einem Wechselstrom einen größeren Widerstand entgegensetzt als ein induktionsfreier Leiter vom selben Widerstand, so ist klar, daß jetzt in unserem Wheatstoneschen Systeme die Verhältnisse gestört sein müssen, was wir daran erkennen, daß der Stromzweig cd nicht stromlos ist, wie vorhin, sondern von einem Teil des Wechselstromes durchflossen wird und das Telephon zum Er tönen bringt. Daß diese Veränderung tatsächlich auf eine Vergrößerung des Widerstandes für Wechselströme in S hinausläuft, erkennen wir daran, daß wir, um das Telephon zum Schweigen zu bringen, also um es stromlos zu machen, den Schlitten d der Brücke nach b zu verschieben müssen.

Man bezeichnet den Widerstand, den die Einschaltung einer solchen Spule den Wechselströmen bietet, zum Unterschied von dem gewöhnlichen, in Ohm gemessenen Widerstand, als die Impedanz der Spule; sie ist um so größer, je höher das Selbstpotential der Spule ist, und je rascher die Richtungsänderungen des Wechselstromes aufeinander folgen. Die Impedanz führt bei Wechselströmen hoher Frequenz zu sehr eigentümlichen Erscheinungen, die wir im sechsten Vortrage genau kennen lernen werden.

Mehrphasenströme.

Nach diesen Versuchen ging Rudi dazu über, die Anwendungen der Wechselströme in der Praxis zu besprechen. Zur Erklärung des zweiphasigen Wechselstromes und des Begriffes der Phasen überhaupt hatte er sich seinen Elektromotor (Seite 124), der zwei Feldmagnet- und vier Ankerpole hatte, besonders hergerichtet: Er brachte auf der Achse vier Schleifringe an, je zwei verband er mit den Drahtenden eines

Rollenpaars, wie aus der schematischen Zeichnung in Abb. 160 hervorgeht. In dieser Figur sind N und S die Pole des Feldmagneten, A, A ist das eine, B, B das andere Rollenpaar, $x\ y$ ist die Achse mit den vier Schleifringen

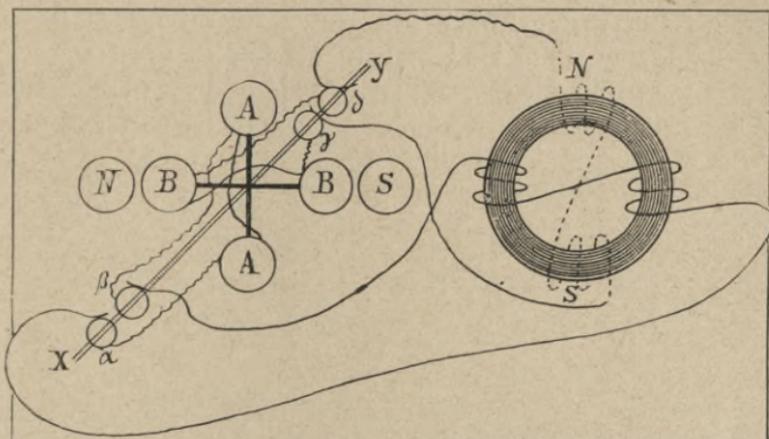


Abb. 160. Schema zum Versuch mit dem zweiphasigen Wechselstrom.

α , β , γ , δ . Ferner fertigte er sich einen Ring aus Eisendraht, ähnlich dem Grammeschen Ringe (Seite 127). Auf diesen wickelte er vier Drahtspulen und verband je zwei einander gegenüberliegende so, wie aus dem Schema Abb. 160 zu erkennen ist; die vier freien Drahtenden verband er mit den vier Schleiffedern. Der Ring hatte einen mittleren Durchmesser von $6\frac{1}{2}$ cm und einen Querschnitt von 1 qcm. Jede Spule be-

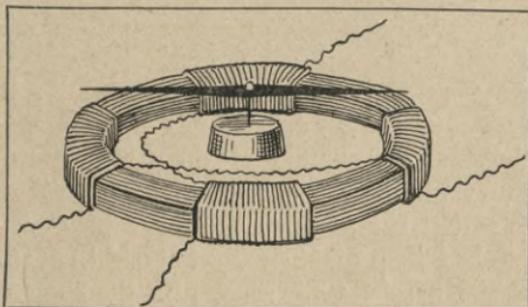


Abb. 161. Eisenring mit Magnethadel.

stand aus etwa 40 bis 50 Windungen eines 0,5 mm starken isolierten Drahtes. Die in dem Ring verlaufenden Verbindungsstücke führte er nicht, wie in der Abb. 160 an-

gegeben ist, durch die Mitte, sondern der inneren Ringsseite entlang. In die Mitte des Ringes stellte er eine in einen Kork gesteckte Nadel, auf welcher eine Magnetnadel balancierte (Abb. 161). Die Feldmagnete erregte Rudi mit einem starken Akkumulatorenstrom und setzte dann mit Hilfe eines großen Übersetzungsrades den Anker in rasche Rotation. Sofort begann auch die Magnetnadel sich zu drehen. Wodurch mag nun diese Drehung verursacht werden?

Betrachten wir Abb. 162. Hier soll jeweils der mit A, A bezeichnete Draht mit den Spulen A, A (in Abb. 160),

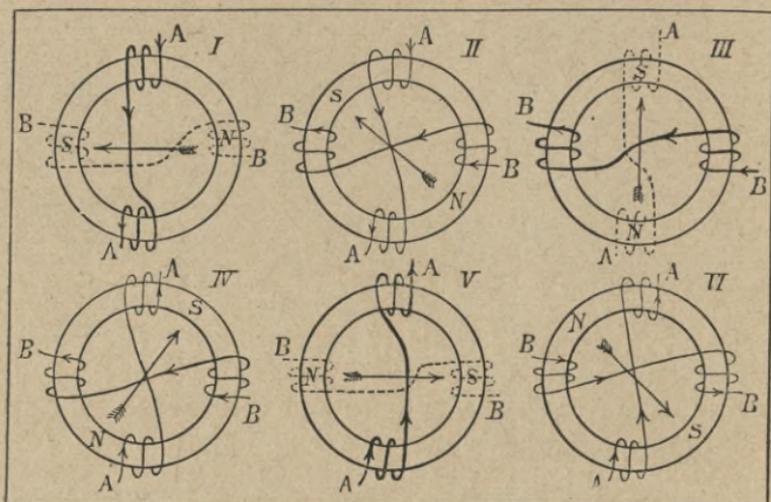


Abb. 162. Magnetisches Drehfeld.

der Draht B, B mit den Spulen B, B verbunden sein. Wir wollen nun sehen, wie sich die Stromverhältnisse in einzelnen, herausgegriffenen Augenblicken während der Ankerdrehung verhalten. Bei der in Abb. 160 gezeichneten Stellung der Spulen wird der in A, A induzierte Strom gerade seinen höchsten Wert erreicht haben, und in B, B wird er sich gerade umdrehen, also im Augenblick gleich 0 sein. Um dies anzudeuten, ist in Abb. 162 I der Draht A, A dick und der Draht B, B punktiert gezeichnet. Bei der durch Pfeilspitzen angedeuteten Stromrichtung müssen also bei N und S die entsprechenden magnetischen Pole entstehen, nach denen sich die Magnetnadel — in der Figur ein Pfeil —

einstellt. Dreht sich nun der Anker weiter, bis A und B beide gleichweit von N und S (Abb. 160) entfernt sind, so sind in beiden Drähten die Stromimpulse gleich stark und so gerichtet, wie aus Abb. 162 II zu erkennen ist; jetzt haben sich also die Pole des Ringes um 45° verschoben, und die Magnetnadel ist ihnen gefolgt. Abb. 162 III zeigt die Stromverhältnisse in dem Augenblick, da A, A gerade die Pole des Feldmagneten passiert und deshalb stromlos ist, während durch B, B der Strom mit voller Stärke fließt; die Pole des Ringes entstehen dann so, wie sie angedeutet sind. Dies geht so fort, bis der Anker eine ganze Drehung gemacht hat (Abb. 162, IV—VI); dann wiederholt sich der gleiche Vorgang.

Setzen wir nun auf die Spitze statt der Magnetnadel eine nicht magnetische Nadel aus weichem Eisen auf, so wird diese sich ebenfalls drehen, da in ihr die Pole induziert werden. Wir können auch eine runde Weißblechscheibe in der Mitte mit einer Vertiefung versehen und auf die Spitze legen; wird der Ring von den beiden Wechselströmen durchflossen, so dreht sich die Scheibe.

Den Raum, das Feld in einem solchen Eisenring, das von zwei (oder mehr) Wechselströmen in oben beschriebener Weise umflossen wird, nennt man ein magnetisches Drehfeld. Von Wechselströmen, die sich wie die Genannten verhalten, sagt man, sie hätten verschiedene Phasen, oder es bestünde zwischen ihnen eine Phasendifferenz. Die Phasendifferenz kann je nach der Anzahl der Wechselströme, die wir von einem Anker abnehmen, verschieden sein. In unserem Falle haben wir eine Phasendifferenz von 90° , das heißt während der Strom aus dem einen Spulenpaar, z. B. B, B, seinen geringsten Wert ($= 0$) hat, hat der Strom aus dem anderen Spulenpaar A, A, das um 90° gegen das erste verschoben ist, seinen höchsten Wert. Man spricht in diesem Falle von einem zweiphasigen Wechselstrom. Würden wir von einem Anker mit drei Spulenpaaren drei Wechselströme abnehmen, so wäre zwischen diesen ein Phasenunterschied von je 60° . Solche Ströme nennt man Dreiphasenströme.

Wir wollen nun sehen, was geschieht, wenn wir zwei

Wechselströme, zwischen denen eine Phasendifferenz besteht, durch einen Drahtkreis fließen lassen. Zeichnen wir wieder wie vorhin den Verlauf eines einfachen, sogenannten einphasigen Wechselstromes graphisch auf, so erhalten wir eine Linie wie A in Abb. 163; dies sei der Strom, den die Rollenpaare A, A (Abb. 160) liefern. Den Strom von B, B

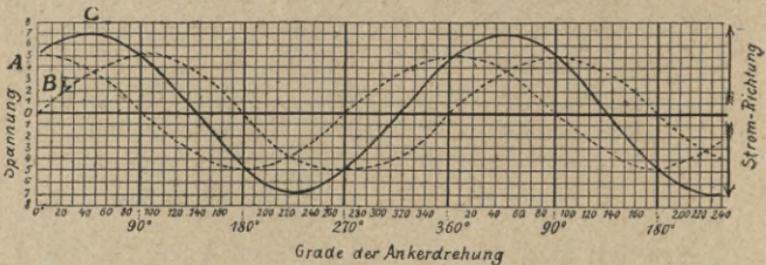


Abb. 163. Kurve der aus zwei Wechselströmen mit verschiedener Phase entstehenden Resultante.

zeichnen wir dann ebenfalls auf und erhalten die Linie B; die an derjenigen Stelle den höchsten Wert hat, an welcher A gleich 0 ist. Addieren wir nun die Spannungen beider Ströme da, wo sie gleichgerichtet sind, und subtrahieren wir sie, wo sie verschiedene Richtungen haben, so erhalten wir die Linie C, welche die Resultante der beiden Wechselströme in dem einen Leiter darstellt.

Auch einen dreiphasigen Wechselstrom mit einer Phasendifferenz von 60° konnte Rudi erzeugen. Er hatte

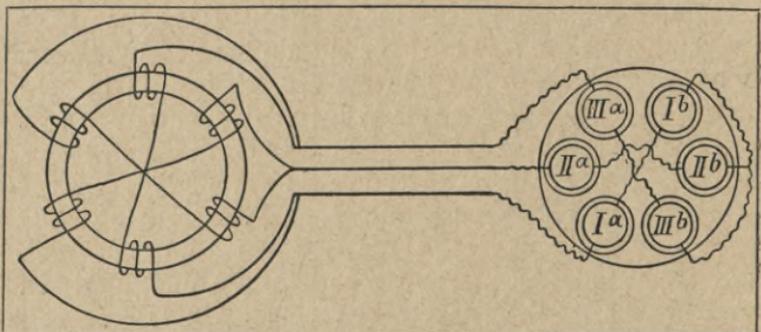


Abb. 164. Dreiphasiger Wechselstrom.

sich dafür einen besonderen mit drei Spulenpaaren, also mit sechs Spulen versehenen Anker hergestellt, indem er in eine

runde, 2 bis 3 mm starke Eisenplatte sechs zylindrische Stäbe einmietete, die den Rollen als Kerne dienten; diese Rollenpaare sind in Abb. 164 mit I a, I b, II a, II b und III a, III b bezeichnet und werden so miteinander verbunden, wie das aus der Figur zu erkennen ist. Der Eisenring muß natürlich auch entsprechend drei Spulenpaare tragen. Aus der Figur er-

kennen wir ferner den Vorteil des dreiphasigen Wechselstromes: wir brauchen nämlich nicht, wie

man anfangs meinen könnte, sechs Leitungen, sondern nur drei, die dann in der angedeuteten Weise mit den Spulen verbunden werden. Die Ankerspulenpaare können auf zweierlei Weise geschaltet werden: entweder, wie Abb. 165 zeigt, in Sternschaltung oder wie in Abb. 166 als Dreieckschaltung.

Die drei Leitungen werden durch die Verbrauchsstellen W_1 , W_2 , W_3 , die aus Glühlampen, Heiz-

apparaten, Motoren u. s. w. bestehen können, miteinander verbunden. In W_1 , in W_2 und in W_3 fließt dann je ein einphasiger Wechselstrom, der sich, ähnlich wie in Abb. 163, aus zwei Wechselströmen, die eine Phasendifferenz von 60° haben, zusammensetzt. Die drei Resultanten haben dann wieder einen Phasenunterschied von 60° .

Die mehrphasigen Wechselströme — in der Praxis aber eigentlich nur die dreiphasigen — bezeichnet man auch als Drehströme, da man mit ihnen ein magnetisches Drehfeld erzeugen kann.

Um seinen Hörern die Verhältnisse von Stromstärken und Stromrichtungen in den drei Leitungen eines Dreh-

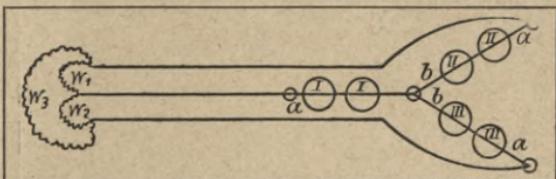


Abb. 165. Die drei Spulenpaare in Sternform geschaltet.

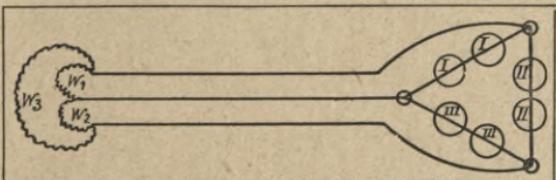


Abb. 166. Die drei Spulenpaare im Dreieck geschaltet.

stromes möglichst klar und anschaulich zu machen, fertigte sich Rudi einen einfachen Apparat. Er schnitt sich zwei 60 bis 70 cm große runde Pappdeckelscheiben und befestigte in der Mitte der einen, um ein paar Zentimeter kleineren, einen etwa fingerdicken Holzstab als Achse, in die andere schnitt er in die Mitte ein Loch und drei 1 bis

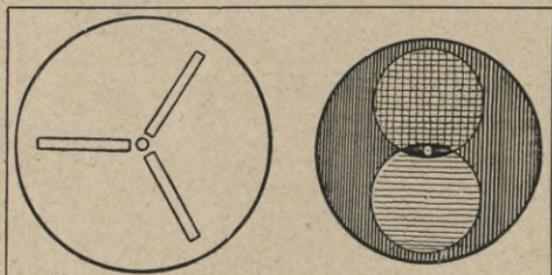


Abb. 167. Apparat zur Veranschaulichung eines Drehstromes.

2 cm breite Schlitze, wie aus Abb. 167 zu erkennen ist. Auf die Scheibe mit der Holzachse malte er, wie ebenfalls die Abbildung zeigt, zwei Kreise, deren

Durchmesser gleich der Länge der Schlitze in der anderen Scheibe waren. Die eine Kreisfläche malte er blau, die andere rot, den übrigen Pappdeckel schwarz und die Scheibe mit den Schlitzen weiß an. Diese stellte er zur Demonstration mit der Kante auf dem Tisch auf und hielt sie senkrecht fest, während Käthe die Holzachse der farbigen Scheibe von hinten in das Loch der weißen hineinsteckte und sie dann langsam drehte. Dabei sah man von vorn, wie die drei Schlitze abwechselnd rot und blau wurden. Aber sie änderten ihre Farbe nicht plötzlich, sondern wenn der eine anfangs in seiner ganzen Länge die rote Farbe zeigte, so wurde der scheinbare Strich immer kürzer, bis man gar kein Rot mehr sah, dann kam Blau und wurde immer länger und nahm dann wieder ab u. s. w. Bei diesem Versuch stellen die drei Schlitze die drei Leitungen, Rot die eine, Blau die andere Stromrichtung und die Länge der in den Schlitzen erscheinenden Farbenstriche die Stromstärke vor.

Transformatoren. Daß man mit einem solchen Drehstrom sehr einfache Elektromotoren bauen kann, leuchtet nach den angestellten Experimenten mit dem Drehfeld (Abb. 162) ein. Ein weiterer noch viel wichtigerer Vorteil, den auch die einphasigen Wechselströme

mit den Drehströmen teilen, ist die Fähigkeit, sich durch einfache Apparate auf andere Spannungen transformieren zu lassen. Solche Apparate sind im wesentlichen unseren Induktoren gleich, nur daß diese für Gleichströme, die durch eine besondere Vorrichtung periodisch unterbrochen werden müssen, eingerichtet sind, während jene einfach aus zwei getrennten, auf einen Eisenkern aufgewickelten Spulen bestehen, bei denen die Unterbrechung durch die periodische Richtungsänderung ersetzt wird.

Was für einen Vorteil hat es aber im Großbetriebe, die Spannung eines Stromes transformieren zu können? Wir wissen, daß bei gegebener Drahtdicke der Widerstand einer Leitung um so größer wird, je länger wir sie machen. Wenn z. B. für die Beleuchtung einer Stadt die Wasserkräfte in einem weit entlegenen Gebirgstal ausgenützt werden sollen, so würde ein Strom mit normaler Spannung (110 Volt) entweder in der langen Leitung sehr große Verluste erleiden, oder man müßte, um das zu vermeiden, die Leitung aus ungeheuer dicken Drähten herstellen. Im ersten Falle tritt also ein Energieverlust ein, im zweiten würden die Kosten für die Leitung allein so groß werden, daß sich eine derartige Anlage niemals lohnen könnte. Nun geht aber aus dem Ohmschen Gesetz (Seite 84 u. f.) hervor, daß ein Strom mit einer gewissen Anzahl von Watt, sagen wir 1000, mit viel geringeren Verlusten durch eine Leitung fließt, wenn er hohe Spannung und geringe Stromstärke hat, als wenn die gleichen 1000 Watt mit geringer Spannung und großer Stromstärke durch dieselbe Leitung fließen müssen. Also ein Strom mit 1000 Volt und 1 Ampere (gleich 1000 Watt) ist leichter in die Ferne zu leiten, als ein solcher mit nur 100 Volt und 10 Ampere (ebenfalls gleich 1000 Watt). Da sich nun aber Ströme mit sehr hohen Spannungen für den Betrieb von Lampen, Motoren u. s. w. schlecht eignen und außerdem für die mit den Leitungen in Berührung kommenden Personen lebensgefährlich sein können, so werden sie vor den Verbrauchsstellen auf niedere Spannung umgeformt, transformiert. In solchen Transformatoren bestehen die primären Wicklungen aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes, die sekundären aus wenig Windungen eines dicken Drahtes. Von dem Ver-

hältnis der primären zur sekundären Spannung hängt auch das Verhältnis der Drahtmaße der Bewicklung ab.

Soviel etwa sprach Kudi über die Transformatoren; ein besonderes Experiment führte er dabei nicht vor, obgleich es nicht schwer gewesen wäre, sich einen kleinen Transformator herzustellen. Wie eine Maschine, die Drehstrom liefert, herzustellen ist, haben wir auf Seite 194 gesehen. Speziell für diesen Versuch ist es von Vorteil, wenn die Bewicklung der sechs Ankerspulen aus recht dünnem Draht besteht (etwa 0,3 mm stark). Den Transformator können wir als sogenannten Ringtransformator auf folgende Weise konstruieren. Wir stellen aus etwa 0,5 bis 0,6 mm starkem Eisendraht, den wir in einer Bunsenflamme — nicht etwa im Kohlenfeuer — tüchtig durchgeglüht haben, einen Ring her, ähnlich dem, den wir für das magnetische Drehfeld anfertigten, und teilen ihn auf seinem Umfange in drei gleiche Teile ein, die wir durch drei um den Ring gebundene Bindfäden bezeichnen. Jetzt wickeln wir um jedes Drittel vier Lagen eines 0,3 mm starken, isolierten Kupferdrahtes; das sind also drei einzelne Wicklungen, zwischen denen etwa 5 mm frei bleiben sollen. Die sechs Drahtenden werden mit Seidenfäden festgebunden, das Ganze mit Schellacklösung überstrichen und mit einem in Schellack getränkten Papierstreifen umgeben. Darauf werden auf jede dieser Wicklungen zwei Lagen eines 1 mm starken Kupferdrahtes aufgewickelt. Dieser Ring, der sechs dicke und sechs dünne Drahtenden hat, wird auf einem Brett befestigt, und die Drähte werden zu Klemmen geführt.

Wir haben jetzt einen Drehstromgenerator und einen Drehstromtransformator, es fehlt uns nur noch der Drehstrommotor. Dieser ist ebenfalls sehr einfach herzustellen. Wir versehen einen Eisendrahttring wie den des Transformators mit drei Spulenpaaren. Der Ring soll einen inneren Durchmesser von 4 cm, einen äußeren von 5 cm haben. Jede Spule soll aus drei Lagen mit je 10 Windungen eines 0,5 mm starken Drahtes bestehen. Die Verbindungsdrähte der einzelnen Spulen dürfen nicht durch die Mitte des Ringes gehen, sondern müssen auf dessen Außenseite verlaufen.

Der Anker dieses Motors ist ebenfalls sehr einfach

herzustellen. Wir biegen aus einem 1 bis 2 mm dicken und 1 cm breiten Eisenblechstreifen einen Ring, der mit 3 mm Spielraum in den bewickelten Draht ring hineinpasst. Die zusammenstoßenden Enden des Blechstreifens werden verlötet, und der ganze Blechring wird mit einem nicht isolierten, 1 mm starken Kupferdraht so umwunden, wie aus Abb. 168 hervorgeht. Zwischen je zwei Windungen sei ein Zwischenraum von 3 bis 4 mm. Die Enden des Drahtes werden zusammen- und die Windungen an den Blechring angelötet. Dieser Reif ist in Abb. 168 dargestellt. Wir schieben ihn auf ein Holzscheibchen, das gerade so hineinpaßt, daß er fest sitzt. In der Holzscheibe wird eine Achse befestigt.

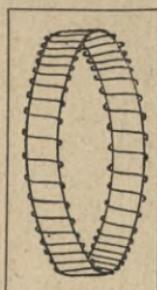


Abb. 168. Kurzschlußanker.

Der Ring, der das magnetische Drehfeld erzeugt, wird senkrecht auf einem Brettchen montiert; rechts und links

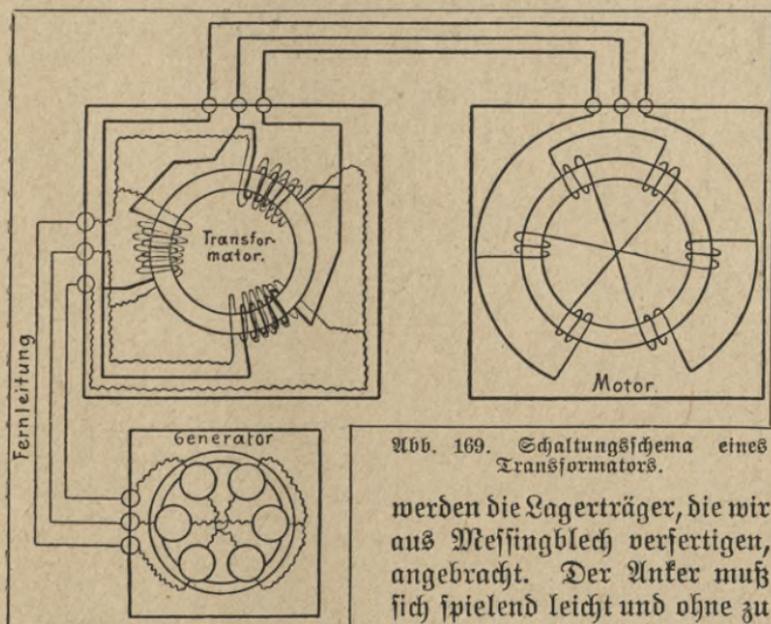


Abb. 169. Schaltungsdiagramm eines Transformators.

werden die Lagerträger, die wir aus Messingblech verfertigen, angebracht. Der Anker muß sich spielend leicht und ohne zu streifen in dem Magnetringe drehen lassen, dessen sechs Drahtenden wir zu drei Klemmen führen, wie aus dem Schema Abb. 169 zu erkennen ist.

Einen Anker, wie den eben beschriebenen, nennt man einen Kurzschlussanker, weil seine Wicklung kurz geschlossen (siehe Seite 153 u. f.) ist. Die mit dem Eisen des Ankerringes überall in leitender Verbindung stehenden Kupferwindungen haben den Zweck, die durch Induktion entstehenden Wirbelströme einen bestimmten Weg zu führen. Sie folgen also zum größten Teile dem besser leitenden Kupfer und verstärken dadurch noch den induzierten Magnetismus des Eisens. (Siehe auch, was darauf bezüglich bei der Erklärung des magnetischen Drehfeldes Seite 192 gesagt ist.) Weil der Magnetismus in solchen Ankern induziert ist, werden sie auch als Induktionsanker bezeichnet.

Wie der Generator, das ist die Stromerzeugende Maschine, der Transformator und der Motor miteinander zu verbinden sind, geht aus dem Schema in Abb. 169 hervor. Setzen wir den Generator in Gang, so wird sich auch der Motor drehen; je rascher wir den Anker des Generators rotieren lassen, desto rascher wird auch der Motor laufen. —

Das Telephon.

Zum Schlusse dieses Vortrages erklärte Rudi noch die Einrichtung des Telephons, das eine der bedeutendsten Nutzenwendungen der Induktionsströme darstellt.

Das erste Telephon war auffallend einfach: Ein Stahlmagnet war an dem einen Pol mit einer Drahtspule ver-

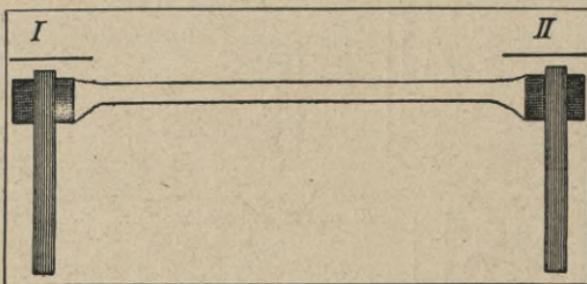


Abb. 170. Schema des ersten Telephons.

sehen und in einem Gehäuse von Holz untergebracht, in dem, kaum einen Millimeter vom Magnetpol entfernt, eine dünne

Eisenmembran befestigt war. Verband man die Spulen zweier solcher Telephone, wie aus Abb. 170 hervorgeht, so konnte man die Worte, die gegen die Membran I gesprochen wurden, bei II hören und umgekehrt. Wodurch wird nun

die Fernleitung des Schalles in den beiden Drähten bewirkt?

Wir wissen, daß ein Stück Eisen, wenn es in die Nähe eines Magneten gebracht wird, selbst magnetisch wird, somit selbst auch Kraftlinien aussendet und die des Magneten aus ihrer ursprünglichen Richtung ablenkt. Bei jeder Bewegung der Eisenmembran in unserem Telephon werden sich deshalb die Kraftlinien des Stahlmagneten etwas verändern und dadurch in der Drahtspule Induktionsströme erzeugen. Wird z. B. die Membran I gegen den Pol hinbewegt, so wird ein Induktionsstrom erzeugt, der so gerichtet ist, daß er den Magneten bei II verstärkt; dadurch wird auch die Membran II stärker angezogen, macht also auch eine Bewegung gegen den Pol hin. Entfernt sich die Membran I von ihrem Magnete, so entsteht der Induktionsstrom in umgekehrter Richtung, schwächt also in II den Magnet, und deshalb bewegt sich auch Membran II von ihrem Pol weg. Kurz, die Membran der einen Station macht ganz genau die Bewegung nach, in die wir die Membran der anderen bringen. Sprechen wir also gegen die Membran I, so wird diese von den auftreffenden Luftwellen (Schallwellen) in ganz bestimmter Weise in Schwingung gebracht. Da die Membran II aber die Bewegungen der Membran I genau mitmacht, so muß II ebenso schwingen wie I; dadurch werden der Luft in der Nähe von II dieselben Schwingungen mitgeteilt, die der Membran I die Bewegung erteilt haben; wir hören also bei II die gleichen Laute, die gegen I gesprochen werden.

Eine derartig einfache Einrichtung hat aber den Nachteil, daß die Tonstärke sehr gemindert wird; denn ein großer Teil der Energie des Schalles wird dazu verbraucht, die Trägheit der ersten Membran zu überwinden und sie in Schwingung zu versetzen, und dann geht wieder ein Teil bei der Umsetzung der mechanischen Bewegungsenergie in elektrische Energie verloren. Wie wir wissen, wird in dem Widerstand eines Leiters die Energie eines elektrischen Stromes geschwächt; da sie aber nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie nicht verloren gehen, nicht einfach verschwinden kann, so muß sie sich in eine andere Energieform

verwandelt haben. Elektrische Energie wird in Widerständen zum Teil in Wärme umgesetzt, wie wir schon an den auf Seite 51 und 57 beschriebenen Experimenten gesehen haben. Man nennt diese durch elektrische Ströme in Leitern hervorgerufene Wärme Joulesche Wärme. Dieser Vorgang spielt sich zum Teil, je nach dem Widerstand (Länge) der Leitung auch hier ab. Bei der zweiten Station finden in umgekehrter Reihenfolge dieselben Verluste noch einmal statt.

Das Mikrophon.

Ein solches Telephon hatte eigentlich nur theoretisches Interesse; zum praktischen Gebrauch war es kaum anzuwenden, da die Töne an der Empfangsstation zu schwach wiedergegeben wurden. Dieser Mißstand wurde durch die Erfindung des Mikrophones durch Hughes beseitigt. Hughes befestigte auf einem Resonanzkästchen parallel nebeneinander zwei Kohlestäbchen und legte auf diese ein drittes. Dann verband er die eine der befestigten Kohlen mit einem Pol, die andere durch ein Bellesches Telephon T — so genannt nach Graham Bell, dem Erfinder des vorher beschriebenen Telephones — mit dem anderen Pol eines Elementes E (Abb. 171). Wird bei

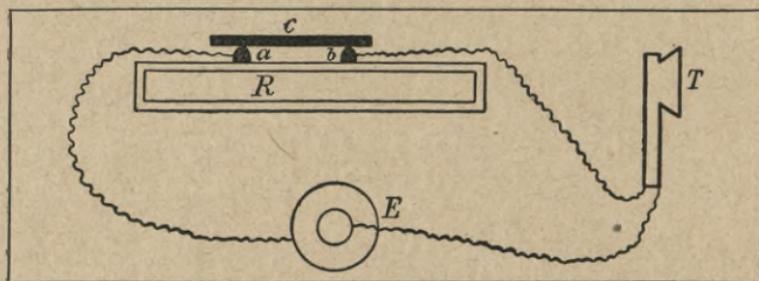


Abb. 171. Schema des Mikrophones.

dieser Einrichtung durch irgend eine Erschütterung der Deckel des Resonanzkästchens (R) rasch nach unten bewegt und mit ihm die beiden Kohlen a und b, so wird das nur leicht aufliegende Stäbchen c insolge seiner Trägheit nicht so rasch folgen können, es wird in dem Augenblick nicht so fest auf a und b aufliegen als vorher; dadurch aber, daß der Kontakt geringer wird, wird der Widerstand für den Strom größer, der Strom selbst also schwächer. Wird umgekehrt der Re-

sonanzboden gegen c hinbewegt, so wird der Kontakt inniger und der Strom stärker. Die Stromstärke gerät demnach in Schwankungen, die den Schwingungen des Resonanzbodens analog sind. In genau derselben Weise schwankt dann die Stärke des vom Strome umflossenen Stahlmagneten, so daß schließlich die Membran des Telephons die Schwingungen des Resonanzbodens genau mitmacht. Einen derartigen Kohlenkontakt auf einem Resonanzboden nennt man Mikrophon.

Jedoch auch diese Vorrichtung genügt nicht, wenn man auf sehr große Entfernungen sprechen wollte; der Strom des Elementes wurde in einer langen Leitung zu sehr geschwächt. Aber gerade der Umstand, daß der durch das Mikrophon gehende Strom durch die Schallwellen in Schwankungen gerät, ermöglicht es uns, ihn zu transformieren, auf eine andere Spannung zu bringen, genau so, wie wir die Wechselströme in den Transformatoren

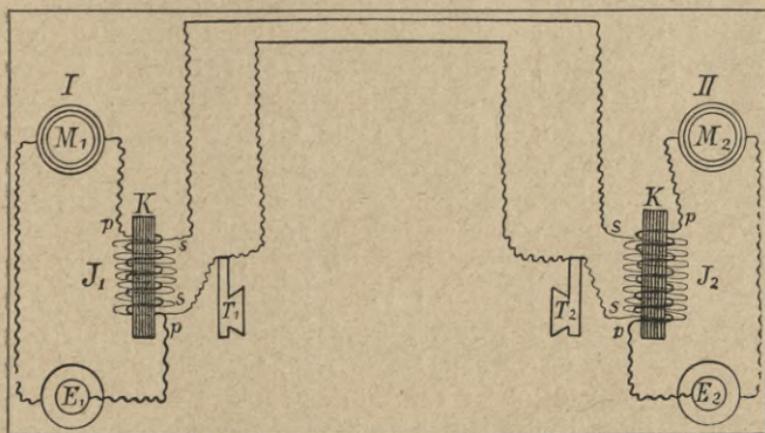


Abb. 172. Schema einer Telephonanlage.

transformiert haben. Die sich dadurch ergebende Schaltungsweise ist aus Abb. 172 zu erkennen: I und II bezeichnen die beiden Fernsprechstationen. Wird nun in I gesprochen, so macht der Strom folgenden Weg: er fließt von Element E_1 durch das Mikrophon M_1 und durch die um einen Eisenkern K gewundene primäre (dicke) Wicklung p der Induktionsrolle J_1 zum Element E_1 zurück. Beim Durchgang durch das Mikrophon, gegen welches gesprochen

wird, wird er bald stärker, bald schwächer, gerät also in Schwankungen. Dieser unstete Strom wird beim Durchgang durch pp in J_1 in der sekundären Wicklung ss auf hohe Spannung und geringe Stromstärke transformiert, so daß er jetzt ohne erhebliche Verluste in die Ferne geleitet werden kann. Er geht von J_1 zuerst durch das Telephon T_1 , durch den einen Ferndraht zu dem Telephon T_2 , durch J_2 und durch den anderen Ferndraht nach J_1 zurück. Da er in den Telephonen deren Stahlmagnete umkreist, teilt er ihrem Magnetismus seine eigenen Schwankungen mit, dadurch gerät die Eisenmembran in Schwingung, so daß man die gegen M_1 gesprochenen Worte in T_2 hören kann. In der gleichen Weise kann man von Station II nach Station I sprechen.

Bei einer praktischen Fernsprechanlage muß natürlich noch ein Anrufwecker (Klingel) und eine Vorrichtung vorhanden sein, die es gestattet, wenn nicht gesprochen wird, den Batteriestrom auszuschalten, damit die Elemente nicht erschöpft werden. (Siehe auch Herstellung einer Telephonanlage im Anhang.) —

An dieser Stelle sei noch die Beschreibung der Herstellung der beiden vorerwähnten Meßinstrumente für Wechselstrom, dessen theoretische Betrachtungen auf Seite 187 nicht unterbrochen werden sollten, nachgeholt.

Das Hitzdrahtinstrument.

Ein genau arbeitendes Hitzdrahtinstrument können wir uns nicht selbst herstellen, wenigstens nicht für geringe Stromstärken, da es ohne korrigierende Vorrichtungen auch auf die Schwankungen der Lufttemperatur reagiert. Da es aber theoretisches Interesse darbietet, auch zur Demonstration sehr geeignet und, wenn keine Ansprüche an Genauigkeit und Präzision gestellt werden, sehr leicht anzufertigen ist, so sei seine Herstellung hier beschrieben.

Auf ein langes, schmales Grundbrett a (Abb. 173), das mit Stollen zu versehen ist, wird ein rechteckiges Brett b aufgeschraubt. In der linken oberen Ecke wird die Lagervorrichtung c für den Zeiger befestigt. Diese ist in Abb. 174 und 175 besonders dargestellt. Auf ein längliches, etwa 1 mm starkes Messingplättchen d wird der zweimal

rechtwinkelig gebogene Bügel e aufgelötet, der aus einem 1 bis 1,5 mm starken Messingblechstreifen gefertigt ist.

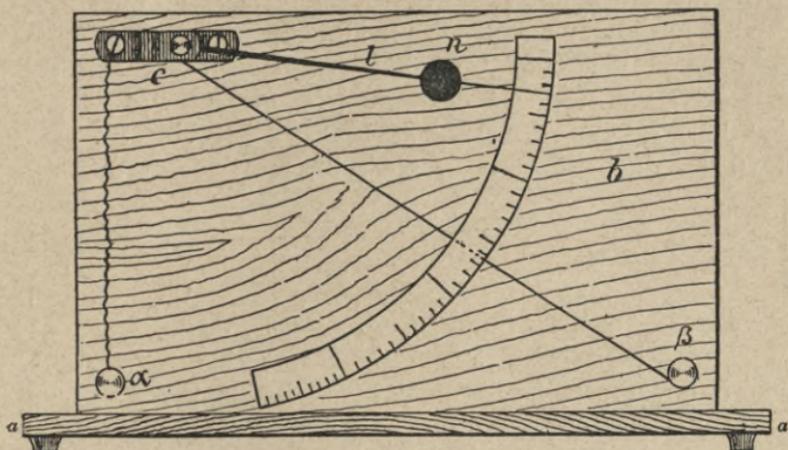


Abb. 173. Das Hydrazininstrument.

Dieser Bügel erhält auf der Innenseite bei f einen ziemlich tiefen mit einem Körner eingeschlagenen Punkt und bei g,

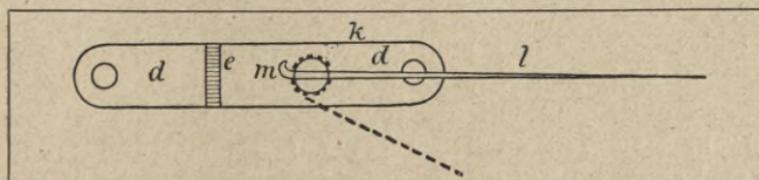


Abb. 174. Lager für den Zeiger des Hydrazininstrumentes (Vertikalschnitt).

genau dem Körnerpunkt gegenüber, ein Loch, in das ein Muttergewinde geschnitten wird, damit darin die Schraube h

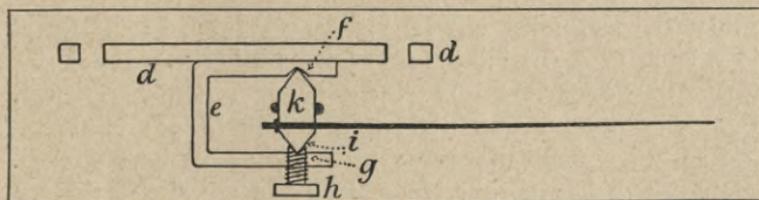


Abb. 175. Dasselbe (Horizontalschnitt).

eingedreht werden kann. Diese erhält bei i ebenfalls einen Körnerpunkt. Ein etwa 2 mm starkes, rundes Eisen-

stiftchen *k* wird auf beiden Seiten zugespitzt und muß zwischen *f* und *i* eingespannt werden können. An dieses Stiftchen wird ein 2 mm starker Eisendraht angelötet und an dem kurzen auch noch etwas über *k* hinausgehenden Ende zum Hütchen *m* gebogen. Soll das Instrument für Ströme mit mehreren Amperes bestimmt sein, so muß der Zeiger, um stärker belastet werden zu können, aus einem Blechstreifen hergestellt werden, etwa so, wie Abb. 176 zeigt.

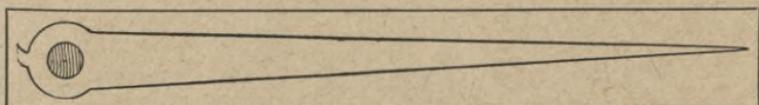


Abb. 176. Zeiger für das Sitzdrahtinstrument.

Das Stiftchen wird eingesetzt und die Schraube *h* soweit angezogen, daß *k* nicht herausfallen, sich aber noch leicht drehen kann. Dann wird ein Draht aus Nickelin (es kann auch Eisen, Platin, sogar Kupfer verwendet werden), dessen Dicke sich nach den zu messenden Stromstärken richten muß, an einem Ende mit einer Schleife versehen, hiermit in das Hütchen *m* eingehängt und, von vorn gesehen, einmal links herum um *k* gewunden und dann an der Klemme β befestigt. Der Draht muß so gespannt werden, daß der Zeiger *l* horizontal liegt. Die Klemme α wird noch durch einen Kupferdraht mit *c* verbunden, wonach eine Skala, wie in Abb. 173 zu sehen ist, auf *b* angebracht wird. Der Zeiger wird durch das Scheibchen *n* aus Messing- oder Bleiblech so weit beschwert, daß der Draht straff gespannt ist. Die Drahtdicke muß sich, wie schon erwähnt, nach der Stromstärke richten. Für die Wechselströme, die die auf Seite 138 u. f. beschriebenen magnetelektrischen Maschinen liefern, wird ein 12 bis 15 cm langer (Strecke β bis *c* Abb. 173), 0,1 bis 0,2 mm starker Nickelindraht richtig sein. Ist der Draht aus einem besser leitenden Metall, so muß er dünner und nötigenfalls auch länger sein.

Die Wirkungsweise des Instrumentes ist sehr einfach. Fließt durch den Draht ein Strom, so entwickelt sich infolge seines großen Widerstandes Joulesche Wärme (von der wir auf Seite 202 sprachen); der Draht wird deshalb länger und läßt den Zeiger sinken.

Das Elektrodynamometer.

Das Elektrodynamometer können wir bei sorgfältiger Ausführung weit empfindlicher und genauer arbeitend herstellen als das Hitzdrahtinstrument. Es besteht aus einer festen und einer beweglichen Drahtspule. Da beide Spulen gleichzeitig vom Strome durchflossen werden, so wird die bewegliche immer nach der gleichen Seite hin abgelenkt, auch wenn sich die Stromrichtung umkehrt.

Abb. 177 zeigt ein Elektrodynamometer von oben gesehen. Wir stellen aus Messingblech einen Rahmen *a* her,

etwa 10 cm lang, 2,5 cm hoch und 1,5 cm breit. Dieser Rahmen wird mit etwa 20 m eines 0,7 bis 0,8 mm starken, isolierten Kupferdrahtes bewickelt. Je schwächer der zu messende Strom ist, desto dünner und länger muß der Draht sein. Ein zweiter Rahmen *b*, der in den ersten hineinpaßt, wird mit etwa 15 m Draht bewickelt. In die Mitten der Langseiten werden bei beiden Rahmen 2 mm weite Löcher gebohrt; auf diese Löcher werden bei dem größeren Rahmen (*a*) außen kurze Stückchen eines 3 mm weiten Messingrohres aufgelötet, damit das Loch

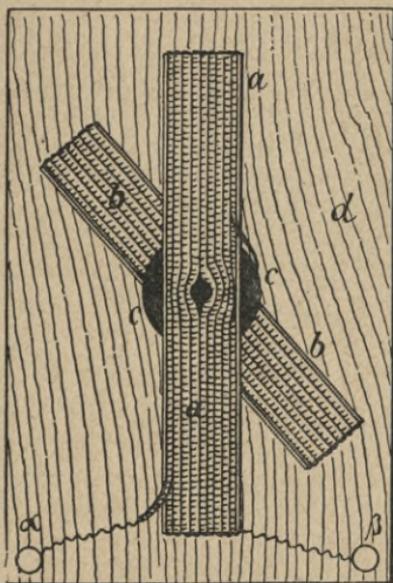


Abb. 177. Das Elektrodynamometer.

nicht von der Bewickelung verdeckt wird; bei dem kleineren Rahmen (*b*) wird durch die beiden ein 2 mm starkes Messingstäbchen als Achse gesteckt; letzteres soll ziemlich fest sitzen, aber in den Bohrungen von *a* sich leicht drehen können. Das eine Ende der Bewickelung von *b* wird an der Achse angelötet; das andere Ende wird zu einem runden Blechscheibchen *c* geführt, das mit Schellackfitt (Seite 5) auf *b* befestigt wird. Auf diesem Scheibchen liegt das eine Ende der Bewickelung von *a* auf. Jetzt wird der größere Rahmen,

wie aus der Abbildung zu sehen ist, auf ein senkrecht stehendes Brett d mit Schellackfitt aufgefittet. Die Klemme α wird mit dem noch freien Drahtende von a , die Klemme β mit einem an dem Rahmen von a angelöteten Draht verbunden. Sollte der Rahmen b sich im indifferenten Gleichgewicht befinden, so muß er so beschwert werden, daß seine Längsachse in der Ruhelage lotrecht steht.

Wird das Instrument von einem Strome, sei es ein Gleich- oder ein Wechselstrom, durchflossen, so wird der Rahmen b aus seiner lotrechten Lage abgelenkt. Wir können an dem beweglichen Rahmen einen Zeiger und auf d eine Skala anbringen und das Instrument durch Vergleich mit einem anderen eichen; dabei müssen natürlich das zu eichende und das Vergleichsinstrument hintereinander geschaltet werden (siehe auch Seite 98).

Das im Anhang beschriebene Universalinstrument ist ebenfalls für Wechselströme verwendbar. Wir können uns, wenn uns der oben beschriebene Apparat zu einfach und das Universalinstrument zu umständlich ist, etwa in der Mitte zwischen beiden halten.

So können wir z. B. das oben beschriebene Instrument dadurch wesentlich verfeinern, daß wir die Lager der beweglichen Spule sorgfältiger herstellen, indem wir folgendermaßen verfahren: In die Mitten der Längsseiten der äußeren Spule wird, wie auch schon oben beschrieben, je ein Messingröhrchen eingefügt. Nun darf aber die Achse der beweglichen Spule nicht in diesen Röhrchen gelagert sein, sondern muß freien Spielraum in ihnen haben und besonders gelagert werden. Zu diesem Zweck wird das Brett d so durchbohrt, daß das Loch eine Fortsetzung zu den durch die Messingröhrchen gebildeten Öffnungen in der äußeren Spule darstellt. Die Lagerung der Achse kann dann in der auf Seite 205 beim Hitzdrahtinstrument beschriebenen Weise hergestellt werden; die Stromzuführung geschieht in dem Fall entweder durch zwei auf der Achse sitzende Schleifringe oder nach der im Anhange beim Universalinstrument beschriebenen Methode. Auch ist es besser, die innere Spule so zu gestalten, daß ihre Längsachse die größere Ausdehnung hat.



Um anschauliche Experimente über den Durchgang der Elektrizität durch verdünnte, das heißt unter geringem Druck stehende Gase vorzuführen, brauchen wir vor allem eine hinreichend starke Quelle für hochgespannte Elektrizität. Für geringe Ansprüche genügen schon Funkeninduktoren von 1 bis 2 mm Funkenlänge. Je größer und leistungsfähiger unser Apparat ist, desto glänzender und vielseitiger können wir unsere Versuche gestalten. Für sehr viele hierher gehörende Experimente ist die Influenzelektrifiziermaschine dem Funkeninduktor vorzuziehen, da bei ihr, wenn man keine Kondensatoren einschaltet, die Lichterscheinungen ruhiger sind. Sie hat freilich den Nachteil, daß wir zu ihrer Bedienung eine zweite Person brauchen, und ferner, daß sie bei feuchtem Wetter nie sicher arbeitet.

Da sich für die Verwendung von Leidener Flaschen beim Gebrauch der Influenzmaschine für die einzelnen Fälle keine genauen Angaben machen lassen, so sei hier ein für allemal gesagt, daß man sämtliche Experimente mit verschiedenen Kapazitäten anstellen soll; es ist auch hier der im Anhang beschriebene variable Kondensator recht brauchbar; es ist dann leicht zu erkennen, in welchem Falle man die bessere Wirkung erzielt. Der Kondensator verstärkt meist die Wirkung, die Lichterscheinungen werden aber unruhig und zuckend.

Rudi bediente sich seiner selbstgefertigten Influenzmaschine (Seite 19 u. f.), die wir noch vom ersten Vortrage her kennen. Er hatte ja eine unermüdliche Assistentin, seine Schwester Käthe, die ihm bei allen Versuchen die Maschine drehte. Außerdem hatte er sich eine Trockenvorrichtung hergestellt, so daß er auch von dem Feuchtigkeitsgrade der Luft nur noch wenig abhängig war.

Der Trockenapparat.

Diese Trockenvorrichtung bestand aus einem Eisenblech, das etwa 30 cm länger und breiter war als das Grundbrett der Maschine und an dessen vier Ecken je eine lange Eisenstange eingietet war, so daß das Eisenblech auf den vier Füßen hoch genug stand, um die Influenzmaschine unter sich aufzunehmen. Rechts und links von der Maschine stellte Rudi dann zwei Argandbrenner¹⁾ mit Asbestzylinder so auf, daß der obere Zylinderrand sich etwa 6 cm unter dem Eisenblech befand. Etwa zehn Minuten vor Gebrauch

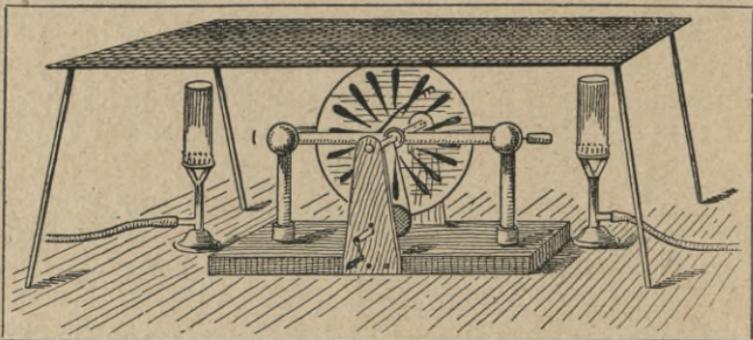


Abb. 178. Trockenapparat für die Influenzmaschine.

der Maschine zündete er die Lampen an; solange er die Maschine benützte, stellte er sie aber beiseite und ließ nur noch das heiße Eisenblech über ihr (Abb. 178).

Da an dem Tag des Vortrages die Luft außerordentlich trocken war, hielt es Rudi für überflüssig, den Trockenapparat zu verwenden. Er probierte kurz vor dem Vortrag alle wichtigen Experimente noch einmal durch, und sie gelangen mit seltener Leichtigkeit. Aber während des Vortrages wurde die Wirkung der Maschine immer schlechter, und er mußte schließlich entgegen seinem ursprünglichen Vorhaben den Funkeninductor verwenden.

Es war Rudi bald klar, daß diese Störung nur daher kommen konnte, daß durch die Anwesenheit der vielen Personen die Luft im Zimmer ständig feuchter wurde. Er ließ deshalb bei dem nächsten Vortrage seine Hörer sich in einem

¹⁾ Argandbrenner sind Gasrundbrenner mit Zylinder.

anderen Zimmer versammeln und erst kurz vor Beginn in den Vortragsraum eintreten. Ferner hatte er die Maschine, bis er sie zum ersten Male gebrauchte, im angrenzenden Zimmer unter dem Trockenapparate stehen. Erst zum Beginn der ersten Experimente brachte Rätke die Maschine samt dem heißen Blechdach, aber ohne die Lampen, herein.

Die Vakuumpumpe. Um zu zeigen, wie sich der Ausgleich der Elektrizitäten einer Influenzelertrijermaschine in einem abgeschlossenen Raum bei zunehmender Verringerung des Luftdruckes verändert, bedürfen wir einer Luftpumpe, einer sogenannten Vakuumpumpe, die man sich in einfacher Form ziemlich leicht selbst herstellen kann.

Abb. 179 zeigt den Schnitt durch eine solche Pumpe, die an jedem Tische befestigt werden kann, und für die

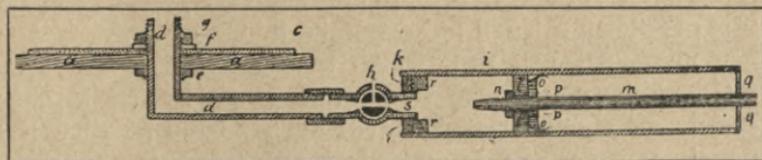


Abb. 179. Schnitt durch die Vakuumpumpe.

wichtigsten Versuche ausreicht. (In der Abbildung ist der Zylinder der Pumpe im Verhältnis zum Teller größer gezeichnet, damit die einzelnen Teile deutlicher sichtbar sind.)

Den Teller *a* fügen wir aus einem 1 bis 2 cm dicken Brett von Hartholz; er soll einen Durchmesser von 20 bis 25 cm bekommen und muß vollkommen eben und in der Mitte mit einer Bohrung versehen sein. Um einem Verziehen des Holzes vorzubeugen, bestreichen wir ihn mit geschmolzenem Paraffin, das wir ziemlich reichlich auftragen und dann mit einem recht heißen Plätteisen nochmals überfahren, damit es gut in alle Poren des Holzes eindringt.

Solange das Brett noch warm ist, wird auf die Oberseite eine 2 bis 3 mm dicke Schicht unseres bekannten Koloophonium-, Wachs- oder Leinölkittes, der ziemlich hart sein soll (Seite 66), aufgetragen. Darauf wird eine runde, ebenfalls mit einem Loch versehene angewärmte Glasplatte (*c*) (womöglich Spiegelglas) vorsichtig aufgedrückt (über das Durchbohren von Glas siehe Seite 12 und 13).

Nach dem Erkalten muß die Glasplatte eben, bei Spiegelglas nur leicht matt abgeschliffen werden. Wir befreien eine unbrauchbare photographische Platte in der Größe von 9×12 cm von ihrer Gelatineschicht und kitteten mit Kolophonium-Wachskitt ein etwa 5×8 cm großes und 2 cm dickes Holzklötzchen auf. Jetzt beschaffen wir uns die drei feinsten Nummern Schmirgelpapier, überschwemmen die ganze Glasplatte mit Wasser, streuen reichlich von dem wenigst feinen Schmirgel darauf und schleifen mit der Glasplatte die Platte des Tellers eben, wobei wir den an der Glasplatte befestigten Holzklötz als Griff benutzen. Beide Glasplatten werden matt, aber zuerst nur an einzelnen, an den erhabenen Punkten. Um sich von Zeit zu Zeit von dem Fortgang der Arbeit zu überzeugen, spült man den Gestell mit Wasser ab und reibt ihn dann mit einem Tuche trocken. Die geebneten Stellen sind dann, da sie matt sind, leicht von den noch unebenen zu unterscheiden. Ist die ganze Platte gleichmäßig matt, was nach etwa einer halben Stunde tüchtigen Schleifens erreicht sein dürfte, dann schleifen wir während der Hälfte der bis jetzt aufgewendeten Zeit mit dem feineren, ebensolange mit dem feinsten Schmirgelpulver und schließlich ohne solches — nur mit Wasser — nach.

Jetzt besorgen wir uns ein rechtwinkelig gebogenes Gasleitungsrohr d; beide Enden werden mit Gewinden versehen. Das Rohr muß sich gerade durch das Loch von a hindurchschieben lassen. An dem kürzeren Schenkel wird der Ring e angelötet, auf welchem a aufliegt. Dann wird ein das Rohr eng umschließender Gummiring f aufgelegt und mit der Schraubenmutter g gegen e gepreßt. Die Schraubenmutter wird schließlich an d angelötet.

Die Verbindungsstelle zwischen Rohr und Teller wird mit der Zeit leicht undicht; man kann deshalb gleich von vornherein alle in Frage kommenden Fugen mit Schellackkitt (Seite 5), auch Siegellack oder Emaillack überziehen, hauptsächlich auf der Seite, von welcher der Luftdruck wirkt, also auf der Außenseite.

Der zweite wichtige Bestandteil unseres Apparates ist der sogenannte Zweivegehahn. Er ist in der Abb. 179 im Querschnitte gezeichnet. Wir stellen ihn aus einem

einfachen Gaszahn (Abb. 180) her, den wir am besten neu kaufen. Ein solcher Zahn besteht aus einem kugelförmigen Mittelstück und zwei mit Gewinden versehenen Rohransätzen. In dem Mittelstück kann ein konischer Bolzen, der quer durchbohrt ist, gedreht werden. Steht diese Bohrung senkrecht zur Achse der Rohransätze, so ist der Zahn geschlossen, wird dieser um 90°

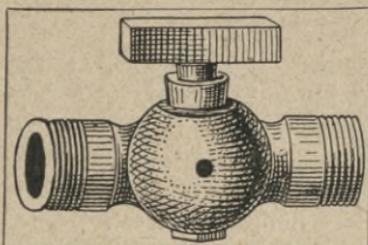


Abb. 180. Der in einen Zweizegehahn veränderte Gaszahn.

gedreht, so ist er geöffnet. An den meisten Gaszähnen sind in den Bolzen kleine Stifte, die eine Drehung von mehr als 90° verhindern; diese müssen entfernt werden, so daß man den Bolzen vollständig umdrehen kann. Jetzt wird letzterer so gestellt, daß der Zahn geöffnet ist; dann bohren wir durch das Mittelstück und durch die Hälfte des Bolzens ein Loch, wie dies aus den Abbildungen deutlich zu sehen ist (h in Abb. 179).

Der dritte Bestandteil ist die Pumpe. Wir kaufen uns ein 2 bis 3 cm weites, etwa 30 cm langes starkwandiges Messingrohr (i). In dem einen Ende dieses Rohres wird der Ring k eingelötet, der mit einem Muttergewinde versehen ist. In letzteres wird der Zahn h eingeschraubt und ebenfalls verlötet.

Wir kommen nun zur Herstellung des Kolbens. Eine 2 bis 3 mm starke Messing- oder Eisenscheibe l, die gerade in das Rohr hineinpaßt, erhält in der Mitte eine Bohrung (ohne Gewinde), durch die man das mit einem Gewinde versehene Ende der Eisenstange m hindurchschieben kann. An dieser Stange ist das Messingscheibchen p angelötet, dessen Halbmesser um etwa 2 mm kleiner ist als der von l. Dann schneiden wir uns von alten Glacehandschuhen drei bis vier runde Scheibchen, die in der Mitte mit einem Loch versehen sind, und deren Halbmesser etwa um 5 mm größer ist als der von l und legen sie einige Zeit in reines Maschinenöl. Wenn sie vollständig durchtränkt sind, bringen wir sie auf das Messingscheib-

chen p, wie aus der Abb. 179 zu erkennen ist (o); darauf wird l mit der auf m aufgeschraubten Mutter n fest gegen p angepreßt. Das Blechscheibchen q dient zur Führung der Stange m.

Das Kolbenende der Stange m soll so lang sein, daß es durch den Ansatz des Hahnes bis auf den Stöpsel hindurchgeht; es soll auch möglichst genau in jene Öffnung hineinpassen, damit der sogenannte schädliche Raum s möglichst klein wird. Aus dem gleichen Grunde müssen wir auch noch die leeren Ranten bei r mit Wachs oder Paraffin ausfüllen.

Wir nehmen zu diesem Zweck den Stöpsel aus dem Hahne heraus und machen letzteren etwas warm, dann schieben wir den Kolben so weit in den Zylinder hinein, daß die Öffnung s gerade noch frei bleibt. Jetzt stellen wir die Pumpe so auf, daß der Hahn oben ist, gießen durch letzteren möglichst heißes Paraffin in den Zylinder und drücken dann den Kolben so weit als möglich hinein, wobei natürlich wieder etwas Paraffin herausgetrieben wird. Nach dem Erkalten wird das Loch für den Stöpsel und der äußere Rohransatz vom Paraffin gereinigt. Letzterer wird nun, wie aus Abb. 179 zu erkennen ist, mit dem Rohre d verbunden.

Wir können uns auch noch eine Glasglocke, den Rezipienten, selbst herstellen. Wir beschaffen uns eine starkwandige, möglichst weite Flasche aus weißem Glas, deren Boden wir möglichst glatt entfernen müssen. Wir umkleben sie deshalb da, wo sie gesprengt werden soll, mit zwei mehrmals herumgewundenen Papierstreifen, die einen nur 2 bis 3 mm breiten Raum zwischen sich frei lassen. In dieser Rinne legen wir eine gut gewirnte, möglichst harte Schnur einmal um die Flasche, befestigen an dem einen Schnurende ein 1 bis 2 kg schweres Gewicht und an dem anderen einen runden Holzstab. Die Flasche lassen wir von einer zweiten Person halten und ziehen nun, die Schnur an dem Holzgriff fassend, das Gewicht auf, lassen es sinken, ziehen es wieder auf u. s. f., bis infolge der Reibung die Hitze so groß wird, daß die Schnur durchbrennt und das Gewicht zu Boden fällt. Jetzt wird das

Bodenende der Flasche so rasch als möglich in kaltes Wasser getaucht. Entlang der von der Schnur berührt gewesenen Stelle springt der Boden ab. Ein anderes Verfahren besteht darin, daß man zuerst die Flasche unter ständigem Drehen über einer Flamme auf etwa 250° erhitzt und dann da, wo der Sprung entstehen soll, einen mit Salzwasser benetzten Bindfaden herumschlingt.

Der dadurch entstandene Rand der Flasche ist jetzt noch eben zu schleifen; diese Arbeit nehmen wir auf einer möglichst ebenen Sandsteinplatte mit Wasser und Schmirgel vor.

Um elektrische Ausgleiche in dem Rezipienten vornehmen zu können, führen wir durch einen durchbohrten Gummistöpsel eine Messingstange ein, die die eine Elektrode bildet; als die andere Elektrode dient uns das durch den Teller führende Metallrohr. Der untere eben geschliffene Rand der Glasglocke wird zur besseren Abdichtung mit Talg eingerieben. Die ganze Anordnung geht aus Abb. 181 hervor: a ist die Glocke, b der Teller, c das Rohr, das zur Pumpe führt, d der Gummistopfen, in dem die Messingstange e steckt. Ein aus Draht gebogener und mit einer Kugel versehener Dreifuß f bildet auf das Rohr gesetzt die zweite Elektrode.

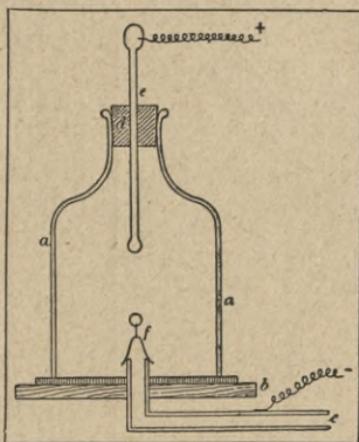


Abb. 181. Der Rezipient als Entladungsröhre.

Wer sich selbst Geißlersche Röhren herstellen will, der muß im Glasblasen einige Übung besitzen. Einfache Röhren sind nicht schwer herzustellen. Wir schmelzen in das eine Ende eines 0,5 bis 1 cm weiten Glasrohres — die Länge richtet sich nach der Leistungsfähigkeit unserer Apparate — einen Platindraht ein; nahe diesem Ende setzen wir ein etwas dünneres Röhrchen nach der Seite an und schmelzen dann auch in das andere Ende einen Platindraht ein. Wie diese Röhre mit dem Rezipienten zu verbinden ist, geht

aus Abb. 182 hervor. In den Schlauch a ist, damit er nicht von dem äußeren Luftdruck zusammengequetscht werde, eine eng gewundene Drahtspirale zu stecken.

Während des Auspumpens der Röhre läßt man den elektrischen Strom hindurchgehen; ist dann die Lichterscheinung so, wie man sie wünscht — man kann sie natürlich nur im verdunkelten Zimmer gut sehen —, so pumpt man noch etwas weiter und schmilzt dann die Röhre ab.

Um die Verdünnungen in Röhren noch weiter treiben zu können, müssen wir die Geißlersche Röhre samt dem

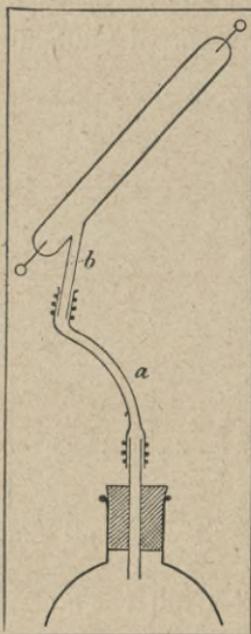


Abb. 182. Verbindung der Geißler-Röhre mit dem Rezipienten zum Auspumpen.

Schlauch a (Abb. 182) und der Glasröhre, die durch den Gummistopfen geht, mit Quecksilber anfüllen. Nachdem wir uns überzeugt haben, daß nirgendmehr Luftblasen haften, stecken wir den Gummistopfen auf den Rezipienten und pumpen denselben aus, bis alles Quecksilber aus der Röhre zurückgefunkten ist, aber nicht weiter, als bis zu der in Abb. 182 mit b bezeichneten Stelle, da in dem Schlauch a meistens Luftbläschen haften bleiben. In der Mitte zwischen b und der Ansatzstelle wird das Röhrchen dann abgeschmolzen.

Wie weit wir mit diesen Apparaten die Verdünnung in einer Röhre bringen können, hängt natürlich von ihrer Ausführung und Handhabung ab. Die für gewöhnliche Geißlersche Röhren nötige Verdünnung ist leicht zu erreichen; viel schwieriger ist es schon, Röhren für Kathodenstrahlen herzustellen. In Röntgenröhren schließlich ist die Verdünnung der Luft so stark, daß wir den Versuch, uns solche selbst herzustellen, von vornherein aufgeben müssen. —

Experimente mit der Luftpumpe. Wir setzen auf den Rezipienten, wie aus Abb. 183 hervorgeht, eine einfache Röhre mit eingeschmolzenen Platinelektroden, deren Abstand größer als die Schlagweite

unseres Funkeninduktors oder unserer Influenzmaschine sein muß, und verbinden sie mit der Stromquelle. Wir wählen Platin, weil es zum Einschmelzen in Glas das geeignetste Metall ist, da es fast denselben Ausdehnungskoeffizienten hat wie Glas. Für einfachere Instrumente, wie das oben erwähnte, genügt auch Aluminiumdraht, der den Vorteil hat, wesentlich billiger zu sein; wenn wir dann die Einschmelzstelle, solange sie noch warm ist, mit gutem roten Siegellack überziehen, so hält sie sicher dicht. Im verdunkelten Raum sieht man dann an den Elektroden nur sehr schwaches

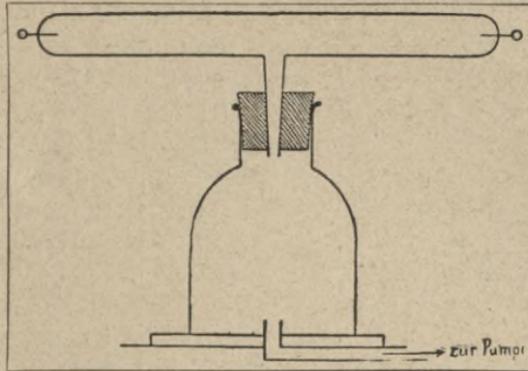


Abb. 183. Einfache Röhre auf dem Rezipienten.

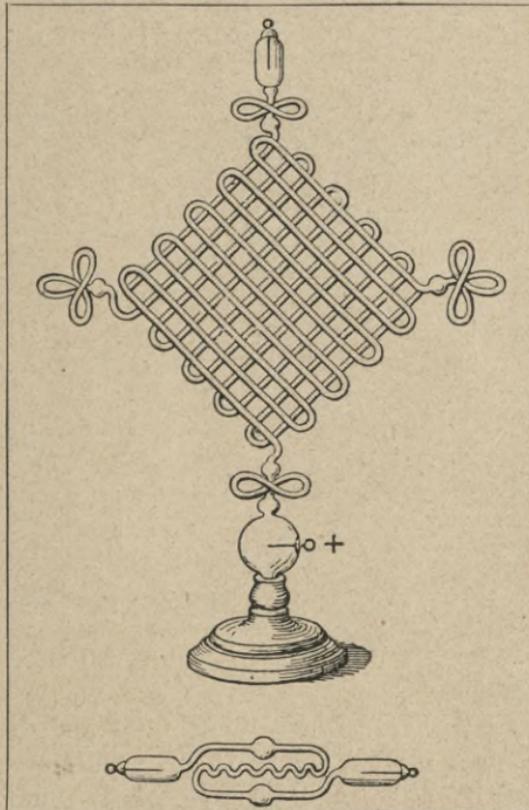


Abb. 184. Geißler'sche Röhren, ungefüllt.

Glimmlicht. Fängt man dann an, die Pumpe in Tätigkeit zu setzen, so wird der Lichtbüschel an der Kathode (negative Elektrode) heller, größer und schärfer abgegrenzt, und an der Anode (positive Elektrode) zeigt sich ein kleines helles Lichtpünktchen.

Pumpt man weiter, so beginnt schließlich der ganze Raum zwischen den Elektroden schwach zu leuchten: ein violettes Lichtband zieht sich durch die Röhre, ohne aber ihre Breite ganz zu erfüllen. Bei weiterer Verdünnung wird der violette Streifen breiter, und man



Abb. 185. Geißlersche Röhren. Zu füllen mit fluoreszierenden Flüssigkeiten. Abb. 186. Sittorfsche (Crookes'sche) Röhre.

kann sehen, daß das Licht nicht einheitlich, sondern geschichtet ist; die Röhre scheint erfüllt von einzelnen hellen Scheibchen mit dunkeln Zwischenräumen. Dieses geschichtete Lichtband beginnt unmittelbar an der Anode, geht aber

nicht ganz bis zur Kathode hin; hier bleibt ein dunkler Raum, der bei noch weiter gesteigerter Verdünnung immer größer wird. Das positive Licht wird immer kürzer und seine Schichtung immer undeutlicher.

Hier hörte die Leistungsfähigkeit der Pumpe, die sich Rudi selbst gefertigt hatte, auf. Er hatte sich deshalb zur Demonstration der Kathodenstrahlen eine sogenannte Crookes'sche Röhre (Abb. 186) gekauft. Auch Geißler'sche Röhren in verschiedenen Stufen der Evakuierung und in sehr mannigfaltigen Formen kommen in den Handel (Abb. 184 und Abb. 185).

Die Kathodenstrahlen.

Wird die Verdünnung in der Röhre noch weiter getrieben, so verschwindet das positive Licht schließlich ganz, aber eine andere merkwürdige Erscheinung tritt dafür ein. Es gehen

nämlich von der Kathode Strahlen aus, die man nicht sehen, sondern nur daran erkennen kann, daß sie die Glaswand der Röhre da, wo sie sie treffen, zum Fluoreszieren bringen. Bei unserer Röhre, in welche Drähte eingeschmolzen sind, wird

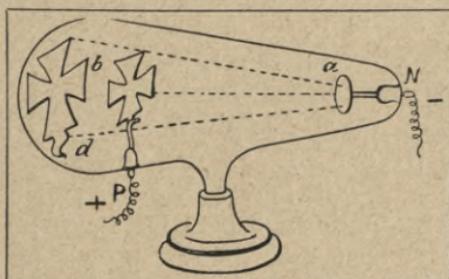


Abb. 187. Crookes'sche Röhre.

das Glas um die Anode herum grün leuchten. Besteht die Kathode aus einem runden Blechscheibchen, so wird die dem Scheibchen gegenüberliegende Stelle zum Fluoreszieren gebracht. Ist zwischen die negative Elektrode und die gegenüberliegende Glaswand ein Gegenstand aus Metall gebracht, z. B. ein Kreuz b wie in Abb. 187, so zeichnet dieser einen deutlichen Schlagschatten d auf das Glas. Alle diese Erscheinungen weisen darauf hin, daß die Kathodenstrahlen sich senkrecht zu der Fläche des Punktes fortpflanzen, von dem sie ausgehen. Dabei ist es ganz einerlei, an welcher Stelle sich die Anode befindet.

Eine weitere eigentümliche Eigenschaft dieser Strahlen ist die, daß sie alle nicht metallischen Körper, die sie treffen, zur Phosphoreszenz bringen. Man hat Röhren hergestellt,

in denen verschiedene Mineralien den Kathodenstrahlen ausgesetzt werden können; die Stoffe leuchten dann je nach ihrer Natur in verschiedenen Farben auf.

Ferner kann man bemerken, daß das Glas einer Crookes'schen Röhre, da, wo es von den Kathodenstrahlen getroffen wird, also an der grün fluoreszierenden Stelle, sich mit der Zeit stark erhitzt. Diese Erwärmung kann so weit gehen, daß das Glas weich wird und dem äußeren Luftdruck nachgibt. Von diesen Strahlen getroffene Metallteile können bis zur Weißglut, ja bis zum Schmelzen gebracht werden.

Crookes entdeckte auch, daß die Kathodenstrahlen mechanische Wirkungen ausüben können. Um das nachzuweisen, hat man in der Röhre ein leichtes Flügelrädchen so angebracht, daß die obere Hälfte desselben sich gerade zwischen den Elektroden befand. Wurde ein Strom durchgeleitet, so drehte sich das Rädchen so, als ob von der Kathode ein Wind ausginge, der, die oberen Flügelchen treffend, es zur Rotation brachte.

Bringen wir einen Magneten in die Nähe der Röhre, so sehen wir, daß er die Kathodenstrahlen ablenkt. Wir können mit ihm den grünen Fluoreszenzpunkt von seiner ursprünglichen Stelle wegziehen; er folgt genau den Bewegungen des Magneten. Rudi machte diesen Versuch und verwendete dazu einen starken Elektromagneten, den er mit dem Akkumulatorenstrom erregte.

Alle diese merkwürdigen Erscheinungen spielen sich ausschließlich in der Röhre ab. Keine Spur von diesen geheimnisvollen Strahlen scheint die Glaswand durchdringen zu können. Über die eigentliche Natur dieser Strahlen, überhaupt über diese Entladungsvorgänge sind die letzten Schleier noch nicht gelüftet.

Das eine steht aber fest, daß die Kathodenstrahlen aus sehr kleinen Stoffteilen bestehen, die sich mit einer enormen Geschwindigkeit durch den fast leeren Raum der Röhre bewegen. Mit dieser Annahme lassen sich leicht für die oben erwähnten Eigenschaften der Kathodenstrahlen Erklärungen geben, deren nähere Behandlung aber hier zu weit führen würde.

Es sind verschiedene Versuche gemacht worden, die

Kathodenstrahlen aus der Röhre herauszuführen in die normale Atmosphäre, aber man ist bis jetzt nicht weiter damit gekommen, als daß man eben nachweisen konnte, daß die Strahlen auch außerhalb der Röhre bestehen können.

Die Röntgenstrahlen. Lange boten die Kathodenstrahlen nur theoretisches Interesse, bis Professor Röntgen im Jahre 1895 in Würzburg die Entdeckung machte, daß von der von den Strahlen getroffenen Stelle der Crookes'schen Röhre andere Strahlen ausgehen, die sich wesentlich von den Kathodenstrahlen unterscheiden. Röntgen selbst nannte sie X-Strahlen, während sie sonst nach ihrem Entdecker Röntgenstrahlen genannt werden.

Diese geheimnisvollen Strahlen sind selbst unsichtbar und geben sich nur durch verschiedene Wirkungen zu erkennen: Photographische Platten, von ihnen getroffen, werden geschwärzt. Dabei hat sich auch gezeigt, daß eine Papierverpackung oder eine Holzkassette der empfindlichen Bromsilbergelatine keinen Schutz gegen diese Strahlen bietet; sie gehen durch Holz und Papier fast ungeschwächt hindurch; nur dickere Metallschichten können sie nicht durchdringen. Im allgemeinen kann man annehmen, daß je dichter ein Körper ist, er sich desto undurchlässiger für Röntgenstrahlen zeigt. Diese Eigentümlichkeit ist besonders wichtig, und wir kommen später noch einmal darauf zurück.

Eine zweite für die Praxis sehr wertvolle Eigenschaft der Röntgenstrahlen ist ihre Fähigkeit, Fluoreszenz zu erregen. So leuchtet z. B. Baryumplatinocyanür, wenn es von den Röntgenstrahlen getroffen wird, hell auf.

Wir haben schon oben gesehen, daß die X-Strahlen da entstehen, wo die Kathodenstrahlen auf die Rohrwand auftreffen. Man hat nun durch Versuche gefunden, daß die Röntgenstrahlen überhaupt überall da entstehen, wo Kathodenstrahlen auf einen Gegenstand auftreffen.

Da es, wie wir späterhin noch sehen werden, für photographische Aufnahmen mit Röntgenstrahlen nicht vorteilhaft ist, wenn die die Strahlen ausSENDENDE Fläche groß ist, so hat man die Röhren so konstruiert, daß die Kathodenstrahlen im Innern der Röhre auf ein Platinblech auf-

treffen. Von diesem Platinbleche gehen sie dann wie von einem Punkt kegelförmig aus.

Abb. 188 zeigt eine der gangbarsten Formen der Röntgenröhren. In der Mitte des kugeligem Theile der Röhre befindet sich das Platinblech, das, von den Kathodenstrahlen getroffen, die Röntgenstrahlen ausfendet und als Antikathode bezeichnet wird. Diesem gegenüber (rechts) steht

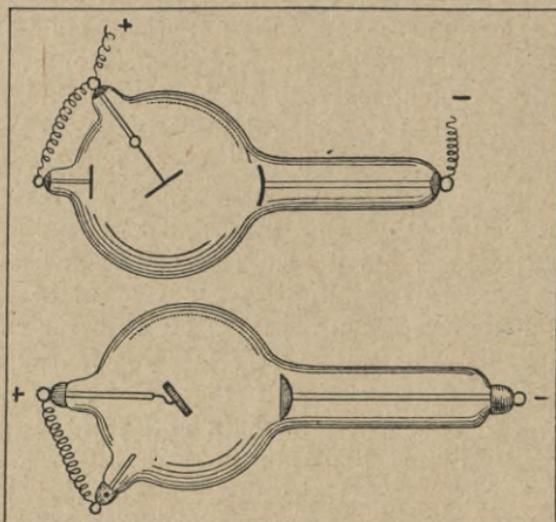


Abb. 188. Röntgenröhren.

die Kathode, und in dem dritten Ansatz ist die Anode, die durch einen Draht mit der Antikathode verbunden ist.

Nach diesen theoretischen Ausführungen ging Rudi dazu über, eine größere Anzahl von Experimenten mit der Röntgenröhre vorzu-

führen. Er bediente sich dabei des Funkeninduktors, da dieser besonders für diese Versuche geeigneter ist. Für solche, die keinen größeren Induktor, aber eine gute Influenzmaschine besitzen, sei gesagt, daß für photographische Aufnahmen die Maschine mit Leidener Flaschen verwendet werden kann. Will man dagegen ein Schattenbild auf dem Fluoreszenzschirm erzeugen, so kann man die Kondensatoren nicht gebrauchen, da das Bild dann derartig flimmert, daß die Augen schmerzen. Die besten Bilder erzielt man, wenn man vor jeder Elektrode der Röhre eine Funkenstrecke einschaltet, deren günstigste Größe man durch Probieren herausfinden muß. Abb. 189 zeigt eine durch Funkenstrecken mit der Influenzmaschine verbundene Röntgenröhre. Die viereckigen Röhmchen,

zwischen denen sich die Kugeln befinden, müssen natürlich aus einem isolierenden Material, etwa aus Hartgummi bestehen.

Rudi hatte versucht, sich den Fluoreszenzschirm selbst herzustellen, indem er Kreide, Kochsalz und wolframsaures Natron zu gleichen Teilen innig mengte und die Mischung dann in einem Tontiegel drei Stunden lang mit einem

Knallgas-
gebläse
durch-
glühte.
Die beim
Erkalten
zusam-
mengesin-
terte Mas-
sepulverte
er, mengte
sie mit ei-
nem Bin-
demittel
(Gelatine)
und strich
sie auf
einen
Karton.

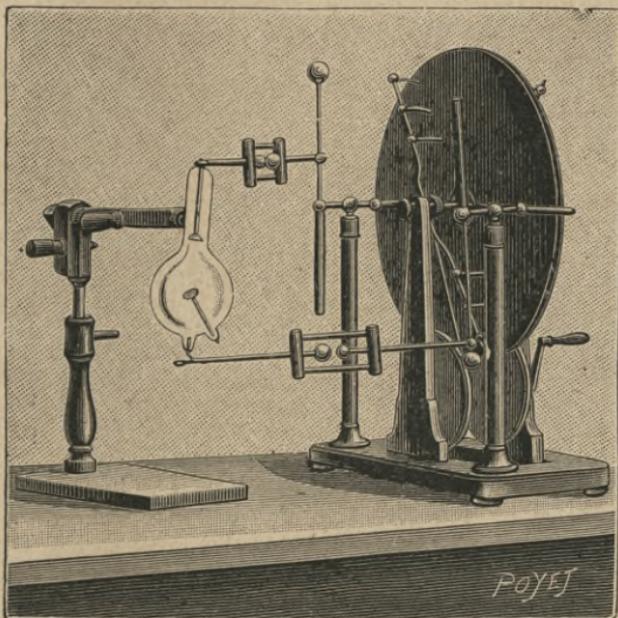


Abb. 189. Influenzmaschine und Röntgenröhre nach Bonetti.

Obwohl Rudi genau nach Vorschrift verfahren war, war seine Mühe hier von keinem guten Erfolg gekrönt, so daß er sich gezwungen sah, doch noch einen fertigen Fluoreszenzschirm zu kaufen.

Bevor Rudi die Durchleuchtung auf dem Fluoreszenzschirm zeigte, machte er ein photographisches Durchleuchtungsbild der Hand seiner Schwester. Er hatte zu diesem Zweck eine photographische Platte von der Größe 13×18 cm in ein lichtdichtes schwarzes Papier so eingehüllt, daß die Schichtseite der Platte nur von einer Papierlage bedeckt war. Die Röhre befestigte er an einem Gestell derart, daß der von der Antikathode ausgehende

Strahlenkegel senkrecht nach unten wirkte. Dann legte er die eingewickelte Platte mit der Schichtseite nach oben unter die Röhre in einem Abstand von etwa 30 cm auf den Tisch. Auf die Platte legte dann Rüthe ihre ausgestreckte Hand, und Rudi schaltete den Strom ein. Nach kurzer Zeit — je nach der Größe der Röhre beträgt die Dauer etwa drei bis sechs Minuten — stellte er die Bestrahlung ab.

Während nun Rudi noch einige erklärende Worte sprach, zündete Rüthe eine Lampe mit rotem Zylinder an und löschte



Abb. 190. Hand, von Röntgenstrahlen durchleuchtet.

alle übrigen Lichter aus — näheres über die Raumverdunkelung siehe unten. Alle nötigen Utensilien zum Entwickeln waren schon gerichtet. In wenigen Minuten, in denen Rudi auch noch das Wesentlichste über die photographische Platte und ihre Eigenschaften sagte, hatte die eifrige Assistentin das Bild fertiggestellt, und während er das äußerlich an-

haftende Fixiernatron mit Wasser abspülte, machte seine Schwester wieder Licht und reichte dann die Platte herum. Man sah ganz deutlich die einzelnen Knochen der Hand,

da an den unter diesen gelegenen Stellen die Bromsilbergelatine nicht geschwärzt, also fast ganz durchsichtig war. Auch die Konturen der Fleischteile waren deutlich zu erkennen, und besonders schön konnte man den Fingerring sehen.

Die Kopie, das heißt das Positiv einer solchen Aufnahme gibt das Bild auf Seite 224 wieder.

Man kann die photographische Platte auch so verpacken, daß man sie in der Verpackung, also bei hellem Licht, entwickelt und fixiert. Man verfährt dabei folgendermaßen: Aus starkem, englischem, dunkelrotem Fließkarton stellt man sich drei flache vierseitige Tüten her, die je auf einer Seite offen und so groß sind, daß in die erste eine Platte 13×18 cm eingeschoben werden kann, die zweite Tüte muß sich wiederum über die erste und die dritte schließlich über die zweite stülpen lassen. Hat man beim Einlegen der Platte die Öffnung der Tüte links, so muß die der zweiten rechts und die der dritten wieder links sein. Die Platte wird natürlich in der Dunkelkammer in die Papierhüllen gebracht und dann in eine lichtdichte Schachtel gelegt, der man sie erst kurz vor Gebrauch entnimmt. Nach der Exposition wird sie samt ihren Papierhüllen erst 1 bis 2 Minuten in Wasser gelegt, wobei man durch Streichen und leichtes Drücken die Luft aus den Hüllen zu entfernen sucht. Dann wird die äußerste der drei Hüllen unter Wasser entfernt und die jetzt nur noch von zwei Hüllen umschlossene Platte in einen ziemlich starken Entwickler mit ein wenig Bromkalium gelegt. Nach etwa 5 bis 10 Minuten (je nach Expositionsdauer, Platten- und Entwicklerforie) ist die Entwicklung beendet; dann kommt die Platte, immer noch eingehüllt, 5 Minuten in Wasser und darauf 15 bis 20 Minuten in frisches, starkes Fixierbad. Nunmehr kann sie ihren Hüllen entnommen und bei Tageslicht betrachtet werden.

Zum Schlusse wollte Rudi noch jedem einzelnen seiner Hörer ein Durchleuchtungsbild auf dem Fluoreszenzschirm zeigen. Er stellte deshalb die Röhre so am vorderen Rande des Experimentiertisches auf, daß die Strahlen schief nach oben und vorne fielen. Darauf zeigte er, bevor er den Raum verdunkeln ließ, wie der zu durchleuchtende Gegenstand und der Fluoreszenzschirm zu halten sind, und er-

klärte dabei die Wirkungsweise des letzteren etwa folgendermaßen: Wie wir vorhin schon gehört haben, ist Baryumplatincyranür ein Stoff, der in hohem Grade die Eigenschaft besitzt, von Röntgenstrahlen zur Fluoreszenz gebracht zu werden, das heißt er leuchtet an den bestrahlten Stellen, je nach der Stärke der Bestrahlung mehr oder weniger hell auf. Dieser Stoff wird auf einem schwarzen Karton gleichmäßig verteilt. Bringt man zwischen die Röntgenröhre und den Schirm, dessen fluoreszierende Seite natürlich von der Röhre ab-, dem Auge zugewandt sein muß, einen Gegenstand, z. B. einen Geldbeutel, oder einen Reißzeug, eine Hand, einen Arm, einen Regenschirm, so wird man jeweils von den dichtesten Teilen, im Beutel also von den Geldstücken, in der Hand von den Knochen usw., die schwarzen Silhouetten sich deutlich von der helleren Umgebung abheben sehen.

Endlich wies Rudi noch auf den für einfache Verhältnisse ziemlich hohen Preis der Röntgenröhren und der Fluoreszenzschirme hin und bat seine Hörer, in dem dunklen Zimmer nicht zu drängen.

Daß diese Bitte nicht unbegründet war, bewies ein kleiner Unfall, der trotz der Mahnung eintrat.

Die meisten Anwesenden hatten schon das Geld in ihrem Beutel, ohne ihn zu öffnen, gezählt, oder ihr Handskelett oft nicht ohne ein heimliches Grausen bewundert, als eben eine Freundin Käthes, die von den Apparaten zurücktrat, dabei an eine hinter ihr stehende Person stieß, ausglitt und mit der unwillkürlich nach einem Halt ausgestreckten Hand gerade die eine Elektrode des Funkeninduktors ergriff. Mehr erschrocken als vor Schmerz fuhr sie, nach Mädchenart laut ausschreiend, zurück und fiel zu Boden; dabei riß sie die Röntgenröhre samt ihrem Träger mit. Weiteres Unheil wurde durch die geistesgegenwärtige und gewandte Handlungsweise Käthes verhindert, die trotz der völligen Finsternis sofort an dem unten beschriebenen Beleuchtungsmechanismus war und Licht machte. Jetzt war die Ordnung gleich wiederhergestellt. Niemand hatte Schaden gelitten, auch die Röhre nicht, da sie an den Drähten hängen geblieben und deshalb nicht zu Boden gestürzt war.

Um nun bei den Personen, die noch nicht an der Reihe

waren, einen ähnlichen Fall zu verhindern, stellte Rudi einen kleinen Tisch so vor den Experimentiertisch, daß jeweils nur eine Person an die Apparate herantreten konnte. —

Ich will nur noch anführen, was für einen Beleuchtungsmechanismus Rudi für diesen Vortrag konstruiert hatte. Der Raum mußte nämlich, um die zarten Lichter in den Geißlerschen Röhren möglichst sichtbar zu machen, öfters verdunkelt werden. Da Rudi kein elektrisches Licht zur Verfügung hatte, mußte er das Gaslicht so einrichten, daß er es ohne Umstände öffnen und schließen konnte.

In der Mitte des Zimmers hing ein Kronleuchter mit einem mittleren und vier äußeren Brennern. Den mittleren benutzte er nicht. Es handelte sich also darum, ohne zwischen die unter den Lampen sitzenden Leute treten zu müssen, das Licht anzünden und löschen zu können. Zur Entzündung des Gases verwendete Rudi die bekannten „Selbstzünder“. Sie haben für Auerbrenner die Form von Staubhütchen und bergen in sich Platinschwamm, an dem sich das Gas entzündet. Um einem Versagen dieser Selbstzünder vorzubeugen, hatte er sie vorher über einen Bunsenbrenner vorgeglüht.

Um die vier Gasähne von der Wand aus hinter seinem Tisch öffnen und schließen zu können, befestigte er an jedem einen Hebel aus dickem Draht mit einem kleinen Bleigewicht derart, daß das Gewicht den Hahn zuzog. Ferner befestigte er an jedem Hebel einen Bindfaden, den er durch einen nahe der Decke an der Gasleitung befestigten Porzellanring zog. Die vier Fadenenden verband er mit einer Schnur, die er an der Decke entlangführte, bis an die Wand, wo er sie wieder durch einen Porzellanring steckte und dann gerade herunterhängen ließ. Ging die Schnur lose, so war kein Licht; wurde sie angezogen, so öffneten sich die Ähne, und es wurde hell. Die Schnur konnte mit einer Nse in einen Nagel an der Wand eingehängt werden.

Um bei den Versuchen mit Röntgenstrahlen nicht immer die Nacht abwarten, oder ein Zimmer verdunkeln zu müssen, kann man sich um den fluoreszierenden Karton herum einen Schirm legen, der die leuchtende Fläche und die Augen vor Tageslicht schützt. Abb. 191 zeigt diesen Apparat im Schnitt.

a ist der Fluoreszenzschirm, der in die Nute b des Rahmens c eingeschoben werden kann. An diesem Rahmen ist ein Tuchsaack d aus schwarzem, möglichst dichtem Tuch angeleimt. Der Saack wird nach oben etwas enger und ist an dem Rahmen e

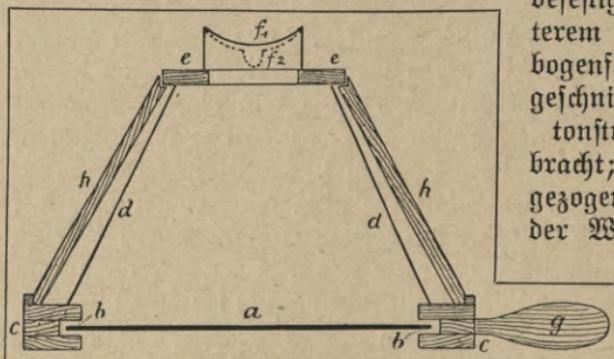


Abb. 191. Schnitt durch den Lichtschußschirm.

befestigt. An letzterem sind zwei bogenförmig ausgechnittene Kartonstücke angebracht; f_1 (ausgezogen) soll sich der Wölbung der

Stirne über den Augen anschließen; f_2 (punkt-

tiert) hat einen Ausschnitt für die Nase. Um den Lichtabschluß möglichst vollkommen zu machen, sind diese Kartonstücke mit langhaarigem Samt überzogen. g ist ein Handgriff, und h sind zwei Strebeshölzer, die die beiden Holzrahmen auseinanderhalten; sie sind abnehmbar, so daß man den ganzen Apparat auch zusammenlegen kann.

Zum Gebrauche wird der Baryumplatincyanürschirm (a) mit der fluoreszierenden Seite nach innen in den Rahmen eingeschoben. Dann läßt man die Röntgenstrahlen von vorne oder von unten auf die Rückseite des Schirmes, vor die man z. B. seine Hand hält, auffallen und nicht durch die obere Öffnung in den Apparat hinein.

Zum Schlusse sprach Rudi noch einige Worte über die Verwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin. Er sagte: Die erste Verwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin lag sehr nahe; mit ihnen war den Chirurgen ein Mittel an die Hand gegeben, vor operativen Eingriffen sich von der Lage eines Fremdkörpers oder der Natur einer Fraktur zu überzeugen. Ferner können Veränderungen im Knochengewebe, wie solche z. B. bei Tuberkulose vorkommen, auf Radiogrammen, das sind Photographien mit Röntgenstrahlen, sehr leicht erkannt werden. Ein ganz neuer Zweig tat sich

auf, als man entdeckte, daß die Röntgenstrahlen auch auf das Gewebe des organischen Körpers verändernd einwirken. Wird die Haut des menschlichen Körpers lange intensiv bestrahlt, so tritt Entzündung der betreffenden Stelle ein und es entstehen schwer heilende Wunden. Auch beim Arbeiten mit kleinen und schwachen Röntgenröhren ist einige Vorsicht geboten; man soll sich nie unnötig lang den Strahlen aussetzen und vor allem die Augen mit großen Schutzbrillen aus Bleiglas schonen. Beim Experimentieren blende man mit dünnem Bleiblech oder dicken Stanniolblättern die Röhre so ab, daß die Röntgenstrahlen nur an ihren Bestimmungsort gelangen.

Kritik.

Auch nach diesem Vortrage fehlte die Kritik von Rudis Onkel nicht. „Ich hätte,“ meinte der Onkel, „noch etwa folgendes angeführt: Wie bekannt, ist es in letzter Zeit gelungen, aus gewissen Mineralien Stoffe zu isolieren, die die merkwürdige Eigenschaft haben, Strahlen auszusenden, die in ihren Wirkungen denjenigen Strahlen gleich sind, die in der Vakuumröhre beim Durchgang der Elektrizität entstehen. Man hat drei verschiedene Arten der Strahlen unterschieden, die immer alle drei von den aktiven Stoffen — das bekannteste ist das Radium — ausgesandt werden. Die Unterschiede sind bedingt durch die Quantität, das Durchdringungsvermögen und durch die Beeinflussung des Magneten. Man bezeichnet die verschiedenen Arten mit α -, β - und γ -Strahlen. Die α -Strahlen sind die quantitativ vorherrschenden; sie haben ein geringes Durchdringungsvermögen und werden vom Magneten nur wenig beeinflusst. Die β -Strahlen werden stark vom Magneten abgelenkt und dringen tiefer in die Materie ein als die α -Strahlen. Die γ -Strahlen endlich haben die geringste magnetische Ablenkbarkeit und das größte Durchdringungsvermögen. Ganz analoge Unterschiede bestehen zwischen den unter verschiedenen Umständen entstandenen Strahlen der evakuierten Entladungsröhren. Man kann u. a. auch mit radiumhaltigen Stoffen Durchleuchtungsphotographien machen. Erwähnt sei endlich noch, daß in der Umgebung radiumhaltiger Stoffe die Luft leitend wird, so daß z. B. die statischen Ladungen isoliert aufgestellter Körper durch die Luft zur Erde abgeleitet werden.“



„Werte Zuhörer!

In meinem letzten Vortrage haben Sie von den räthselhaften Vorgängen gehört, die sich beim Durchgang der Elektrizität durch verdünnte Gase abspielen. Heute will ich Ihnen einige Erscheinungen vorsehnen, die auf den Laien gewöhnlich einen noch wunderbaren Eindruck machen, für die der Physiker aber verhältnismäßig leicht ungezwungene Erklärungen gefunden hat. Es handelt sich heute um elektrische Schwingungen.

Lassen Sie mich jedoch zuerst einige Worte über das verstehen, was man in der Physik unter Erklärung versteht!

Hebe ich einen Stein in die Höhe und lasse ihn dann los, so fällt er zu Boden. Den meisten Menschen ist dies etwas völlig Selbstverständliches, und sie fragen gar nicht danach, warum der Stein fällt. Selbst Galilei, der die Fallgesetze entdeckt hat, der sich jahrelang mit fallenden Steinen experimentell beschäftigt hat, dachte nicht daran zu fragen, warum die Steine fallen.

Erst der große Newton kam, als er — so erzählt man — einen Apfel vom Baume fallen sah, auf die bedeutungsvolle Frage: Warum?, eine Frage, die in der Philosophie schon vor Jahrtausenden von den Gelehrten der alten Kulturvölker aufgeworfen, die aber für naturwissenschaftliche Ereignisse im engeren Sinne vor noch nicht 250 Jahren zum ersten Male gestellt wurde.

Wenn Newton auch keine Antwort auf dieses „Warum?“ fand, so ward ihm doch klar, daß diese geheimnisvolle Tatsache des fallenden Steines selbst die Antwort sei auf die Frage nach der Ursache von tausend anderen Naturereignissen. Ja, nach dem jetzigen Stande der Wissenschaften will es sogar den Anschein haben, daß wir über-

haupt alle Naturerscheinungen mit diesem Gesetz der Schwere, dem Gravitationsgesetz, dem der fallende Stein unterliegt, erklären können. Ich sage alle Naturerscheinungen, nicht nur etwa die mechanischen, nein, auch die akustischen, die optischen, die elektrischen, die chemischen, die Erscheinungen des organischen und sogar des geistigen Lebens¹⁾.

Man sagt kurz, alle Naturereignisse können mit dem Gesetz der Schwere erklärt werden. Wenn ich z. B. frage: Warum dreht sich die Erde um die Sonne, und ich behaupte, weil ihre Masse dem Gravitationsgesetz unterliegt, kurz, weil sie schwer ist — genauere Ausführungen hierüber würden zu weit führen —, so habe ich nur scheinbar eine Erklärung der Bewegung abgegeben, weil das Mittel, mit dem ich erklärt habe, selbst noch ein Rätsel ist. Und so, wie es bei diesem Beispiel ist, ist es mit allen Dingen unseres Erkennens; wir mögen forschen und suchen, so lange wir wollen, wir mögen noch so viel entdecken, zuletzt bleibt immer ein großes Fragezeichen stehen.

Aber wenn man nichts erklären kann, was bedeutet denn dann das Wort erklären? Es bedeutet so viel wie vergleichen. Ich vergleiche die Gesetze, nach denen der Stein fällt, mit denen, nach welchen die Himmelskörper sich bewegen, und finde, daß sie ähnlich oder gleich sind, oder daß sie in bestimmten Beziehungen zueinander stehen.

Wenn ich jetzt die Erscheinungen der elektrischen Schwingungen zu erklären versuche, so vergleiche ich die Vorgänge mit Erscheinungen, die uns aus dem alltäglichen Leben geläufig sind. So habe ich früher schon z. B. den elektrischen Strom im Drahte mit dem Wasserstrom in einer Leitung verglichen¹⁾.

Doch nun zur Sache!

Sie wissen, daß man einen elektrischen Strom transformieren kann, das heißt, daß man einen starken Strom mit geringer Spannung in einen schwachen Strom mit hoher Spannung umwandeln kann. Die Konstruktion und Wirkungsweise der Transformatoren, der Induktions-

¹⁾ Vergleiche die Kritik am Ende des Vortrages.

apparate haben Sie in meinem vorletzten Vortrage kennen gelernt.

Es wird Ihnen noch erinnerlich sein, daß wir von den Funkeninduktoren eine umso größere Wirkung erhoffen durften, je plötzlicher wir den induzierenden Strom unterbrachen. Ich habe seinerzeit als den wirksamsten Unterbrecher den von Wehnelt, der bis zu 2000 Unterbrechungen in der Sekunde macht, erwähnt. Tatsächlich haben wir aber in einem Ihnen wohl vom ersten Vortrag her noch bekannten Apparat, in der Leidener Flasche ein Mittel, das uns erlaubt, durch den Induktionsapparat einen Strom zu senden, der in der Sekunde seine Richtung einige Millionenmal wechselt.

Um diese Erscheinung zu erklären, muß ich auf die Natur der elektrischen Funkenentladungen im allgemeinen näher eingehen.“

So weit vorläufig sei Rudis Vortrag wörtlich angeführt. Im folgenden wollen wir den Inhalt seiner Erklärungen und Experimente rein sachlich wiedergeben.

Elektrische Oszillation.

Wenn wir eine Leidener Flasche durch einen Funken entladen, so gleichen sich nicht etwa die entgegengesetzten Elektrizitäten der beiden Beläge einfach aus, sondern die Entladung geht recht umständlich vor sich. Während der Strom im ersten Augenblicke vom inneren zum äußeren Belege fließt, geht er im zweiten Augenblick in umgekehrter Richtung, im dritten wieder in der ursprünglichen und so fort, etwa 10- bis 20mal während der Dauer eines ungefähr $\frac{1}{80000}$ Sekunde andauernden Funkens, eine Entdeckung, die man dem Physiker Feddersen zu Leipzig verdankt.

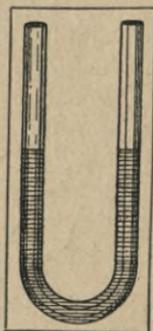


Abb. 192.
U = Röhre zur Veranschaulichung elektrischer Oszillation.

Dieses Hin- und Hergehen der Ladungen kann man durch ein einfaches Experiment leicht veranschaulichen. Man füllt die beiden Schenkel einer 1 bis 2 cm weiten, U-förmig gebogenen Glasröhre bis zur Hälfte mit irgend einer farbigen Flüssigkeit (Abb. 192). Darauf stellt man die Röhre schief, so daß sich der eine Schenkel ganz füllt,

während der andere leer wird, verschließt den gefüllten Schenkel mit dem Daumen und richtet dann die U-Röhre wieder auf. Nun soll der von der Flüssigkeit ausgefüllte Schenkel — es sei der rechte — die positive Ladung des einen Belages einer Leidener Flasche darstellen, der leere die negative Ladung des anderen Belages. Läßt man dann den Daumen los, so fließt die Flüssigkeit nicht etwa langsam zurück, bis sie auf beiden Seiten gleich hoch steht, wie bei dem Beispiel auf Seite 49, sondern sie schießt in dem linken Schenkel beinahe ebenso hoch in die Höhe, als sie zuerst im rechten war. Dann geht sie wieder zurück und so fort, bis sie erst nach einiger Zeit zur Ruhe kommt. In ähnlicher Weise, nur in viel kürzerer Zeit, schwanken die Ladungen der beiden Beläge einer Leidener Flasche hin und her.

Der Drehspiegel.

Rudi führte auch vor, wie man diese Tatsache nachgewiesen hat. Er hatte sich einen sogenannten Drehspiegel hergestellt; das ist eine Kombination von drei oder vier Spiegeln, die zu einem

Prisma zusammengestellt und so montiert sind, daß sie sehr rasch um ihre Längsachse gedreht werden können.

Rudi stellte sich diesen Drehspiegel folgendermaßen her: Er ließ sich von einem Glaser drei belegte Spiegelscheiben



Abb. 193. Der Drehspiegel.

schneiden, jede 15 cm lang und 9 cm breit. Diese Scheiben klebte er mit Kolophonium-Wachskitt (Seite 79) auf ein aus Brettchen gefertigtes dreiseitiges Prisma so auf, daß die

langen Seiten der Spiegel die Längskanten des Prismas bildeten. Das Aufkitten mußte sorgfältig geschehen und es durfte mit dem Kolophonium dabei nicht zu sparsam umgegangen werden, da die Scheiben, um nicht von der Zentrifugalkraft abgeschleudert zu werden, sehr fest sitzen müssen. Oben und unten wickelte Rudi über sie je einige Lagen Schnur und überstrich diese mit Tischlerleim. Die übrige Anordnung und die Vorrichtung zum Drehen geht wohl hinreichend deutlich aus der Abb. 193 hervor. Es sei nur noch erwähnt, daß die Achse des Spiegelprismas nicht zu schwach (mindestens 8 mm stark) gemacht werden durfte und ganz genau zentral sein mußte. Zum Antriebe verwendete Rudi das Übersetzungsrad der in Abb. 134 (Seite 160) dargestellten Maschine. Die stets gut zu ölen den Lager wurden in der üblichen Weise (Seite 22) hergestellt.

Den Versuch führte Rudi folgendermaßen aus: Er stellte so, wie das aus der Abbildung zu erkennen ist, eine Leidener Flasche (Seite 46 u. f.) dem Spiegel gegenüber auf. Um den äußeren Belag der Flasche legte er einen Blechstreifen, an dem ein 2 mm starker Kupferdraht angelötet war; dieser endete in eine kleine Messingkugel, die der durch eine Messingstange mit dem inneren Belag verbundenen gegenüber stand. Die Flasche wurde im mäßig verdunkelten Raum mit einem Funkeninduktor geladen, so daß ein kontinuierlicher Funkenstrom zwischen den Kugeln übersprang. Während nun Käthe den Funkeninduktor bediente, drehte Rudi den Spiegel und wies seine Hörer darauf hin, das Spiegelbild des Funkens zu betrachten. Dieses sah nicht, wie die meisten erwarteten, ebenso aus, wie der Funke selbst, sondern bei der Entladung sah man in dem Spiegel einen Lichtstreifen, der aber nicht zusammenhängend, sondern unterbrochen war; der Funke erschien im Spiegel als eine Reihe heller Punkte. Bevor Rudi diese Erscheinung näher erklärte, stellte er an Stelle der Leidener Flasche eine brennende Kerze auf, deren Spiegelbild beim Rotieren des Apparates zu einem kontinuierlichen Lichtband ausgezogen wurde.

„Was beweist dieser Versuch?“ begann unser junger Dozent die Erläuterung. „Sie wissen, daß ein Lichtstrahl

von einem Spiegel unter demselben Winkel zurückgeworfen wird, in dem er auffällt; in der gleichen Weise, wie ein Ball, der schief gegen die Wand geworfen wird, eben so schief, aber nach der anderen Seite, zurückprallt. Wenn die Lichtstrahlen der Kerzenflamme den ruhenden Spiegel treffen, so wird man ein unverändertes Bild sehen; dreht sich aber der Spiegel, so fallen die Lichtstrahlen in jedem Augenblick in einem anderen Winkel auf die reflektierende Fläche, werden deshalb auch in anderer Richtung zurückgeworfen. Die Folge davon ist, daß wir einen breiten zusammenhängenden Lichtstreifen sehen. Ist nun aber das Lichtband nicht zusammenhängend, sondern unterbrochen, so ist das ein Beweis dafür, daß die Lichtquelle nicht fort-dauernd Licht ausstrahlt. Dies Schwanken des Lichtes des elektrischen Funkens können wir mit unseren Augen deshalb nicht unmittelbar erkennen, weil jeder Lichteindruck länger empfunden wird, als er in Wirklichkeit andauert. Deshalb sehen wir auch die hellen Punkte des Lichtbandes gleichzeitig auftreten, während der folgende tatsächlich erst dann erscheint, wenn der vorausgegangene verschwunden ist¹⁾.

Diese Art einer elektrischen Entladung nennt man eine oszillierende Entladung und den dabei die Leiter durchfließenden Strom einen Wechselstrom hoher Frequenz.

Der Physiker Hertz hat nachgewiesen, daß von einem geladenen Leiter-system, das sich durch einen oszillierenden Funken ausgleicht, Wellen ausgingen, die selbst zwar unsichtbar waren, aber sich nach denselben Gesetzen fortpflanzen wie die Lichtstrahlen, deren Wellennatur zuerst von Newton geahnt, später von Maxwell erkannt und in bestimmte Gesetze formuliert wurde.

Die Versuche, die beweisen, daß sich von einem oszillierenden Funken aus elektrische Wellen in den Raum ausbreiten, will ich nun hier vorführen. Ich muß jedoch vorher noch auf ein von Hertz angestelltes Experiment hinweisen, das ich leider nicht vorführen kann, da es mir trotz vieler Versuche infolge unzureichender Hilfsmittel nie gelang.

Hertz konstruierte einen Apparat, den Sie im Schema auf der Tafel hier aufgezeichnet sehen. (Räthe hängt eine Tafel

¹⁾ Siehe die Kritik am Ende des Vortrags.

auf, deren Zeichnung Abb. 194 wiedergibt, und zeigte die von Rudi genannten Teile.) Mit J ist der Funkeninduktor bezeichnet, dessen sekundäre Pole durch eine Funkenstrecke F miteinander verbunden sind. Von dieser Funkenstrecke sind nach

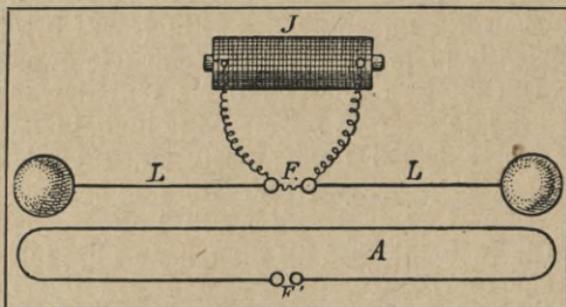


Abb. 194. Schema des Hertz'schen Wellenversuchs.

beiden Seiten hin die Drähte L gespannt, die in Kugeln enden. Wurde der Funkeninduktor in Tätigkeit gesetzt, so ging bei F. ein Funkenstrom über und von den mit F. verbundenen Drähten gingen elektrische Wellen aus, die imstande waren, in dem fast zu einem Kreis geschlossenen Leiter A Ströme hervorzurufen. Diese äußerten sich durch Entstehen von kleinen Züncchen bei F'.

Der Fritter.

Aber gerade in der Kleinheit dieser Züncchen liegt die Schwierigkeit der Versuche. Ich bediene mich deshalb im folgenden eines Apparates, der von Branly erfunden wurde, des sogenannten Fritters oder Kohärers. Sie sehen auf der zweiten Tafel das Schema eines Kohärers aufgezichnet. (Hier hielt Rätke eine Tafel vor, auf der die in Abb. 195 wieder-gegebene Zeichnung zu sehen

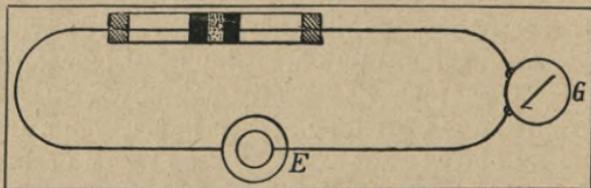


Abb. 195. Der Fritter (Schema).

war.) In einer Glasröhre befinden sich zwei Metallkolben, zwischen denen sich feine Metallfeilspäne befinden. Da der Kontakt der losen Feilspäne sehr schlecht ist, so bietet eine derartige Röhre dem Strom eines galvanischen Elementes einen fast unüberwindlichen Widerstand. Wenn

wir also diese Röhre, den Fritter, mit einem Galvanoskop G in den Stromkreis eines Elements E schalten, so zeigt das Galvanoskop auf Stromlosigkeit. Wird aber der Fritter von elektrischen Wellen getroffen, so sinkt der Widerstand der Feilspäne sofort bis auf ein ganz geringes Maß, und die Nadel des Galvanoskopes schlägt kräftig aus. Diesen Versuch kann ich Ihnen hier vorführen.“

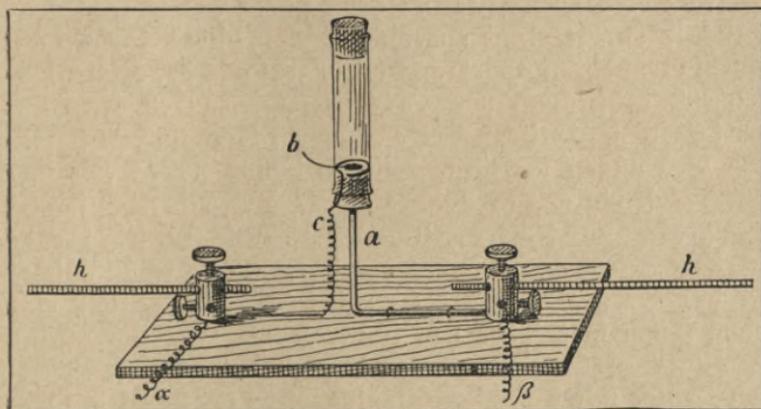


Abb. 196. Der Fritter.

Rudi führte den Versuch hierauf mit einem selbstgefertigten Fritter aus, dessen Konstruktion hier beschrieben sei.

An das Ende eines etwa 7 cm langen und 2 mm starken Kupferdrahtes (a in Abb. 196 und 197) wird ein etwa 3 mm großes dünnes Silberplättchen b gelötet, das man aus einem Silberdraht durch Hämmern herstellt. Aus dem Rest des Silberdrahtes, den man sich von einem Juwelier beschafft — es braucht kein reines Silber, sondern kann eine geringere Legierung sein —, biegt man den Ring c, der etwa 4 bis 5 mm weit sein soll. Man kann übrigens hierzu statt Silber auch Nickel, im Notfall auch Zinn verwenden. Andere Metalle, wie Kupfer oder Eisen,

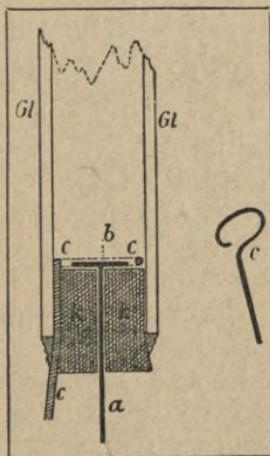


Abb. 197. Zum Fritter.

sind nur bei den größten Versuchen verwendbar. Jetzt wird ein etwa 5 bis 6 mm dicker Kork (k) in der Mitte durchbohrt, und der Draht a wird so hindurchgesteckt, wie dies aus den Abbildungen hervorgeht. Seitlich erhält der Kork eine Rinne zur Aufnahme des Drahtes c. Diese Teile werden so in eine passend weite Glasröhre (Gl) eingesteckt, daß b konzentrisch in c liegt; beide Teile sollen in derselben Höhe auf dem oberen Korkrand aufliegen. Kork und Glas werden noch mit heißem Siegelack abgedichtet. Wie dieser Apparat auf einem Grundbrett angebracht wird, geht aus der Figur hinreichend deutlich hervor. Die Klemmschrauben seien mit zwei übereinanderliegenden, zueinander rechtwinkelig stehenden Bohrungen versehen. Die Feilspäne stellen wir uns durch Beseilen eines Fünfspennigstückes — Nickel — so her, daß gröbere und feinere Feilspäne entstehen. Je mehr Späne in das Röhrchen eingefüllt werden, um so empfindlicher ist der Apparat. Für die meisten Versuche genügt eine etwa 2 mm hohe Lage von Feilspänen.

Zur Vorführung des ersten Experimentes schaltete Rudi den Fritter mit dem Vertikalgalvanoskop (Seite 91 u. f.) in den Stromkreis eines Elementes und ließ dann etwa 50 cm von dem Fritter entfernt aus einem Elektrophordeckel (Seite 5) ein Fünkchen in seinen Finger überspringen. In demselben Augenblick zeigte das Galvanoskop einen starken Strom an.

Die Erklärung für diese Erscheinung lautet folgendermaßen: Wird der Fritter von elektrischen Wellen getroffen, wie sie immer von einem elektrischen Funken ausgehen, so treten zwischen den einzelnen einander nur lose berührenden Feilspänen kleine Fünkchen auf — aus demselben Grunde, weshalb bei dem Herz'schen Versuch bei F' in Abb. 194 Fünkchen auftreten —, die die kleinen Metallkörnchen gewissermaßen zusammenschweißen, welcher Umstand dann das Herabsinken des Widerstands zur Folge hat. Diese Erklärung ist einfach und bei oberflächlicher Betrachtung sehr einleuchtend, wird aber aus verschiedenen Gründen, auf die ich hier nicht näher eingehen kann, stark angegriffen.

Wird der leitende Fritter, nachdem er von elektrischen Wellen getroffen wurde, erschüttert, so werden dadurch die verschweißten Feilspäne wieder voneinander getrennt. Das

Galvanoskop wird deshalb zurückgehen und wieder Stromlosigkeit anzeigen, sobald man den Fritter z. B. mit einem Holzstäbchen anschlägt.

„Mit diesem Fritter“, erklärte Rudi weiter, „haben wir nun ein empfindliches Reagens auf elektrische Wellen. Mit der Erfindung dieses Apparates war auch der erste Schritt getan zur praktischen Verwendung dieser geheimnisvollen Kraft, zur sogenannten drahtlosen Telegraphie oder Funkentelegraphie. Letztere Bezeichnung ist die bessere, da man kaum zu anderen Apparaten so viel Draht braucht, als gerade zu denen der drahtlosen Telegraphie.“

Bevor ich jedoch die Funkentelegraphie bespreche, möchte ich einige Versuche vorführen, die geeignet sind, Sie über das Wesen der elektrischen Wellen aufzuklären.

Wir können die elektrischen Wellen in vielen ihrer Erscheinungsformen ungezwungen mit entsprechenden Erscheinungen der Luftwellen vergleichen. Man nimmt deshalb auch an, daß es ein Medium gebe, das sich zur Elektrizität ebenso verhält, wie die Luft zum Schall. Der Schall ist eine Wellenbewegung der Luft; wo keine Luft ist, kann auch kein Schall sein. Den Schall erzeuge ich dadurch, daß ich die Luft in rhythmische Schwingungen versetze, etwa durch Anschlagen einer Stimmgabel, einer Saite u. s. w. Das Medium nun, in dem sich die Elektrizität und das Licht fortpflanzt, ist für keinen unserer Sinne wahrnehmbar; man hat ihm den Namen Äther gegeben. Der Äther muß eine ungemein leichte, alle Stoffe durchdringende und den ganzen Weltenraum erfüllende Substanz sein. Wie ähnlich die elektrischen Schwingungen einerseits analogen Erscheinungen beim Licht, andererseits beim Schall sind, will ich Ihnen durch einige Experimente beweisen.“

Bevor wir nun Rudis weitere Erklärungen wiedergeben, wollen wir zuerst wieder die Herstellung der Apparate beschreiben, die Rudi zu seinen Vorführungen gebrauchte.

Die Resonanz.

Das erste hierhergehörige Experiment Rudis zeigte die elektrische Resonanz. Zum Vergleich mit den analogen Erscheinungen:

des Schalles führte er zuerst die akustische Resonanz vor. Er hatte zwei Stimmgabeln, die auf kleinen Resonanzkästchen befestigt waren und von denen die eine durch einen verstellbaren Gleitschuh auf verschiedene Töne abgestimmt werden konnte. Er stellte die beiden Stimmgabeln, die in der Tonhöhe um eine Terz differierten, so auf, daß sich die offenen Seiten der beiden Resonanzkästchen in einem Abstand von etwa 20 cm gegenüberstanden. Rudi schlug zuerst beide Gabeln kurz nacheinander mit einem Holzhämmerchen an, so daß man die Tondifferenz hören konnte; dann schlug er eine allein an ¹⁾, ließ sie ein paar Sekunden tönen und brachte sie dann durch Umfassen mit der Hand zum Schweigen. Letzteres wiederholte er noch zweimal und forderte seine Zuhörer auf, genau aufzumerken. Dann stimmte er die eine Gabel durch Verstellen des Gleitschuhes genau auf die andere ab und schlug beide nacheinander kurz an, so daß man die Tongleichheit erkennen konnte. Darauf versetzte er wieder eine allein in Schwingung und umfaßte sie nach ein paar Sekunden, wie zuerst mit der Hand; trotzdem hörte man den Ton noch ganz deutlich weiter klingen. Bevor jedoch der Ton von selbst verklungen war, berührte er auch die zweite Gabel, und sofort war nichts mehr zu hören. Auch diesen Versuch wiederholte Rudi noch ein paarmal.

Diese Experimente führte Rudi aus ohne ein Wort dazu zu sprechen, von kurzen Aufforderungen zum Aufmerksamwerden abgesehen. Ebenso schweigend verhielt er sich bei dem folgenden Versuch, der die entsprechende elektrische Erscheinung vorführte.

Für diesen Versuch sind zwei möglichst gleiche Leidener Flaschen nötig. Rudi hatte dazu zwei zylindrische Gläser verwendet (siehe Seite 46 u. f.), die 30 cm hoch waren und nahe 15 cm im Durchmesser hatten. (Je kleiner die Flaschen sind, umso schwerer gelingt der Versuch!) Jede der Flaschen erhielt einen um ihren äußeren Belag gelegten

¹⁾ Besser ist es, die Gabeln mit einem Cello- oder Baßgeigenbogen, der reichlich mit Kolophonium zu versehen ist, anzustreichen; man zieht den Bogen dabei über die Endflächen der Gabelzinken.

Blechstreifen (B in Abb. 198 und 199), an dem bei der einen Flasche (Abb. 198) ein gerader, etwa 2 mm starker und 30 cm langer Draht (D_2) angelötet war; bei der anderen Flasche war ein ebensolcher Draht (D) in der aus Abb. 199 ersichtlichen Form gebogen, an seinem Ende mit einer Kugel versehen und durch den Träger T gestützt, der aus Glas, Hartgummi oder Vulkanfaser hergestellt war, auf dem Flaschenrand aufsaß und mit Schellacktitt (s. S. 5 u. 79) angefittet war. Dem Knopf der ersten Leidener Flasche gegenüber war, wie Abb. 198 zeigt, ebenfalls ein Metallknopf befestigt, an dem der Draht D_1 angelötet war, D_1

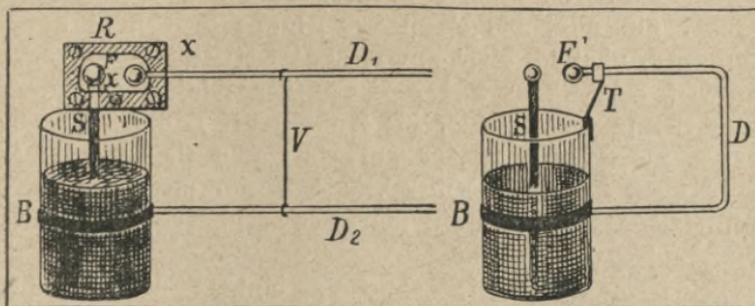


Abb. 198.

Abb. 199.

Leidener Flaschen für Resonanzversuche.

stand zu D_2 parallel. D_1 wurde von dem Rähmchen R gehalten, das aus Hartgummi oder Vulkanfaser hergestellt war. Aus 2 bis 3 mm dicken Faser- oder Ebonitplatten sägte er sich dazu zwei gleiche Rähmchen, versah sie an den in Abb. 198 mit x bezeichneten Stellen mit Kerben, in denen die Stange S und der Draht D_1 knapp Platz fanden. S und D_1 wurden dann in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise zwischen den beiden Rähmchen, indem diese mit Schrauben zusammengezogen wurden, eingeklemmt. Ferner wurden D_1 und D_2 durch einen verschiebbaren Draht V miteinander verbunden.

Man kann auch D_1 direkt an den Knopf der Stange S anlöten. Dann muß man aber noch eine besondere Funkenstrecke dadurch herstellen, daß man einen Streifen Stanniol so über den Rand der Flasche legt, daß er den inneren Belag berührt, von dem äußeren aber einige Milli-

meter entfernt bleibt. Die Resonanzentladung geht dann zwischen dem Streifen und dem äußeren Flaschenbelag über.

Diese beiden Flaschen stellte Rudi in einem Abstände von etwa 50 cm so auf, daß die Ebenen der beiden Schließungskreise einander parallel waren. Der Bügel V war fast bis an das Ende der Drähte D_1 und D_2 geschoben. Die Flasche, die Abb. 199 darstellt — sie heiße fernerhin A, die andere B —, ließ er durch Rätche mit seiner Influenzmaschine laden, so daß in kurzen Intervallen bei F Funken überschlügen. Dann verschob er mit einem Glasstab den Bügel V der Flasche B langsam nach innen; kaum hatte V einen bestimmten Punkt erreicht, als auch bei F an der Flasche B Funken übersprangen, obgleich diese mit keiner Elektrizitätsquelle verbunden war. Wurde das Laden der Flasche A unterbrochen, so hörten auch die Funken bei B auf. Traten bei A die Funken wieder auf, so traten sie auch bei B auf, aber nur, wenn der Bügel V sich an einer ganz bestimmten Stelle befand; wurde er verschoben, so blieben die Funken aus.

Nachdem Rudi diese Erscheinung einige Male möglichst demonstrativ vorgeführt hatte, begann er die Erklärung:

„Bei dem Versuch mit den Stimmgabeln haben Sie gesehen oder vielmehr gehört, daß, wenn beide Gabeln auf den gleichen Ton abgestimmt waren, auch beide erklangen, selbst wenn nur die eine angeschlagen wurde. Die Gleichheit der Tonhöhe, das heißt der Schwingungszahl in der Sekunde bei beiden Gabeln war dabei notwendig, denn wenn sie auf verschiedene Töne abgestimmt waren, gelang der Versuch nicht.

Ganz ähnlich verhielten sich die Dinge bei den Leidener Flaschen. Was bei der Stimmgabel der Ton ist, ist hier der Funke; dem verstellbaren Gleitschuh dort entspricht hier der Drahtbügel, den ich hin und her schieben kann.

Wenn ich die eine der gleichgestimmten Gabeln anschlage, so geraten ihre elastischen Zinken in Schwingungen; diese Schwingungen erschüttern die Luft, und es entstehen Luftwellen, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit von der Stimmgabel wegbewegen. Wenn man sich von diesem

Vorgang ein Bild machen will, so denke man an die Wellenkreise, die ein in ein ruhiges Wasser geworfener Stein verbreitet. Diese Luftwellen schlagen nun in einem ganz bestimmten Takt, der eben dem betreffenden Ton eigen ist, an die andere Stimmgabel; da diese aber fähig ist, in dem gleichen Takt zu schwingen — sie ist ja auf die gleiche Tonhöhe abgestimmt —, so muß sie den rhythmisch anschlagenden Luftwellen nachgeben, das heißt sie gerät selbst in Schwingungen.

Ganz ähnlich verhält es sich bei den Leidener Flaschen. Entladet sich eine solche Flasche durch einen Funken, so geraten dabei die leitenden Teile in einen Zustand, den man nicht näher definieren kann, der aber dem Aether in ganz ähnlicher Weise wie die Stimmgabel der Luft rhythmische Stöße erteilt, so daß er von einer Wellenbewegung durchzittert wird. Treffen diese Wellen, die in einem ganz bestimmten Takt aufeinander folgen, an das Leitungssystem der anderen Flasche, so gerät dieses ebenfalls in jenen Zustand — was sich durch das Auftreten von Funken äußert —, wenn es auf die gleiche Schwingungszahl abgestimmt ist (siehe auch die Kritik am Ende des Vortrages). Die Schwingungszahl eines derartigen Systemes hängt ab von Form und Größe der Flaschen und des Drahtkreises, durch den die Entladung vor sich geht.

Diesen Vorgang bezeichnet man in der Akustik wie in der Elektrizitätslehre als Resonanz; ebenso finden wir in der Optik ähnliche Erscheinungen, und auch in der Mechanik gibt es eine Resonanz, wie ich Ihnen mit diesem Apparat zeigen will.“

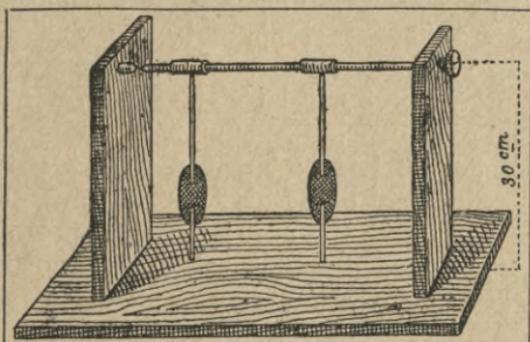


Abb. 200. Resonanzpendel.

Hier stellte Rätke in den Vordergrund des Experimentirischen einen Apparat, dessen Konstruktion aus Abb. 200 und der nun folgenden Beschreibung Rüdigs für den Leser hinreichend klar hervorgehen wird.

„Hier wird eine Messingstange von den beiden Holzträgern so gehalten, daß sie sich leicht um ihre Längsachse drehen kann. Über diese Messingstange sind zwei Rohrstückchen geschoben, die ebenfalls beweglich sind. An jedem der Röhrchen ist ein dicker Draht angelötet, an dem sich eine runde Scheibe aus Bleiblech heraus- und herunterschieben läßt. Ich habe hier also zwei Pendel, deren Länge ich beliebig verändern kann.

Nun ist es ein bekanntes Gesetz aus der Mechanik, daß ein Pendel umso rascher schwingt, je kürzer es ist und umgekehrt, wie bei der Stimmgabel. Ich will jetzt das eine Pendel ziemlich lang, das andere möglichst kurz machen — Rätke schob die eine der Bleiplatten ganz nach oben, die andere ganz herunter, hielt die Messingstange in der Mitte fest und versetzte beide Pendel in Schwingung —. Sie sehen, das lange Pendel braucht viel mehr Zeit, um einmal hin und her zu gehen, als das kurze. Jetzt sind beide Pendel in Ruhe; ich stoße das kürzere an; es schwingt allein, obgleich die gemeinsame Achse infolge der Reibung dieses Röhrchens sich ebenfalls bewegt und man meinen sollte, daß diese Bewegung auch dem langen Pendel mitgeteilt würde. Jetzt will ich einmal das kurze zur Ruhe bringen und das lange in Schwingungen versetzen: auch das ist nicht im Stande, seinem Nachbar seine Bewegung mitzuteilen.

Nun will ich sie aber einmal beide gleich lang machen und das eine anstoßen: Sie sehen, schon nach drei, vier Schwingungen beginnt der Nachbar mitzuschwingen — und jetzt pendeln sogar beide gleich stark.

Näher kann ich hier auf diese mechanischen Erscheinungen nicht eingehen. Das letzte Beispiel möge nur zur Veranschaulichung der elektrischen Resonanz dienen.“

Interferenz. Die zweite hierher gehörige elektrische Erscheinung, die ebenfalls ihr Gegenstück bei der Akustik hat, ist die Interferenz.

Die Experimente, die die akustische Interferenz nach-

weisen, sind nicht gut für viele Zuhörer vorzuführen. Rudi beschränkte sich deshalb darauf, die Tatsachen an zwei schematischen Zeichnungen zu erklären.

Denken wir uns einen Schallwellenzug schematisch durch eine wirkliche Wellenlinie aufgezeichnet (A in Abb. 201); gleichzeitig sei ein zweiter Wellenzug dargestellt (B), der

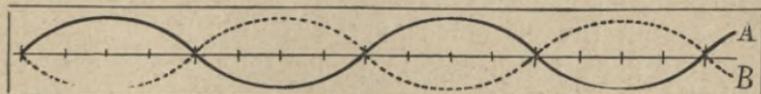


Abb. 201. Interferenz zweier Wellenzüge.

um eine halbe Wellenlänge gegen den ersten verschoben ist. Wir sehen, daß die Resultierende aus beiden Linien gleich Null ist, das heißt die beiden Töne müssen einander auch in der Wirklichkeit, wenn sie so zusammenfallen, aufheben, sie müssen verstummen.

Diese Tatsache wird mit dem Interferenzrohr nachgewiesen, dessen Einrichtung aus Abb. 202 hervorgeht. Wir sehen hier ein Rohrsystem, das bei c seinen Eingang hat, sich bei α in den oberen festen Gang A und den unteren veränderbaren B teilt, sich bei β wieder vereinigt und bei d ausläuft.

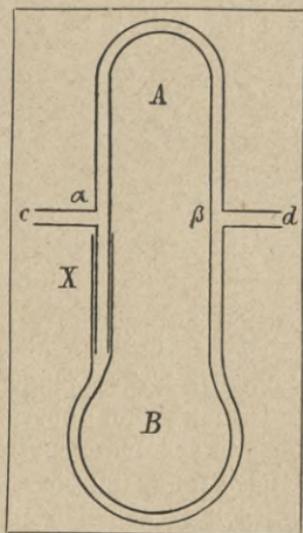


Abb. 202. Interferenzrohr.

Erzeuge ich bei c einen Ton, so entstehen Luftwellen, die sich durch A und B fortpflanzen und bei d ausströmen; man wird also bei d den Ton hören — oder nicht hören, je nachdem sich die Länge des Weges A zu der des Weges B verhält. Höre ich bei d, während der Ton bei c andauert, und verändere gleichzeitig die Länge des Weges B durch Zusammenschieben oder Auseinanderziehen der Röhren bei x, so werde ich wahrnehmen, daß der Ton bald verstummt, bald wieder ertönt. Das rührt daher, daß bei einem gewissen Verhältnis der Weglänge A zu der Weg-

länge B die sich bei β vereinigenden Schallwellen so treffen, wie es in Abb. 201 gezeichnet ist: Ein Wellenberg und ein Wellental treffen gerade zusammen und heben einander auf, die Tonstärke ist gleich Null. Dies kann bei verschiedenen Längen von B der Fall sein; dann ist die Strecke, um die ich B verlängern oder verkürzen muß, um den Ton gerade zweimal zum Verstummen zu bringen, ein unmittelbares Maß für die Gänge der betreffenden Schallwelle.

Eine ganz ähnliche Erscheinung können wir bei den elektrischen Wellen nachweisen. Die Apparate, die zu diesen Versuchen nötig sind, können wir uns leicht selbst herstellen.

Zuerst müssen wir uns einen Blechkasten fertigen, in dem der Funkeninduktor samt der ihn treibenden Akkumulatorenbatterie untergebracht werden kann. Der Blechkasten muß einen Deckel haben, dessen Ränder weit übergreifen und fest anliegen. Ferner muß an ihm vor der Stelle,

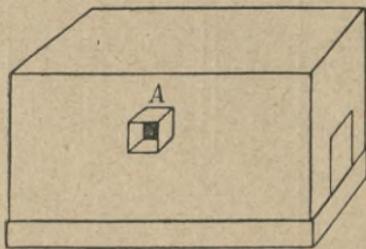


Abb. 203. Blechkasten für den Funkeninduktor.

von der die elektrischen Wellen ausgehen, ein offenes Anfahrrohr A (Abb. 203) befestigt sein, das einen quadratischen Querschnitt mit etwa 4 cm Seitenlänge und eine Länge von etwa 5 cm hat. Vorteilhaft ist es, wenn man die Apparate in dem Deckel zusammenstellt und

dann den Kasten umgekehrt darüberstülpt. An dem Blechkasten muß auch außerdem noch eine Öffnung sein, durch die man zu der Kontaktvorrichtung für den primären Strom gelangen kann, um die Tätigkeit des Funkeninduktors hervorzurufen oder abstellen zu können. Diese Öffnung muß aber durch eine Schiebeflappe gut verschließbar sein.

Der zweite Apparat, der ebenfalls noch in dem Kasten Platz finden muß, ist der Sender oder Radiator, von dem die elektrischen Wellen erzeugt werden. Dieser Radiator wird ähnlich hergestellt wie der auf Seite 252 beschriebene und in Abb. 207 dargestellte¹⁾, nur unter Verwendung

¹⁾ Er kann viel einfacher sein; der Petroleumbehälter ist nicht unbedingt nötig.

von etwas kleineren Kugeln (etwa 3 cm Durchmesser). Wie der Radiator so über dem Funkeninduktor anzubringen ist, daß er möglichst wenig Platz in Anspruch nimmt, überlasse ich der Phantasie des Lesers. Nur darauf sei noch hingewiesen, daß die Wände des Kastens überall von den Klemmen des Funkeninduktors genügenden Abstand haben müssen, da die Entladung sonst statt durch den Radiator durch das Blech vor sich geht.

Wir kommen jetzt zur Herstellung des Interferenzrohres. Wer im Bearbeiten von Blech bewandert ist, verfertigt sich diesen Apparat ganz aus dünnem Weißblech; wer sich das jedoch nicht zutraut, macht ihn aus Pappe, die innen und außen vollkommen mit starkem Stanniol überzogen wird. Das Rohr, dessen Schnitt Abb. 204 zeigt, hat einen quadratischen Querschnitt mit 4 bis 5 cm Seitenlänge. Der Teil B ist, wie schon aus der Abbildung erhellt, so eingerichtet, daß er, ähnlich wie eine Posaune, ausgezogen oder eingeschoben werden kann. Dabei müssen die äußeren Rohrwände sich möglichst genau den inneren anlegen. Zur Verminderung der Reibung öle man die in Betracht kommenden Teile ein. Bei α und β setze man gemäß Abb. 204 je zwei Spiegel ein, die aus Stanniol mit Unterlage von Pappe angefertigt werden. Sie dienen zur Reflexion der Wellen.

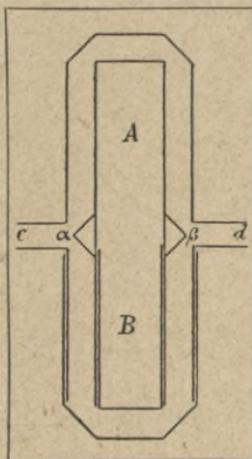


Abb. 204. Interferenzrohr.

Nun wollen wir sehen, wie Rudi die Experimente mit diesen Apparaten ausführte.

Auf einer hinreichend hohen Unterlage stellte Rudi den Blechkasten mit den eingeschlossenen Apparaten derart auf, daß das Ansatzrohr nach rechts zeigte; über letzteres schob er den Ansatz c des Interferenzrohres, dessen feste Hälfte A auf dem Boden des Tisches aufstand. Ungefähr 30 cm von der Öffnung d entfernt, aber genau in gleicher Höhe vor derselben, stellte er den

oben beschriebenen Fritter auf, in den für diesen Versuch möglichst wenig Feilspäne einzufüllen sind und den er so mit einer elektrischen Glocke zusammengestellt hatte, wie aus Abb. 205 hervorgeht. An den Klöppel der Klingel hatte er einen starken Draht *a* angelötet, der so gebogen war, daß er, wenn die Glocke in Tätigkeit gesetzt wurde, an den Fuß des Fritters schlagend diesen erschütterte.

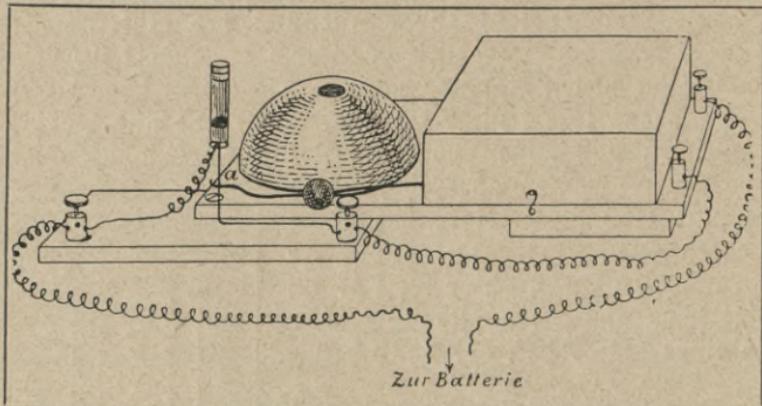


Abb. 205. Fritter mit Glocke und Schüttelvorrichtung.

Das Glockenbrett war durch eine Schraube fest mit dem Fritterbrett verbunden. Wie er zur Vorführung der Experimente die Apparate mit einem Element in leitende Verbindung brachte, erhellt aus Abb. 205.

Sobald nun Rudi den Funkeninduktor in Bewegung setzte, begann die Glocke zu ertönen, da der Fritter von elektrischen Wellen getroffen wurde und deshalb dem vom Elemente kommenden Ströme keinen Widerstand mehr entgegensetzte. Die Glocke ertönte aber nur so lange, als der Funkeninduktor in Tätigkeit war; denn die Leitungsfähigkeit des Fritters wurde durch das Anschlagen des Drahtes *a* mit jedem Hammerschlage der Glocke aufgehoben, um, so lange als er von elektrischen Wellen getroffen wurde, sofort wieder hergestellt zu werden. Blieben die Wellen aus, so blieb auch die Leitungsfähigkeit des Fritters aus, und die Glocke mußte verstummen.

Diesen Vorgang erläuterte Rudi ziemlich eingehend,

da er für die praktische Anwendung der drahtlosen Telegraphie sehr wichtig ist.

Jetzt erst führte Rudi den eigentlichen Interferenzversuch aus. Er setzte den Funkeninduktor in Tätigkeit, so daß die Glocke ertönte; dann zog er den Teil B des Interferenzrohres langsam aus; der Glockenton wurde schwächer und hörte plötzlich ganz auf, weil jetzt der Weg B um eine halbe Wellenlänge länger war als der Weg A und deshalb die Wellen bei β in der schon oben angegebenen Weise einander trafen und aufhoben.

Die Stelle des einen Schenkels des Interferenzrohres, die der Rand des Auszugrohres bezeichnete, als die Glocke aufhörte zu klingeln, markierte Rudi durch Ankleben eines gummierten Papierstreifchens. Darauf zog er das Rohr langsam weiter aus; die Glocke begann wieder zu tönen und verstummte wieder. Sobald als die Glocke wieder ruhig geworden war, zog Rudi das Rohr nicht mehr weiter aus, sondern beließ es an der Stelle und maß darauf die Strecke von der Papiermarke bis zum Rand des Rohres B. Es zeigte sich, daß die gemessene Strecke etwa 3 cm lang war; daraus ergibt sich also eine Wellenlänge von 6 cm.

Reflexion und Brechung.

Für die nächsten Versuche stellte Rudi die Apparate in dem Blechkasten ohne Unterlage auf den Tisch. Statt des Interferenzrohres steckte er ein etwa 15 cm langes und 4 cm weites, gerades Rohr auf den Ansatz des Blechkastens. Wenn nun in dem Radiator Funken übersprangen, so kam aus dem Rohr ein gerades Bündel von elektrischen Wellen heraus. Rudi konnte mit dem mit der Glocke verbundenen Fritter genau die Stellen des Raumes bestimmen, welche von elektrischen Wellen durchsetzt waren. Er stellte den Fritter 1 m von der Rohrmündung entfernt so auf, daß die Glocke ertönte, und schob dann zwischen die beiden Apparate zuerst ein großes Brett, dann einen Pappendeckel; die Gegenstände müssen groß sein, da sich die verhältnismäßig langen Wellen ähnlich den Schallwellen leicht um sie herumbeugen; die Glocke tönte unverändert weiter; als er aber eine Blechscheibe dazwischenstellte, schwieg die Klingel. Die Blechscheibe war den Wellen

also ein Hindernis, das sie nicht überwinden konnten, während sie durch eine Glasscheibe, durch eine Tortenplatte aus Steingut oder Porzellan, durch Hartgummi hindurchgingen. Es zeigte sich also, daß die Metalle, also die Stoffe, die im allgemeinen als Leiter der Elektrizität bekannt sind, die elektrischen Wellen aufhalten, während die Isolatoren ihnen den Durchtritt gestatten.

Der nächste Versuch bestand darin, daß Rudi den Fritter ganz aus dem Bereiche des elektrischen Wellenstrahles herausrückte, so daß die Glocke verstummte. Dann hielt

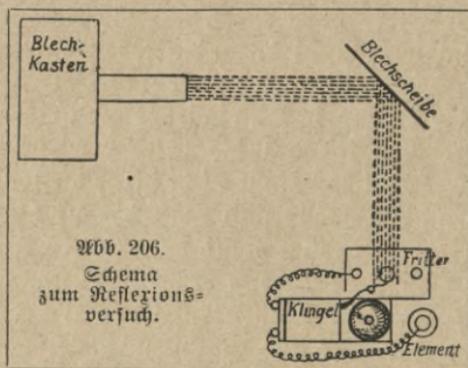


Abb. 206.
Schema
zum Reflexions-
versuch.

er eine ebene Blechscheibe so in die Richtung des Wellenstrahles, daß dieser, in einem bestimmten Winkel auffallend unter dem gleichen Winkel nach der anderen Seite zurückgeworfen (reflektiert), den Fritter traf, was das Ertönen der Glocke anzeigte. Abb. 206

zeigt im Aufsatz die Aufstellung der Apparate und den Gang des Wellenstrahles.

Ein weiterer Versuch zeigte die Brechbarkeit der elektrischen Wellen beim Durchgang durch verschieden dichte Medien. Wie eine Konvexlinse die Lichtstrahlen, die parallel die Linse treffen, so bricht, daß sie sich hinter der Linse in einem Punkt vereinigen, so kann man auch die elektrischen Wellenstrahlen in einer Konvexlinse sammeln.

Rudi stellte den Fritter so weit von dem Blechkasten entfernt auf — aber genau in der Richtung des Ansatzrohres —, daß die Glocke eben nicht mehr ertönte. Dann hielt er vor den Fritter einen mit Petroleum gefüllten Glaskolben — eine Kochflasche von 1 bis 1½ Liter Inhalt —, und die Glocke ertönte laut. Die in jener Entfernung schon sehr zerstreuten Strahlen wurden in der Kochflasche gesammelt und hinter ihr gerade im Fritter in einem Punkte vereinigt.

Die geeignetste Entfernung der Flasche vom Fritter stellte Rudi schon vor dem Vortrage durch Probieren fest.

„Durch diese Versuche“, sprach Rudi weiter, „und noch manche andere, die ich hier nicht vorführen kann, hat man die große Ähnlichkeit der elektrischen Wellen mit den Lichtwellen nachgewiesen, und es ist erwiesen, daß sowohl dem Licht wie auch der Elektrizität daselbe Medium, der an sich freilich noch hypothetische Äther, zur Fortbewegung dient. Der Äther erfüllt den ganzen Raum. Wir können in ihm sich rasch fortpflanzende Schwingungen erzeugen und haben auch die Möglichkeit, das Vorhandensein solcher Schwingungen nachzuweisen. Damit ist theoretisch das Problem der drahtlosen Telegraphie gelöst. In der Praxis aber gestalten sich die Verhältnisse doch sehr viel umständlicher. Sie haben schon bei dem letzten Versuche gesehen, daß mit wachsender Entfernung die Wirkung der elektrischen Wellen auf den Fritter abnimmt und schließlich aufhört. Man hat deshalb zuerst versucht, die elektrischen Wellen ähnlich wie das Licht in einem Scheinwerfer, in einem Parabolspiegel zu erzeugen und ebenso mit einem Parabolspiegel, in dessen Brennpunkt sich der Fritter befand, aufzufangen. Ich könnte Ihnen diese Parabolspiegelversuche hier vorführen; doch da sie eigentlich nichts Neues zeigen, so nehme ich davon Abstand. Wichtiger ist es, daß man die Fernwirkung der elektrischen Wellen dadurch sehr wesentlich verstärken kann, daß man mit den die Wellen erzeugenden und empfangenden Teilen der Apparate lang ausgestreckte und frei endende Drähte verbindet.“

Bevor wir die nun folgenden Ausführungen Rudis anhören, wollen wir sehen, wie er sich die verschiedenen für die Experimente nötigen Apparate hergerichtet hatte.

Der Sender.

Der Sender wurde schon erwähnt, aber noch nicht genau beschrieben. Er ist in Abb. 207 gezeichnet. Zwei Metallkugeln A und A' von 5 bis 6 cm Durchmesser (über die Herstellung der Metallkugeln siehe Seite 7) werden gut angewärmt und ganz mit einem Überzug von rotem Siegelack, dem, um ihm die Sprödigkeit zu nehmen, einige Tropfen Leinöl zugefügt sind, überzogen. Ein dicker Schellacküberzug (siehe Seite 5)

tut die gleichen Dienste. Bei jeder Kugel wird dann an zwei einander gegenüberliegenden Stellen eine 0,5 bis 1 cm große Stelle von dem Überzug befreit.

Die Befestigung der Metallkugeln in einem Holzgestell ist hinreichend deutlich aus der Abbildung zu erkennen: Auf dem Grundbrett G sind zwei mit runden Ausschnitten versehene Trägerbrettchen T befestigt und durch die Querleiste Q fest miteinander verbunden. Auf den Trägern sitzen, durch Vulkanfaserklößchen vom Holze isoliert, die beiden Klemmen K_1 , welche mit A, und K_2 , welche mit A' metallisch verbunden ist. Bevor wir jedoch diese Verbindung herstellen und die Entfernung von T und T' bestimmen, werden die beiden Kugeln durch den Ring H fest miteinander verbunden. Der Ring, der so weit und breit sein muß, daß, wie aus der Abbildung ersichtlich, die daraufgesteckten Kugeln mit je einer vom Siegellack befreiten Stelle etwa 1 bis 5 mm — je nach der Stärke der Stromquelle — voneinander entfernt sind, wird aus in Paraffin gefochter Pappe zusammengeklebt und wie die Kugeln mit einer Siegellack- oder Schellackschicht innen und

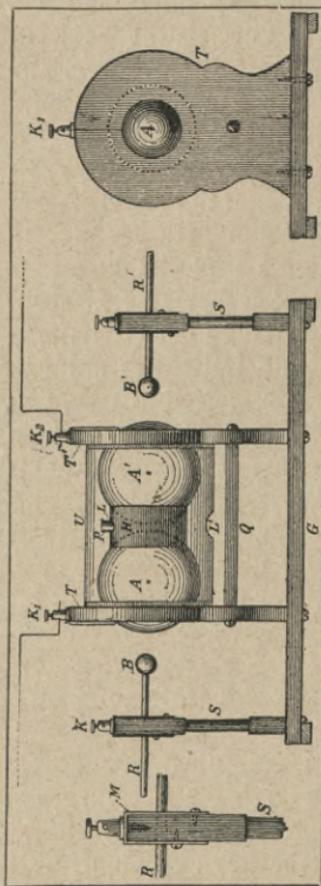


Abb. 207. Der Sender.

außen überzogen. An einer Stelle L ist zum Einfüllen von Petroleum die Öffnung L gelassen, die mit dem Pfropfen P verschlossen werden kann. U ist eine Umhüllung (nicht notwendig) um A und A', ebenso hergestellt wie der Ring H, die die Kugeln aber nicht berührt und mit einem Loch L' versehen ist, das nach dem Einfüllen des Oles in den Ring H

nach unten gedreht wird. Die beiden Kugeln werden mit dem Ringe dadurch dauernd verbunden, daß die beiden Berührungsfugen mit heißem Siegelack (bei Verwendung von Schellack mit Schellackkitt Seite 5) ausgegossen werden. Jetzt wird das Kugelpaar in die Ausschnitte der beiden Träger eingeklemmt. Es schauen jetzt die äußeren beiden vom Siegelack befreiten Stellen über die Träger heraus; diesen blanken Stellen gegenüber stehen die kleinen Kügelchen B und B', die an den in S verschiebbaren Stangen R und R' angelötet sind. Die Säulen S sind aus Glas herzustellen und mit Holzköpfen zu versehen, über welche (siehe die links stehende Sonderzeichnung in Abb. 207) je ein Blechstreifen M gebogen wird, auf dem eine Klemme K angelötet ist. Die Säulenköpfe mit dem Blechstreifen M sind derartig durchbohrt, daß die Stangen R in der Bohrung unter Reibung an M hin und her geschoben werden können.

Der Empfänger.

Um den Empfänger möglichst empfindlich zu machen, müssen wir in die schon oben beschriebene Zusammenstellung von Glocke und Fritter ein Relais (siehe Seite 121) einschalten. Ferner müssen wir das Entstehen der Unterbrechungsfunken an der elektrischen Klingel verhindern, da von diesen Funken der Fritter in unerwünschter Weise beeinflusst werden kann. Im allgemeinen wird es genügen, das Werk der Glocke mit einer Metallkapsel zu überdecken. Ist der Fritter jedoch sehr empfindlich, so müssen die beiden Teile der Unterbrechungsstelle des Wagnerschen Hammers durch einen Widerstand von 500 bis 1000 Ohm — durch Versuche genauer zu ermitteln — verbunden werden. Verwenden wir für diesen Widerstand einen entsprechend langen und dünnen Nickelindraht, so ist es vorteilhaft, ihn bifilar auf eine Spule zu wickeln. Eine bifilare Wickelung stellt man folgendermaßen her: Man biegt den Draht in der Mitte seiner ganzen Länge um und wickelt ihn dann doppelt, so wie aus Abb. 208 hervorgeht, auf eine Spule auf. Solche Spulen

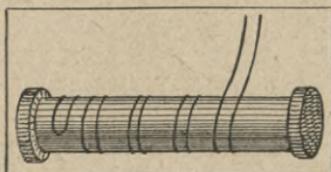


Abb. 208. Bifilare Wickelung.

besitzen keine Selbstinduktion. Man kann auch Graphitstäbe aus Bleistiften als Widerstand benutzen.

Die beim Relais auftretenden Funken können dadurch unschädlich gemacht werden, daß wir diesen Apparat mit einem völlig geschlossenen Metallkasten überdecken. Auch kann das Relais weiter vom Fritter entfernt aufgestellt werden.

Wollen wir nun, daß die vom Sender gegebenen Zeichen vom Empfänger nicht nur durch das Ertönen der Glocke angezeigt, sondern auch gleich niedergeschrieben werden, so müssen wir zu den bereits erwähnten Apparaten noch einen Morseapparat (Seite 115) schalten.

Wie die einzelnen Apparate zu verbinden sind, erfieht man aus dem Schema Abb. 209; in dieser Abbildung ist auch die Schaltungsweise der Sendeapparate angegeben.

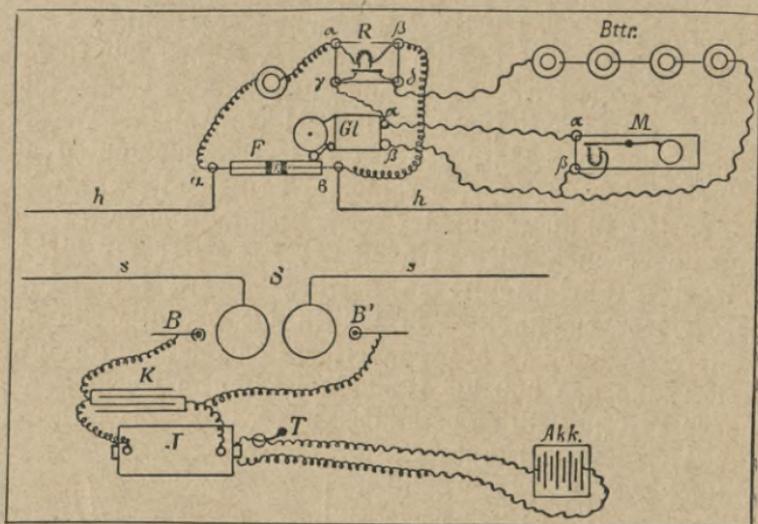


Abb. 209. Anordnung der Apparate zur drahtlosen Telegraphie.

Mit Akk. ist die Akkumulatorenbatterie bezeichnet, die den Funkeninduktor J speist. Die Leitung ist durch den Taster T unterbrochen, mit dessen Hilfe wir den Strom nach Belieben kurz oder lang einschalten können. Die Sekundärpole des Induktors verbinden wir unter Einschaltung

eines Kondensators K mit den Kugeln B und B' des Senders S . Unter Umständen funktionieren die Apparate aber ohne Kondensator besser, was sich, wie auch die günstigste Größe des Kondensators, leicht durch einige Versuche ausfindig machen läßt. An die beiden Klemmen K_1 und K_2 des Senders (Abb. 207) schließen wir die beiden frei endenden, 50 bis 100 cm langen und völlig gerade gestreckten Drähte s an, die beide genau in einer Linie verlaufen sollen.

Genau in der gleichen Weise werden die beiden Drähte h (siehe auch Abb. 196) an die Klemmen α und β des Fritters F angeschlossen. α von F wird dann mit dem einen Pol eines Salmiakelementes, dessen anderer Pol mit der Klemme α des Relais R und dessen Klemme β mit β von F verbunden. Die Glocke (Gl) und der Morseapparat (M) werden nebeneinander geschaltet mit den Klemmen γ und δ des Relais und Batterie ($Btr.$) verbunden, wie das hinreichend deutlich aus der Abbildung hervorgeht.

Sollte sich, was man durch einen Versuch feststellen mag, ein Hintereinanderschalten von Glocke und Morseapparat als vorteilhafter erweisen, so fallen die Verbindungen von βM nach βGl und von αM nach αGl weg, dafür wird αM mit βGl verbunden.

Da zum Zeichengeben auf größere Entfernungen der Fritter möglichst empfindlich sein soll, so füllen wir, im Gegensatz zu den oben erwähnten Versuchen (vergleiche Seite 248) eine ziemlich hohe Schicht, etwa 5 bis 10 mm, von Feilspänen in das Röhrchen. Da beim Gebrauch des Morseapparates das fortdauernde Tönen der Glocke unnötig ist, die Erschütterung des Fritters durch den Glockenklöppel aber nicht ausbleiben darf, so steckt man unter die Glockenschale, um deren Schall etwas zu dämpfen, etwas Papier.

Rudi erklärte, während Käthe die einzelnen Apparate zeigte, die ganze Einrichtung, wie sie in Abb. 209 dargestellt ist. Dann machte sich die eifrige Gehilfin daran, die Türen der drei hinter dem Vortragsraum gelegenen Zimmer zu öffnen und die Sendapparate auf einen im hintersten Zimmer bereitgestellten Tisch zu bringen.

Unterdessen stellte Kudi die Empfangsapparate so auf, daß die Fangdrähte (h h Abb. 209) des Empfängers denen des Senders (s s) parallel verliefen, und wies auf die Notwendigkeit dieses Umstandes hin. Ferner erwähnte er, daß die Entfernung der beiden Apparate jetzt etwa 17 bis 18 m betrage.

Darauf gab Kudi einer sich auf seine Frage hin freiwillig meldenden Dame aus dem Kreise seiner Zuhörer einen Briefkarton mit Bleistift und Umschlag und bat sie, einige Worte darauf zu schreiben und den Karton dann in den Umschlag zu stecken und diesen zuzukleben. Er begab sich gleich wieder hinter seinen Experimentiertisch. Als die Dame mit Schreiben fertig war, winkte Kudi seiner Schwester, welche den verschlossenen Brief mit in das hinterste Zimmer nahm, in dem die Sendapparate standen. Die letzte Türe schloß Käthe, die beiden anderen Türen — damit man ja sah, daß alle drei Türen geschlossen seien — schloß Kudi.

Er stellte sich ganz auf die Seite des Tisches, so daß er die Apparate nicht erreichen konnte. Er bat seine Hörer, sich einen Augenblick zu gedulden. Plötzlich begann das geheimnisvolle Geclapper des Morseapparates — Kudi hatte sich einen solchen mit einem Uhrwerk hergestellt, so daß er ihn nicht bedienen mußte (siehe Seite 117 u. f.) — und der stumpfe Ton der abgedämpften Klingel. Käthe, die die Morfeschrift (Seite 120) und die Handhabung des Morsetasters gelernt hatte, hatte den Brief geöffnet und ließ durch kürzeres und längeres Schließen und Öffnen des Primärstromkreises den Inhalt des Schreibens durch die drei Zimmer wandern, so daß er in Form von kurzen und langen Strichen auf dem Papierstreifen des Morseapparates niedergeschrieben wurde.

Als die Apparate aufhörten zu arbeiten, riß Kudi den beschriebenen Papierstreifen ab und schrieb dessen Inhalt zuerst in Morfeschrift, dann in Kursivschrift auf eine große Tafel, die er so aufstellte, daß alle sie sehen konnten. Unterdessen war Käthe gekommen und hatte den geöffneten Brief den Zuhörern zum Herumgeben überreicht, so daß sie sich überzeugen konnten, daß auf der Tafel genau dieselben Worte standen wie in dem Brief.

„So wunderbar diese drahtlose Telegraphie manchem erscheinen mag, so ist sie im Grunde kaum wunderbarer als die Tatsache, daß Sie meine Stimme vernehmen. Zwischen mir und Ihnen sind auch keine Drähte gespannt; und da weder in meinem Halse noch in Ihren Ohren Drähte sind, so kann ich das Sprechen mit viel größerem Rechte eine ‚drahtlose‘ Telegraphie nennen, als das Verfahren hier, zu dem ich Apparate brauche, die nichts weniger als ‚drahtlos‘ sind.“

Damit schloß Rudi diesen Teil seines Vortrages ab, um zum zweiten Teil, den er zu Anfang schon gestreift hatte, zu den Versuchen mit Wechselströmen hoher Frequenz, den sogenannten Teslaströmen überzugehen.

Bevor wir jedoch Rudi in seinen Ausführungen fortfahren lassen, wollen wir zuerst wieder erklären, wie die Teslaapparate herzustellen und die Versuche auszuführen sind.

Ceslatransformatoren. Wir haben aus dem vierten Vortrage gelernt, daß der Grad

der Plötzlichkeit der Unterbrechung des Primärstromes in einem Induktionsapparat und die Häufigkeit der Unterbrechung oder Änderung der Stromrichtung in einer Sekunde von besonderer Bedeutung für den sekundären Strom ist. Nun ist am Anfang dieses Vortrages schon darauf hingedeutet worden, daß in dem Entladungsstromkreis einer Leidener Flasche ein Wechselstrom von außerordentlich hoher Wechselzahl fließt, sowie eine Entladung vor sich geht.

Einen solchen Entladungsstrom schicken wir durch die Primärspule eines Transformators. In der Sekundärspule entstehen dann Ströme mit scheinbar ganz abgeänderten Eigenschaften.

Das Schema dieser Anordnung zeigt Abb. 210. J ist der Funkeninduktor mit den Klemmen K und K'. Von K geht ein Draht zu dem äußeren Belag einer Leidener Flasche L, von hier zur Klemme K₁ des Transformators T; K₁ ist mit dem einen Ende der Primärspule S von T verbunden, das andere Ende der Spule führt über die verstellbare Funkenstrecke F zur Klemme K₂, und von hier geht ein Verbindungsdraht über den inneren Belag der Leidener Flasche zu K'. Wenn also der Funkeninduktor

in Tätigkeit ist, so wird L geladen und entladet sich durch F . In der Spule S fließt also der Entladungsstrom der Leidener Flasche und induziert in der sekundären Spule S' ,

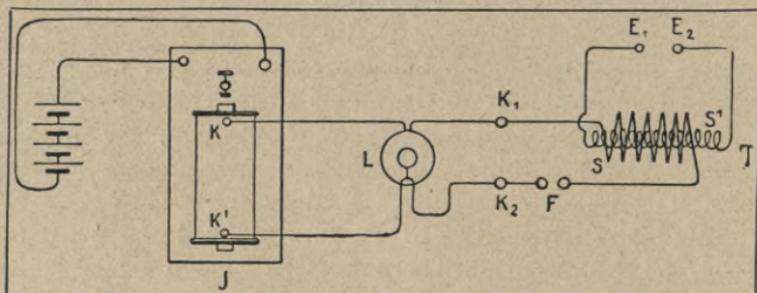


Abb. 210. Schaltungsschema des Teslatransformators.

die im Verhältnis zu S aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes besteht, einen sehr hochgespannten Strom, der an den Kugeln E_1 und E_2 zur Entladung kommt.

Die Anordnung von primärer und sekundärer Spule ist beim Teslaschen Transformator etwas anders als bei den gewöhnlichen Induktoren. So ordnet man z. B. die primäre Spule gewöhnlich außerhalb der sekundären an. Ferner sind die Verhältnisse der Drahtmaße ganz anders. Die Primärspule besteht aus einem sehr dicken Draht mit nur einigen, weit voneinander abstehenden Windungen; die Sekundärspule aus einem sehr dünnen Draht, der aber bei weitem nicht so lang sein muß, als bei dem gewöhnlichen Funkeninduktor.

Die im folgenden angegebenen Maße eignen sich besonders bei Verwendung von Funkeninduktoren von 10 bis 20 cm Funkenlänge, oder einer etwa entsprechenden Influenzmaschine. Beim Gebrauch von kleineren Induktoren nehme man von den angegebenen Maßen $\frac{2}{3}$ bis $\frac{1}{2}$. Näheres über Drahtlängen ist bereits auf Seite 134 u. f. gesagt.

Abb. 211 zeigt den Apparat im Schnitt, Abb. 212 von der Seite gesehen. Wir fertigen uns zuerst die primäre Spule. Dazu beschaffen wir uns einen Zylinder (Zy) von einem Auerbrenner; der Zylinder darf keine Einschnürung haben, die Windungen müssen ihrer ganzen Länge nach parallel sein. Auf den Zylinder winden wir

einen 2,5 bis 3 mm starken, gut durchgeglühten, blanken Kupferdraht so auf, daß jede Windung von der folgenden einen Abstand von 1 cm hat (Sp in Abb. 211). Läßt

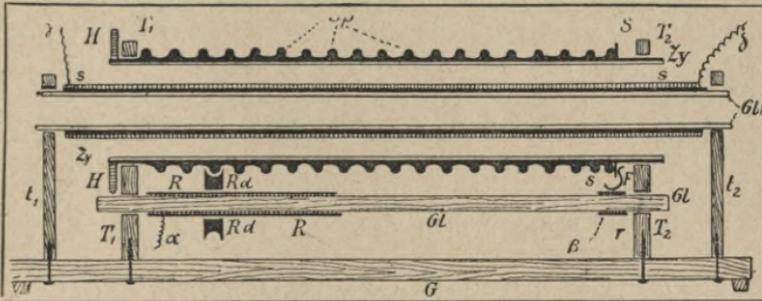


Abb. 211. Teslatransformator (Schnitt).

man nach dem Wickeln den Draht los, so wird die Spirale etwas auseinanderfedern und somit nicht mehr dicht am Zylinder anliegen. Wir überziehen deshalb und auch zur besseren Isolation letzteren nachträglich mit einer möglichst gleichmäßigen Schicht von Schellackfitt (Seite 5), dem wir, um leichtere Arbeit zu haben, ziemlich viel Schellacklösung zusetzen. Der Überzug muß so dick sein, daß die über den Zylinder geschobene Spirale fest aufsitzt. Der Draht an dem einen Ende der Spirale wird so gebogen, daß ein geschlossener Kreis entsteht. An diesen Kreis wird ein flacher Ring (S) aus Kupfer- oder Messingblech gelötet, dessen innerer Durchmesser gleich dem der Spirale ist, und dessen äußerer etwa 5 mm mehr beträgt. Auf der anderen Seite endet die Spirale offen. Um ihr noch mehr Halt auf dem Zylinder zu geben,

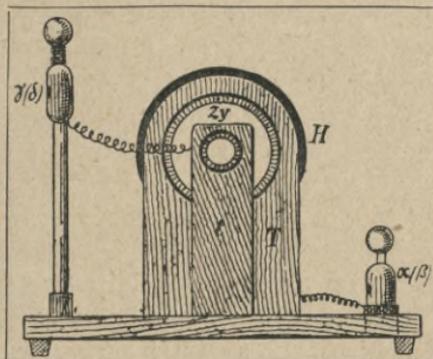


Abb. 212. Teslatransformator (Seitenansicht).

streicht man den Raum zwischen den einzelnen Windungen mit einer dicken Schellacklösung aus. Dabei ist jedoch

besonders darauf zu achten, daß die Außenseite des Drahtes, besonders da, wo sie das Kontakträdchen Rd berühren soll, nicht mit Schellack überzogen wird. An einem Rande des Zylinders wird nun noch ein 1 bis 1,5 cm breiter Ring H aus Hartgummi mit Schellackfitt angefittet, der dazu dient, den Zylinder, während der Apparat in Tätigkeit ist, zu drehen.

Die Träger T_1 und T_2 des Zylinders werden aus Holz oder besser aus Vulkansiber hergestellt. Sie erhalten, wie aus den beiden Figuren deutlich hervorgeht, runde Ausschnitte, welche die beiden Enden des Zylinders in sich aufnehmen.

Ferner werden die beiden Träger T_1 und T_2 unterhalb des eben erwähnten Ausschnittes noch mit zwei Bohrungen versehen, in die ein Glasstab oder ein dickwandiges Glasrohr aus gut isolierendem Glas eingefittet werden kann. Dieser Stab ist nur in Abb. 211 zu sehen und mit G bezeichnet. Nahe dem rechten Ende dieses Stabes wird ein kurzes Messingrohrstückchen r aufgefittet, an dem die Schleiffeder F (aus gehämmertem Kupferblech) und der Kupferdraht β angelötet wird. F soll an dem schon oben erwähnten Messingring S schleifen.

Außerdem fitten wir ein Messingrohr R , das etwa $\frac{1}{3}$ so lang ist als der Glasstab, nahe dessen linkem Ende fest. An R wird der Draht α angelötet. Auf R soll sich das Rädchen Rd leicht drehen und hin und her schieben lassen. Rd wird aus Messing hergestellt und erhält auf seiner Peripherie eine halbkreisförmige Rinne, in welche gerade der Draht der primären Spirale hineinpafzt, wie aus Abb. 211 hervorgeht. Die Größe des Rädchens und der Abstand des Glasstabes vom Zylinder sind natürlich entsprechend zu wählen.

Durch Drehen des Zylinders kann man bei dieser Anordnung bewirken, daß das Rädchen entweder das äußerste Ende der Drahtspirale berührt, oder eine beliebig weiter innen gelegene Stelle. Man kann also den bei α ein- und bei β austretenden Strom nach Belieben durch mehr oder weniger Windungen der Spirale gehen lassen, was deshalb große Vorteile bietet, weil wir dadurch das

günstigste Verhältnis der Windungszahlen zwischen primärer und sekundärer Spule durch Probieren ausfindig machen können. Da sich dieses günstigste Verhältnis bei Verwendung verschiedener Leidener Flaschen, ja sogar verschiedener Verbindungsdrähte ändert, so ist der Vorteil, den diese Möglichkeit der Abstimmung bietet, nicht zu unterschätzen.

Wir kommen jetzt zur Herstellung der sekundären Spule. Wir beschaffen uns ein gut isolierendes Glasrohr (Glr) oder besser noch der Sicherheit halber ein gleich bemessenes Hartgummirohr (über Isolierfähigkeit des Glases siehe Seite 6), 6 bis 8 cm länger als der Lampenzylinder und 2 bis 3 cm weit. Das Rohr wird, indem jedes Ende 1 cm weit frei bleibt, mit einem ohne Umspinnung 0,5 bis 0,7 mm starken, mit guter Seide isolierten Kupferdrahte bewickelt, indem wir Windung dicht an Windung legen. Wir stellen nur eine Lage her, die wir mit heißem Paraffin bestreichen. Besser ist es, das ganze bewickelte Rohr in einem geeigneten Gefäß so lange in kochendes Paraffin zu legen, bis keine Luftbläschen mehr aus den Drahtwindungen aufsteigen.

Dies ist das einfachere Verfahren zur Herstellung der sekundären Wickelung. Eine viel sicherere Isolation — und die ist bei den hochgespannten Strömen sehr wichtig — erzielen wir folgendermaßen.

Wir überziehen das Glasrohr mit einer 3 bis 4 mm dicken Schicht von Schellackfitt und drehen auf der Drehbank — falls wir keine besitzen, lassen wir das von einem Mechaniker machen — diesen Überzug bis auf etwa 2 mm Dicke ab. In diesen Schellacküberzug schneiden wir dann ein Schraubengewinde ein. In den Gewindengängen wird dann ein 0,5 bis 0,7 mm starker nackter Kupferdraht aufgewunden. Das Gewinde dient also nur dazu, daß man den unisolierten Draht aufwickeln kann, ohne daß die einzelnen Windungen einander berühren. Dasselbe kann man aber auch dadurch erreichen, daß man auf den mit einem gleichmäßigen Schellackfittüberzug versehenen Glasstab zwei Drähte gleichzeitig nebeneinander aufwickelt, die Enden des einen festbindet und den anderen

wieder entfernt. Die beiden Drahtenden müssen selbstverständlich einige Zentimeter frei von der Spule abstehen.

Jetzt wird das bewickelte Glasrohr ganz etwa zehn Minuten in Spiritus gelegt und gleich nach dem Herausnehmen mit einer nicht zu dicken Schellacklösung bestrichen. Nach dem völligen Trocknen dieses Überzuges wird ein zweiter, dann ein dritter und vierter Überzug hergestellt, bis die Drahtwindungen völlig in Schellack eingebettet sind. Zur Herstellung der Schellacklösung verwende man nur ganz reinen Spiritus und achte darauf, daß in die Lösung kein Staub und dergleichen gerät. Die Schellacküberzüge, vor allem der erste, müssen völlig luftblasenfrei hergestellt werden.

Ist so die sekundäre Spule fertiggestellt, so wird sie so in den beiden Trägern aus Holz (oder Vulkanfaser) befestigt, daß sie genau in der Mitte des Zylinders Zy liegt. Diese Anordnung geht hinreichend deutlich aus den beiden Abb. 211 und 212 hervor.

Zur Fertigstellung des Apparates wären jetzt nur noch die Drahtenden α und β der primären und γ und δ der sekundären Spule zu Klemmen zu führen.

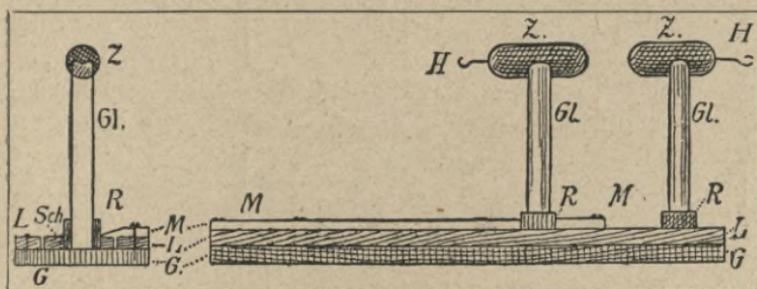
Die Klemmen dürfen, wie Abb. 212 zeigt, keine scharfen Kanten oder Ecken haben. Die beiden Klemmen α und β werden in einem Abstände, der etwa der Länge des Zylinders Zy entspricht, nahe der einen Längsseite des Grundbrettches G in diesem isoliert befestigt. Wir kitteten zu diesem Zweck für jede Klemme mit rotem Siegelack ein hinreichend weites Stückchen Glas- oder Ebonitrohr in eine entsprechende Bohrung des Holzes. In dieses Rohr wird dann die Klemme mit Schellackfitt oder Siegelack eingekittet.

Die Klemmen, zu denen die Drahtenden γ und δ führen sollen, werden auf hohen Glasfüßen befestigt, wie Abb. 212 zeigt. (Wegen Befestigung der Glasfüße vergleiche Seite 5.) Die Drahtenden der sekundären Spule werden nicht, wie in der Abb. 212 der Deutlichkeit halber gezeichnet ist, in Spiralwindungen zu den Klemmen geführt, sondern möglichst gestreckt ausgespannt. Außerdem wird ein enger, aber dickwandiger Gummischlauch (Ventilschlauch) über sie gezogen.

Damit ist der Teslatransformator für unsere Versuche fertig, und es fehlt uns nur noch das Funkenmikrometer.

Das Funkenmikrometer.

Abb. 213 zeigt diesen Apparat im Querschnitt und von der Seite gesehen. G ist das Grundbrett, auf das längs der langen Seiten zwei Leisten L geleimt sind, zwischen denen sich der Schlitten Sch mit ein wenig Reibung hin und her schieben läßt. In dem Schlittenbrettchen Sch ist das Messingröhrchen R und in diesem die Glasfäule Gl eingekittet. Ebenso ist an dem einen Ende des Grundbrettes eine Glasfäule befestigt. Auf jeder Glasfäule ist ein kurzes, zylindrisches und an beiden Enden



(Querschnitt.) Abb. 213. Funkenmikrometer. (Von der Seite gesehen.)

abgerundetes Zinkstück Z, das mit einer Querbohrung versehen ist, aufgekittet. Diese beiden Zinkstücke sind von einem noch ungebrauchten Zinkstab eines Salmiakelementes abgefägt, und die Enden sind rund gefeilt oder auf der Drehbank abgedreht worden. Außerdem ist an jeden ein Haken H angelötet oder eingeschraubt. Der einfache in Zentimeter und Millimeter geteilte Maßstab M ist so auf L angeschraubt, daß er übergreifend den Schlitten Sch am Herausfallen verhindert. Letzterer trägt eine Marke, die, wenn sich die beiden Zinklöpfe gerade berühren, auf den Nullpunkt des Maßstabes zeigt.

Einfacher Teslatransformator.

Man kann sich auch einen etwas einfacher konstruierten Teslaapparat fertigen. Abb. 214 zeigt einen solchen in perspektivischer Ansicht. Die primäre Drahtspule steht mit senkrechter Längsachse frei; in ihr steht die sekundäre

Drahtspule, die ähnlich herzustellen ist wie die für den oben beschriebenen Apparat. Der Durchmesser beider Spulen kann hier etwas größer gewählt werden: für die

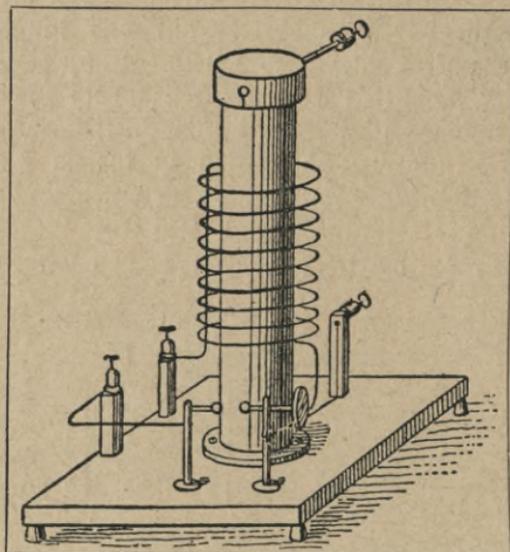


Abb. 214. Teslacher Transformator.

primäre Spule 7 bis 8 cm, für die sekundäre etwa 4 cm. Man kann in diesem Fall den Glaszylinder eines Auerbrenners als Träger für die sekundäre Spirale verwenden. Das Funkenmikrometer ist hier auf dem Grundbrette des Apparates selbst angebracht. Im übrigen müssen die entsprechenden Teile in derselben

Weise sorgfältig isoliert sein wie bei dem oben beschriebenen Transformator.

Ein dritter Typus von Teslatransformatoren, dessen Herstellung aber nicht sehr zu empfehlen ist, unterscheidet sich von den beiden anderen dadurch, daß der primäre Draht nicht zu einer Spule, sondern zu einer in einer Ebene liegenden Spirale (Schnecke) aufgewunden ist. Die sekundäre Spule ist ebenfalls scheibensförmig und wird genau so hergestellt, wie die einzelnen Scheiben des auf Seite 168 u. f. beschriebenen Funkeninduktors. Die Drahtmaße der primären Spule sind hier den oben erwähnten gleich. Die sekundäre Wicklung wird jedoch aus einem 0,2 bis 0,3 mm starken und etwa 4- bis 5mal so langen Draht, als wir für den erstbeschriebenen Apparat benötigten, in der bereits erwähnten Weise hergestellt. Einen derartig gefertigten Apparat besaß Rudi. Wir sehen diesen auf dem die Reproduktion einer Photographie darstellenden Bilde Seite 157.

Teslaversuche. Wir kommen jetzt dazu, die Experimente zu besprechen, die Rudi in seinem Vortrag mit dem Teslatransformator ausführte.

Rudi erklärte zuerst die Konstruktion und die Schaltungsweise der Teslatransformatoren und wies dann auf die abgeänderten Eigenschaften der Wechselströme hoher Frequenz hin:

„Ich habe hier zum Betrieb meiner Apparate einen Akkumulator, der mir 10 Volt liefert. Ich kann die Polklemmen anfassen, ohne irgend etwas zu spüren. Der Strom hat eine zu geringe Spannung, um durch den Körper hindurchzugehen. In dem Funkeninduktor, der eine Schlagweite von 15 bis 20 cm besitzt, wird der Strom auf Kosten seiner Intensität auf einige tausend Volt transformiert. Würde ich beide Pole dieses Apparates gleichzeitig anfassen, wenn er in Tätigkeit ist, so bekäme ich einen Schlag, der unter Umständen heftig genug wäre, mir einen oder beide Arme für mein ganzes Leben zu lähmen. Nun wird dieser Strom durch die Leidener Flaschen in einen Wechselstrom von sehr hoher Frequenz verwandelt; darüber sprach ich ja zu Anfang. Diesen Wechselstrom transformiere ich, wie schon erwähnt, im Teslatransformator auf eine noch höhere Spannung.

Wie sich nun die hierbei entstehenden Ströme verhalten, will ich Ihnen hier zeigen. Ich habe in die eine Polklemme des Transformators einen senkrecht in die Höhe stehenden Draht eingeschraubt, der frei endet.“

Käthe verdunkelte das Zimmer, und Rudi setzte die Apparate in Tätigkeit. Von allen freien Metallteilen, besonders von den Klemmen der Apparate, zuckten feine blaue Lichtfädchen, die mitunter dichte Büschel bildeten, nach allen Seiten. Der blendende Entladungspunkt (siehe die Kritik Seite 270) der Leidener Flaschen, der am Funkenmikrometer übersprang, machte einen solchen Lärm, daß Rudi nicht weitersprechen konnte. Der senkrecht in die Höhe ragende, mit einer Klemme des Transformators verbundene Draht war zu einem funkensprühenden Lichtstreif geworden, von dessen Ende sich ein blauer, fein verästelter Lichtbaum unheimlich hin und her schwebend

im Dunkel verlör. Jetzt faßte Rudi, der von dem unheimlichen Lichtschimmer schwach beleuchtet war, zum großen Erstaunen der Zuschauer mit der rechten Hand die freie, feuerprühende Klemme des Teslaapparates an und näherte den Zeigefinger der linken Hand, den er durch ein aufgeschobenes Stückchen Messingrohr verlängert hatte, dem vorhin erwähnten senkrecht stehenden Draht. Unser Bild Seite 157 zeigt die dabei auftretende Lichterscheinung. Rudi spürte kaum ein leichtes Zucken durch den Körper. Wenn man die nackte Haut den einschlagenden Funken aussetzt, so können brandwundenähnliche Verletzungen entstehen; man schützt sich deshalb, indem man die Funken in ein Metallstück, das man in der Hand hält, oder in der erwähnten Weise auf den Finger steckt, schlagen läßt.

Darauf machte Rätke Licht, und Rudi stellte die Apparate ab.

„Sie haben gesehen, daß ich den ganzen Strom durch meinen Körper gehen lassen konnte, ohne im mindesten Schaden zu nehmen. Man erklärt diese Tatsache damit, daß die Wechselströme von so außerordentlich hoher Wechselzahl überhaupt nicht in den leitenden Körper eindringen, sondern sich nur über dessen Oberfläche verbreiten.

Interessant sind auch die Induktionsercheinungen dieser Wechselströme. Sie werden sich von meinem vorletzten Vortrag her erinnern, was man unter Impedanz versteht (Seite 189).

Die Impedanz tritt bei Teslaströmen so stark auf, daß der Strom eher einen großen Widerstand zu überwinden, als durch einen fast widerstandslosen Draht zu fließen vermag.

Ich habe hier (Abb. 215) einen Bogen aus dickem Kupferdraht; an den beiden Enden des Bogens ist diese Glühlampe befestigt. Würde ich die

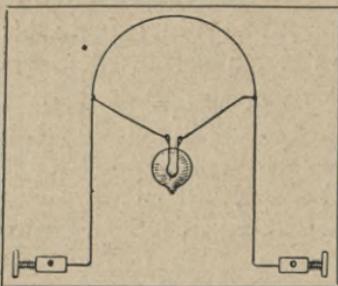


Abb. 215. Zu Versuchen über Induktionsercheinungen.

beiden Pole eines Akkumulators mit den Enden des Drahtes hier verbinden, so ginge aller Strom durch den dicken

Kupferdraht, und die Lampe bliebe so gut wie stromlos. Leitet man dagegen einen Teslastrom durch dieses System — Nütze führte den Versuch aus, indem sie die Elektroden des Teslaapparates mit den mit Klemmen versehenen Enden des Drahtbogens verband und dann die Apparate in Tätigkeit setzte — so geht, wie Sie sehen, fast der ganze Strom durch den großen Widerstand der Lampe, da in dem dicken Kupferdraht die Selbstinduktion so groß ist, daß die Extrastrome den ursprünglichen Strom fast aufheben (vergleiche vierter Vortrag Seite 189).

Der Raum zwischen zwei Leitern, die mit den Elektroden verbunden sind, ist ganz durchsetzt mit elektrischen Wellen. Ich habe hier zwei Blechscheiben, die auf iso-

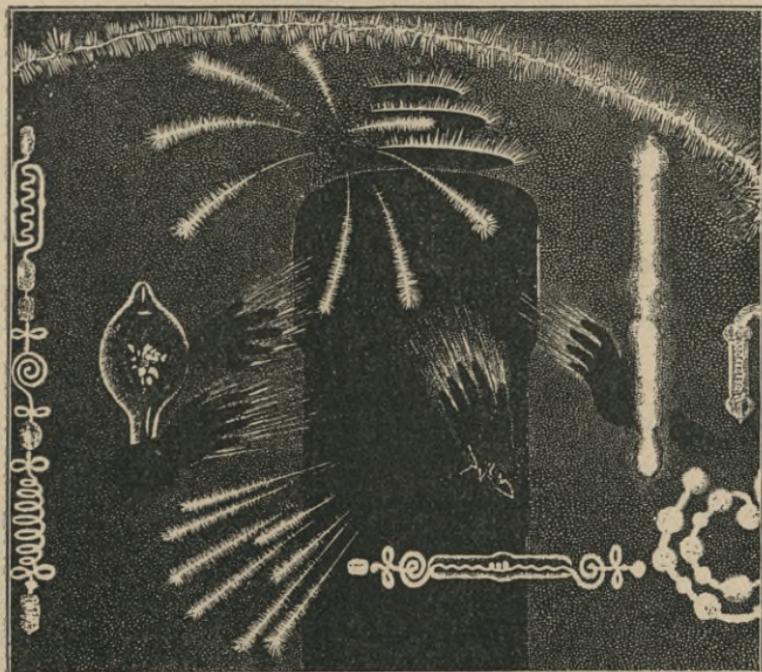


Abb. 216. Versuche am Teslaschen Transformator.

lierenden Füßen stehen. Sie werden mit den Elektroden des Teslaapparates verbunden und etwa 50 bis 70 cm voneinander entfernt aufgestellt.“

Räthe stellte die Apparate auf und verfinsterte das Zimmer. Rudi brachte in den Raum zwischen den Blechen verschiedene Geißlersche Röhren, die, ohne die Bleche zu berühren, hell aufleuchteten.

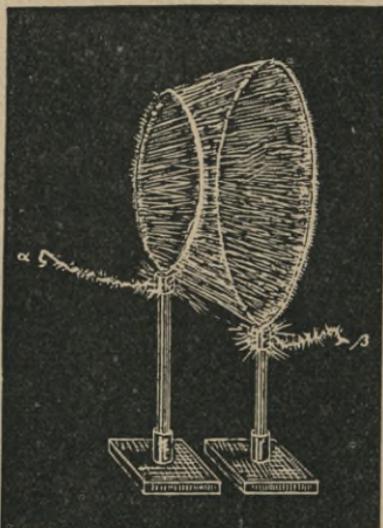


Abb. 217. Lichterscheinungen zwischen zwei mit dem Teslatransformator verbundenen Drahtkreisen.

Ferner brachte Rudi, während er den linken Blechschirm anfaßte, die rechte Hand in die Mitte zwischen die beiden Bleche: Es sah aus, als wenn die Hand eigenes Licht ausstrahlte. Die Abb. 216 versucht annähernd, derartige Erscheinungen wiederzugeben.

Der nächste Versuch bestand darin, daß Rudi zwei Drahtkreise von verschiedenen Größen (10 und 15 cm Durchmesser), die wie die Blechscheiben auf isolierenden Glasfüßchen standen, mit den Elektroden des Tesla-

transformators verband. Die Aufstellung der Drahtkreise und den Verlauf der Lichtstrahlen zeigt Abb. 217. Lebhaftes Lichtbüschel sprühten zwischen beiden Kreisen hin und her.

Für den folgenden Versuch hatte Rudi um die Gewindfassung (Edisonfassung) einer gewöhnlichen, etwa 16kerzigen Glühlampe einen 1,5 mm starken, blanken Kupferdraht gewunden und dessen Ende in einer der Transformator клемmen befestigt, wie Abb. 218 zeigt. Als er dann im Dunkeln die Apparate in Tätigkeit setzte, leuchtete der ganze Hohlraum der Glühlampe in einem zarten, grünlichblauen Lichte. Der Kohlenfaden sah wie mit feinen, leuchtenden Dornen besetzt aus. Näherete man

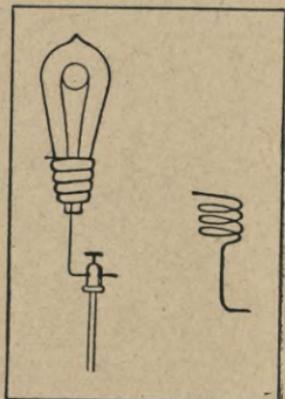


Abb. 218. Zum ersten Teslischen Glühlampenversuch.

der Glasbirne den Finger, so schien dieser das Licht anzuziehen; an der dem Finger gegenüberliegenden Stelle des Glases aber war unter Umständen ein deutlicher hellgrüner Fleck zu sehen, der sich der Bewegung des Fingers entsprechend hin und her bewegte.

Endlich wies Rudi noch auf die außerordentlich starke Induktionswirkung der Wechselströme hoher Frequenz hin. Er hatte sich aus 1,5 mm starkem isoliertem Draht eine einfache Schnecke von vier Windungen gedreht. Der Durchmesser der Schnecke war nahezu gleich dem der primären Wickelung seines Transformators (Seite 264). An die Enden des Drahtes war eine Glühlampe angeschlossen, deren Voltzahl mit der der zum Betriebe der Apparate nötigen Akkumulatoren übereinstimmte. Brachte Rudi diesen einfachen Drahtkreis in die Nähe der primären Spule des Transformators und parallel zu ihr — die sekundäre Spule hatte er entfernt — so leuchtete die Glühlampe hell auf, aber nicht wie vorhin, sondern der Faden glühte gerade so, als wenn die Lampe unmittelbar an den Akkumulator angeschlossen wäre.

Für Transformatoren mit spiraligen statt schneckenförmigen Spulen muß für diesen Versuch natürlich die Glühlampe auch an einen spiralig gewundenen Draht angeschlossen werden, wie Abb. 219 zeigt. Dabei ist aber darauf zu

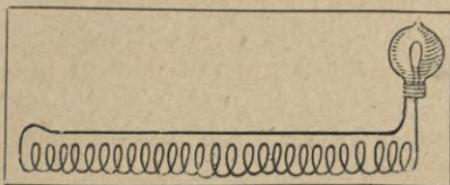


Abb. 219. Zum zweiten Teslaschen Lampenversuch.

achten, daß die Steighöhe der Spirale (das heißt der Abstand zwischen den einzelnen Windungen) gleich der der primären Wickelung des Transformators ist. Die Längsachsen der Spiralen müssen einander parallel sein, wenn Induktionswirkungen auftreten sollen.

Das war Rudis letzter Versuch. Mit einem Dank für das zahlreiche Erscheinen seiner Zuhörer schloß er den Vortrag ab.

Während nun Rudis Mutter die verschiedenen Tanten noch mit einem Tee erfrischte, mußte der jugendliche

Dozent noch manche Frage beantworten; aber gar häufig blieb ihm nichts anderes übrig als zu sagen: „Das wissen wir nicht.“ Dann kam auch sein uns schon bekannter kritischer Onkel zu ihm und machte ihn auf manches Wissenswerte aufmerksam. Wir halten es darum für angebracht, des Onkels Kritik der Hauptsache nach noch anzuführen:

Kritik.

„In der Einleitung des Vortrages hast du gesagt, einen Naturvorgang erklären heiße ihn mit einem anderen vergleichen. Das ist ja im allgemeinen ganz richtig. Du führtest aber da ein Beispiel an, in welchem der Vergleich eben gerade nicht einer Erklärung entspricht: Ich vergleiche den elektrischen Strom mit dem Wasserstrom in einer Leitung nur, um mir ein Bild zu machen. So sagt man z. B., der elektrische Strom fließt vom positiven zum negativen Pol. Mit diesem Ausdruck hantieren wir in dem ganzen Gebiet der praktischen Elektrotechnik; aber eine Erklärung ist dieses Bild nicht.

Für wirkliche Erklärungen können die Vergleiche gelten, die wir zwischen den Erscheinungen im Äther und den Wellenbewegungen der von unseren Sinnen erkennbaren Materien wie Luft, Wasser, gespannte Seile u. s. w. anstellen. Wenn mich also jemand fragte: ‚Was ist Licht?‘ so würde ich sagen: Licht ist eine Wellenbewegung, durch bestimmte Ursachen hervorgerufen in einem Medium, das wir mit unseren Sinnen nicht unmittelbar erkennen können. Bei dieser Erklärung liegt in dem Worte Wellenbewegung der Vergleich. —

Eine Definition des Äthers geben zu wollen, ist heute noch sehr gewagt; theoretisch müssen wir den Äther als festen Körper auffassen; aber abgesehen von dem rein äußerlichen Widerspruch dieser Annahme wird sie von einer ganz anderen Seite mit großem Erfolg angegriffen. Ebenso haben auch die neuesten Forschungen auf dem Gebiet der Ätherphysik die von dir zitierte Anschauung, daß alle Naturerscheinungen auf die mechanischen Grundtatsachen zurückzuführen seien, vollkommen überwunden; nicht mehr mechanisch, sondern elektromagnetisch erklärt man heute alle Physik, auch die Mechanik.

Der Drehspiegelversuch ist ja scheinbar sehr schön ge-

lungen, aber nur scheinbar; dieser Versuch läßt sich mit so einfachen Mitteln gar nicht ausführen, da die Schwingungen viel zu schnell sind, als daß sie von einem so verhältnismäßig langsam rotierenden Spiegel zerlegt werden könnten. Was man bei deinem Experiment sah, waren nicht die Perioden der Oszillation, sondern wahrscheinlich die des Unterbrechers am Funkeninduktor. Immerhin war das Experiment anschaulich und hat das Wesen derartiger Untersuchungen gut wiedergegeben.

Ferner halte ich die Reihenfolge der einzelnen Experimente bei zwei Gruppen von Versuchen für ungeeignet gewählt. Erstens hätte ich bei dem Drehspiegelversuch das kontinuierliche Lichtband der Kerzenflamme vor den unterbrochenen Funkenbildern gezeigt. Ebenso wäre es bei der Resonanz besser gewesen, zuerst den Pendelversuch, dann die akustische und zuletzt die elektrische Resonanz zu zeigen, da es zum Verständnis immer besser ist, das Einfachere, das am leichtesten Begreifliche zuerst zu bringen.

So hätte ich auch vor den Ausführungen über Ätherwellen ein sinnenfälliges Beispiel gebracht. Du hättest z. B. ein Seil mit einem Ende irgendwo befestigen können; das andere Ende hättest du dann in die Hand genommen und das mäßig gespannte Seil geschlingert, so daß es die Bewegung regelrechter Wellen deutlich zeigte. Außerdem hätte ich den sehr wesentlichen Unterschied zwischen Schall- und Ätherwellen hervorgehoben. Die Schallwellen sind sogenannte Longitudinalwellen, das heißt Wellen, die dadurch entstehen, daß sich die einzelnen — in diesem Falle Luft- — Teilchen in der Fortpflanzungsrichtung hin und her bewegen. Die Ätherwellen dagegen sind Transversalwellen, bei denen sich die einzelnen Teilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung bewegen.

Eine richtige Longitudinalwelle kann man oft bei in Reih' und Glied aufgestellten Soldaten sehen. Wenn die einzelnen Leute mit zu großen Abständen stehen, so daß man also überall noch hindurchsehen kann, und der rechte Flügelmann macht, einem Befehl gehorchend, einen großen Schritt nach links und dann, erkennend, daß der Schritt zu groß war, einen kleinen wieder nach rechts, so kann

man folgendes Bild sehen: Bei dem ersten Schritt hat der Flügelmann seinen Nachbar angestoßen; dieser stößt, ebenfalls nach links tretend, den dritten Mann, der wieder den vierten u. s. f. Im ersten Augenblick kann man also zwischen den ersten drei oder vier Mann nicht mehr hindurchsehen, was zur Folge hat, daß diese Stelle des Gliedes gewissermaßen dunkler erscheint. Nun geht aber der erste Mann, der zweite u. s. f. wieder etwas zurück, dadurch werden die Abstände wieder etwas größer, die Stelle im Glied, die eben uns dunkel erschien, sieht jetzt wieder heller aus, dafür sieht die nächste Gruppe von drei oder vier Mann wieder dunkel aus und wird dann wieder hell, und so geht das fort. Es hat das Aussehen, als ob ein dunkler Fleck sich ziemlich rasch vom rechten zum linken Flügelmann fortbewegte. Steht nun der linke Flügelmann recht fest und weicht dem Anstoß nicht, so wandert der dunkle Fleck wieder zurück. Man hat dabei nicht nur das Bild einer Longitudinalwelle, sondern tatsächlich eine solche Welle selbst.

Die Vorstellung einer Ätherwelle ist schon viel schwieriger. Das vorhin erwähnte Seil gibt nur ein unzulängliches Bild einer Ätherwelle, obwohl beide, sowohl die Seil- wie die Ätherwelle Transversalwellen sind. Jedoch zur Demonstration reicht das völlig aus.

Man hat ja Apparate konstruiert, welche Bilder der verschiedenen Wellengattungen geben. Du hättest dir ganz einfach einen Longitudinalwellenapparat konstruieren können. Den macht man so: Man stellt sich aus Holzleisten einen 20 cm hohen rechteckigen Rahmen her, der senkrecht stehend auf einem Grundbrett befestigt wird. Die eine der senkrechten Seiten sei aus dickem Holz und gut im Grundbrett befestigt, die andere eine dünne, elastische Leiste. Die Länge ergibt sich von selbst. An der oberen Querleiste des Rahmens werden an 10 bis 15 cm langen Fäden 20 bis 50 gleich große und gleich schwere schwarze Holz- oder Steinkugeln so aufgehängt, daß zwischen je zwei eine 3 bis 5 mm große Strecke frei bleibt. Die erste und die letzte Kugel soll gerade an der betreffenden senkrechten Seite des Rahmens anliegen. Hinter den schwarzen Kugeln stellt man einen weißen Karton auf.

Um nun eine Longitudinalwelle hervorzurufen, schlägt man mit einem kleinen Hammer leicht außen an die Stelle der dünnen Seitenleiste, an der innen die erste Kugel anliegt. Die Erscheinung ist dann genau dieselbe, wie ich sie vorhin bei den Soldaten beschrieben habe. —

Jetzt noch eines. Bei den Teslaversuchen haben die Entladungsfunken nicht nur durch ihren Lärm, sondern auch durch ihr sehr blendendes Licht gestört. Du hättest das Funkenmikrometer in ein Kästchen aus Hartgummi- oder Vulkanfaserplatten einschließen sollen. Man könnte

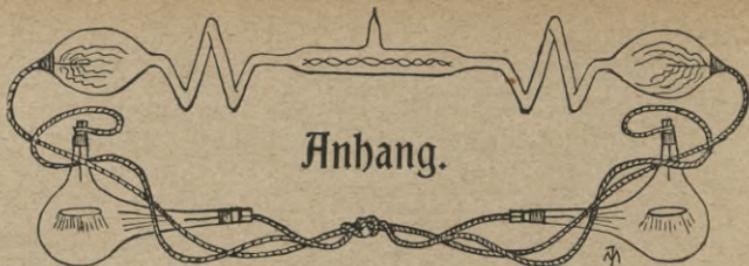


Abb. 220. Rudi an seinem Experimentiertisch.

Die Apparate sind von links nach rechts gesehen: Akkumulatorenbatterie, Teslatriansformator, Vertikalgalvanoskop, Rheostat, Funkenmikrometer, Lichtschutz für den Fluoreszenzschirm, Röntgenröhre, Righischer Radiator, Funkeninduktor, Influenzmaschine, Leidener Flasche.

auch über die Zinkstücke runde Korkscheibchen schieben und darüber eine hinreichend weite Glasröhre stecken.“

Das war der letzte Vortrag, den Rudi aus dem Gebiet der Elektrophysik hielt. Er hatte sich noch eine ganze Anzahl von Apparaten hergestellt, die für jeden jungen Elektrotechniker Interesse haben, und die darum noch einzeln beschrieben werden sollen.



Wie man sich eine Telephonanlage herstellen kann.

Da Stahlmagnete, wie sie für Telephone gebraucht werden, nicht im Handel zu bekommen sind, auch ziemlich teuer wären und wir sie kaum mit genügender Sorgfalt selbst herstellen könnten, so verwenden wir statt dessen Elektromagnete. Wir können dann auch den immerhin unständig herzustellenden Transformator ganz weglassen, das heißt, ihn durch eine ganz besondere Anordnung ersetzen.

Für eine Fernsprechanlage sind natürlich zwei vollkommen gleiche Stationen nötig. Im folgenden werden alle Angaben nur für eine Station gemacht, man hat sich also alles angegebene Material doppelt zu beschaffen.

Das Mikrophon. Aus Zigarrenkistenholz sägen wir uns zwei Ringe; ihr innerer Durchmesser sei 7, ihr äußerer 9 cm. Zwischen sie wird mit gutem Tischlerleim ein in Wasser aufgeweichtes Pergamentpapier geklebt; dabei sollen die Fasern des Holzes der beiden Ringe einander senkrecht kreuzen. Außerdem müssen die Ringe mit einer nicht zu geringen Anzahl von Drahtstiften zusammengenagelt werden.

Die Kohlenkontakte stellen wir uns aus Reststücken von Bogenlampenkohlen oder aus Elementkohlen her. Letztere dürfen aber noch nicht viel in der Elementfüllung gestanden haben. Wir brauchen zwei rechteckige Stücke; Form und Größe geben wir ihnen durch Sägen und durch Schleifen auf einem rauhen Stein. Jedes Stück ist 40:15:10 mm groß. Außerdem brauchen wir vier kleine Walzen mit kegelförmig zugespitzten Enden; diese sind 20 mm lang, 7 mm dick. In die rechteckigen Stücke werden mit einem

Verfenker (Krauskopf) vier trichterförmige Vertiefungen gebohrt. Abb. 221 zeigt in a und b diese Kohlenteile.

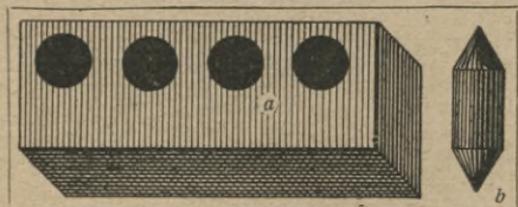


Abb. 221. Kohlen zum Mikrophon.

Darauf werden, wie aus Abb. 222 hervorgeht, die beiden Kohlenstücke, die mit ihren Vertiefungen die vier Rollen zwischen sich aufgenommen haben

so auf die Pergamentmembrane *m* aufgelegt, daß die kleinen Walzen nicht herausfallen können, aber doch völlig freien Spielraum haben, sich nirgends klemmen, und nur ganz lose aufliegen.

Aus starkem Messingdraht biegen wir zwei hufeisenförmige Klammern, löten an jeder einen Kupferdraht (*c*, *d*) fest, den wir zur Spirale drehen. Die Klammern werden so über die Kohlen geschoben (Abb. 222), daß sie diese

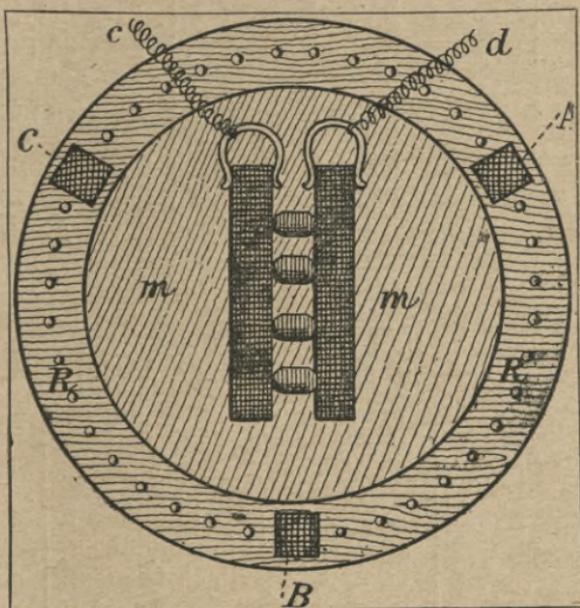


Abb. 222. Mikrophon.

mit Federkraft fest umschließen. Endlich wird der Holzring *R* noch mit drei je 2 cm hohen Holzstollen *A*, *B*, *C* versehen.

Weniger einfach gestaltet sich die Herstellung des Hörapparates, des Telephones. Den Kern für den Elektromagnet biegt man

Das Telephon.

sich (in kaltem Zustande) aus gewöhnlichem Bandeisfen in Hufeisenform. Aus Abb. 223 gehen alle Maße deutlich hervor. Die Enden des Hufeisens feilt man auf eine Ausdehnung von 18 mm

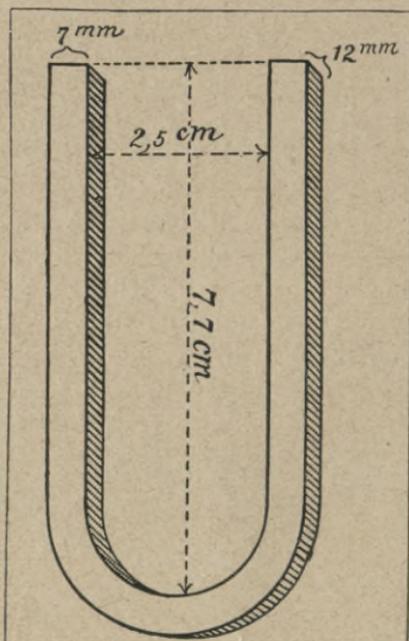


Abb. 223. Hufeisenmagnet für das Telephon.

Baumwolle isolierten, 0,7 mm starken Kupferdraht. Die Bewicklung ist sorgfältig auszuführen; jede Lage ist von

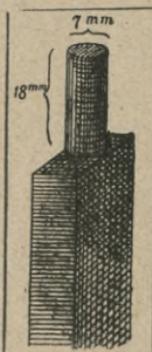


Abb. 224. Zylindernde des Magneten.

der nächsten durch ein in Schellacklösung getränktes Papier zu trennen. Wir stellen vier oder fünf Lagen zu je 35 bis 40 Windungen her. Die fertigen Spulen werden über die Schenkel des Magnetkernes geschoben und die zwei entsprechenden Drahtenden (siehe Seite 105 u. 133) miteinander verlötet.

Wir kommen jetzt zur Herstellung der sekundären

zu Zylindern von 7 mm Durchmesser (Abb. 224).

Die Röhren für die Drahtspulen fertigen wir aus dünnem (Messing-, Kupfer- oder) Zinkblech. Sie sollen genau über die Schenkel des Magnetkernes passen und 4 cm hoch sein. Ihre Form geht hinreichend deutlich aus Abb. 225 hervor. Die Spulen werden mit einer dicken Schellacklösung (Seite 5) überstrichen und nach dem Trocknen bewickelt.

Für jede Spule brauchen wir 6 bis 7 m mit

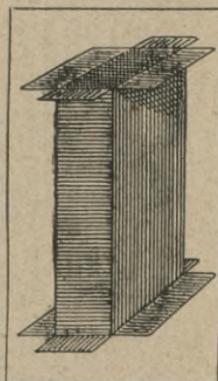


Abb. 225. Spule.

Spulen, die auf das 18 mm lange zylindrische Ende der Magnetschenkel geschoben werden sollen. (Über Anfertigung von Drahtspulen vergleiche Seite 91, 165, 174 u. f.) Zur Anfertigung einer solchen Spule verfahren wir folgendermaßen. Wir umwinden eines der runden Schenkelenden mit einer regelmäßigen Lage von Nähfaden. Darüber wickeln wir in 3 bis 4 Lagen dünnes Paraffinpapier in einem 16 mm breiten Streifen. Darauf wird diese Paraffinhülle über einer Flamme etwas erwärmt, so daß sich das Paraffin zwischen den einzelnen Lagen vereinigt. Ist das durch die Erwärmung weich gewordene Papier wieder erstarrt, so ziehen wir den Faden zwischen Papier und Kern heraus und nehmen das kleine Papierröllchen ab. Es bildet die Grundlage für die Drahtspule. Bevor wir jedoch mit dem Bewickeln beginnen, unwickeln wir, wie vorhin das Polende, ein 7 mm dickes, rundes Holzstäbchen mit Faden und schieben die kleine Papierhülle darauf, so daß sie fest sitzt.

Zur Bewicklung nehmen wir 0,15 bis 0,2 mm starken, mit Seide isolierten Kupferdraht. Wir können eine Lage zu 60 Windungen rechnen, 20 bis 30 Lagen sind erforderlich; für eine Windung brauchen wir im Durchschnitt 3,8 cm Draht, somit brauchen wir für jede Spule (25 Lagen angenommen) 25 · 60 · 38 mm gleich 57 m von 0,2 mm starkem Draht. Sollen die beiden Stationen sehr weit auseinanderliegen (über 1 bis 2 km), so empfiehlt es sich, 0,15 bis 0,1 mm starken Draht zu gebrauchen und entsprechend mehr Windungen (bis 50 Lagen zu je 60 Windungen) zu nehmen.

Das Bewickeln führen wir am besten mit der Hand aus (Spulapparat Seite 165 ist hierfür nicht zu empfehlen). Wir nehmen das Holzstäbchen mit dem Papierröllchen in die linke Hand, nachdem wir den Drahtanfang nahe dem Röllchen am Holzstäbchen befestigt haben. Dann drehen wir das Stäbchen zwischen Daumen und Zeigefinger der Linken und lassen den Draht durch die Rechte gleiten, mit dessen Daumen und Zeigefinger wir ihn lenken. Es muß Lage sorgfältig neben Lage gelegt werden. Sind wir nahe dem Ende des Papierröllchens angelangt, so ist die

erste Lage beendet; sie wird mit heißem Paraffin bestrichen und mit einem dünnen Paraffinpapierplättchen umgeben. Schellack eignet sich hier deshalb nicht als Isoliermaterial, weil er zu langsam trocknet und die Finger in unangenehmer Weise klebrig macht. Darauf wird die zweite Lage gelegt u. s. w., bis die gewünschte Anzahl vorhanden ist.

Spulenträhmchen mit Randscheiben zu verwenden, ist nicht vorteilhaft, da sie viel schwieriger zu bewickeln sind. Bei dem angegebenen Verfahren ist nur darauf zu achten, daß jede Lage genau so viel Windungen hat wie die vorhergehende; um das zu erreichen, brauchen die Lagen nicht gezählt zu werden, denn man sieht durch das durchscheinende Paraffinpapier, das beiderseits etwa 1 mm überstehen soll, hindurch und erkennt leicht, wenn die eine Lage gerade so weit gewickelt ist als die vorhergehende.

Die fertigen Spulen werden schließlich noch 2 bis 3mal mit einer dicken Schellacklösung überstrichen. — Man achte darauf, daß die freien Drahtenden nicht abbrechen. Ist der letzte Schellacküberzug getrocknet, so werden die Spulen auf die Zylinderfortsätze der Elektromagnete geschoben, und die entsprechenden Drahtenden in derselben Weise wie die der primären Spulen miteinander verlötet.

Abb. 226 zeigt die Anordnung der weiteren Teile des Telephons. Die primären Spulen (B, a und b), — die in der Abbildung übrigens versehentlich anstatt oval mit kreisrundem Schnitt gezeichnet sind, wie auch die Böcher in a und b oval sein müssen — klemmen wir zwischen zwei Brettchen c und c₁, die wir mittels der Holzschrauben x, y und z zusammenziehen. Auf diese Brettchen leimen wir eine aus Zigarrenkistenholz gesägte runde Scheibe (C, I), die zwei ovale Öffnungen (a und b) hat, um die beiden Primärspulen des Magneten durchzulassen. Bei A sehen wir die primären Spulen a und b, das vordere Brettchen c, die Köpfe der drei Schrauben x, y und z (in der Ansicht) und die Scheibe I (im Schnitt) an dem Elektromagnet befestigt.

Am Rande der Scheibe I errichten wir vier oder sechs nicht zu schwache Holzsäulen S, die in gleichmäßigen Ab-

ständen von unten her festzuschrauben sind. Diese Säulen müssen einen Rahmen R tragen, der genau so hergestellt wird, wie der Rahmen R des Mikrophons (Abb. 222). Sein äußerer Durchmesser sei gleich dem der Scheibe I,

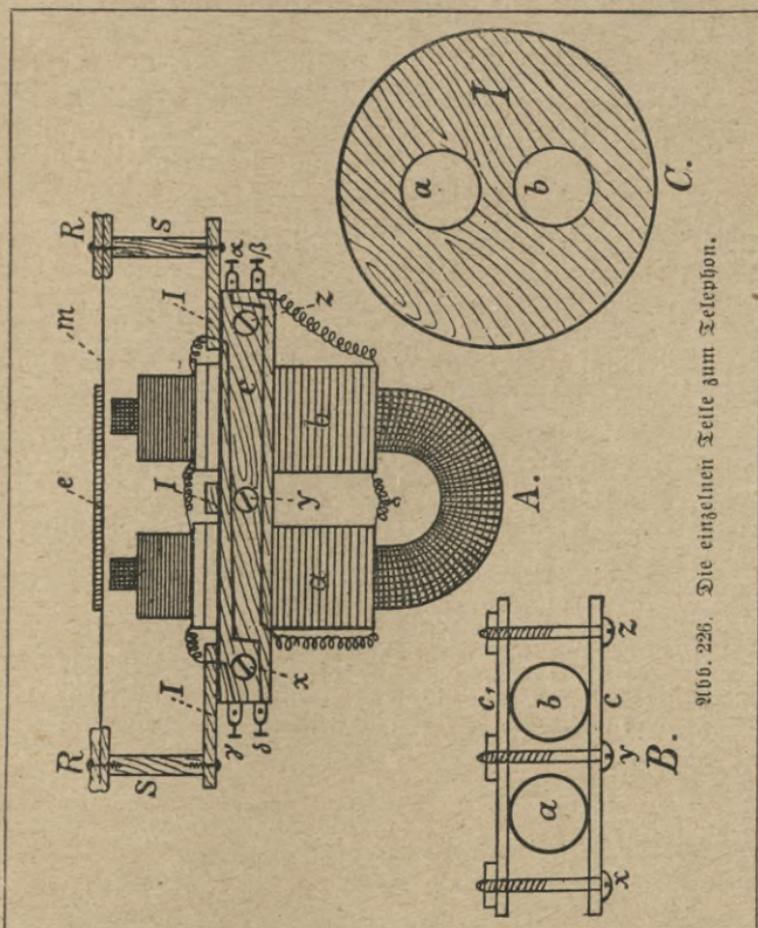


Abb. 226. Die einzelnen Teile zum Telephon.

sein innerer mindestens 7 cm. Genau in die Mitte der Pergamentmembrane m, auf die von den Magnetpolen abgewendete Seite, ist ein dünnes kreisrundes Blechscheibchen e aufzukleben, dessen Durchmesser 4 bis 4,5 cm, also etwas mehr betragen soll, als der Abstand der äußeren

Ränder der Polenden des Elektromagneten. Die Blechscheibe schneide man aus möglichst dünnem Weißblech mit einer gewöhnlichen Schere aus und achte dabei darauf, daß die Scheibe völlig eben und frei von Beulen bleibe. Das Aufkleimen geschieht mit gewöhnlichem Tischlerleim oder Schellack.

Darauf wird ein hinreichend langer Streifen Pergamentpapier, der so breit ist, als die Säulen *S* hoch sind, etwas angefeuchtet, mit einem Ende an einer der Säulen angeklebt, dann mehrmals außen um die übrigen Säulen herumgewunden, und schließlich wird sein Ende wieder angeklebt. Es entsteht dadurch zwischen den Säulen ein völlig geschlossener Raum, in welchem die Magnetpole mit den sekundären Spulen eingeschlossen sind.

An den Brettchen *c* und *c*₁ bringen wir noch vier kleine Klemmschrauben *α*, *β*, *γ* und *δ* an. In der Abb. 226 sind die Klemmen *β* und *δ* so gezeichnet, als säßen sie auch an *c*, während sie an dem verdeckten *c*₁ zu befestigen sind. Die Drahtenden der primären Spule werden an *α* und *β*, die der sekundären an *γ* und *δ* angelötet. Wo es sich irgend ermöglichen läßt, sollen Drahtverbindungen immer angelötet werden.

Wir müssen jetzt noch über der Membrane einen Schallbecher anbringen. Wer eine Drehbank besitzt, dreht sich den Schallbecher aus einem Stück Holz. Wir können ihn aber auch ohne Drehbank sehr einfach auf folgende Weise herstellen. Wir sägen aus dünnem Zigarrenkistenholz oder aus starkem

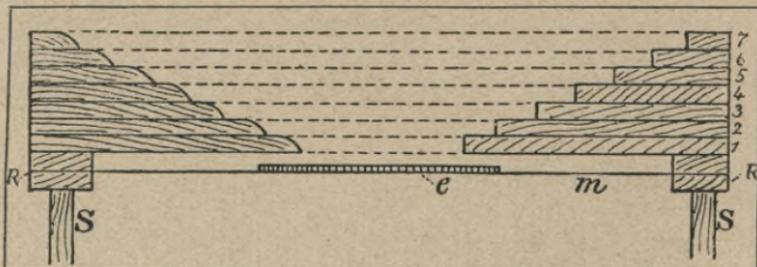


Abb. 227. Schnitt durch den Schallbecher.

Pappendeckel sieben runde Scheiben (1 bis 7 in Abb. 227) von der Größe der in Abb. 226c dargestellten und ver-

sehen jede mit einer einzigen zentralen Öffnung; die in Nr. 1 soll 1,5 bis 2 cm Durchmesser haben, die von Nr. 2 etwas mehr u. s. w. bis bei Nr. 7 der Durchmesser 6 bis 7 cm groß ist. Diese sieben Brettchen — wenn wir dickere Brettchen verwenden, genügen auch fünf — werden, wie aus Abb. 9 zu erkennen ist, aufeinandergeleimt; dann feilen wir die Kanten der treppenartigen Innenseite (in Abb. 227 rechts) etwas rund (in Abb. 227 links) und leimen den Schalltrichter auf den Ring R auf.

Die Entfernung der Membrane von den Magnetpolen soll 0,5 bis 1 mm betragen; jedenfalls darf sie nicht zu nahe stehen, so daß sie durch die Anziehung des Elektromagneten auf das Blechplättchen mit den Magnetpolen in Berührung kommt. Man kann den Abstand leicht regulieren, indem man die Schrauben x , y , z (in Abb. 226) etwas lockert, die Membrane mit dem ganzen Gehäuse in die richtige Lage bringt und danach die drei Schrauben wieder fest anzieht.

Die für jede Station nötige Anrufklingel können wir uns ebenfalls selbst herstellen, nach der auf Seite 113 gegebenen Beschreibung. Ferner brauchen wir für jede Station 3 bis 4 gute Salmiakelemente (siehe Seite 58 u. f.).

Die Schaltvorrichtung.

Das Mikrophon und den Umschalter, vielleicht auch die Glocke, montieren wir auf einem mit Rückleisten versehenen starken Brette von passender Größe. Oben in der Mitte wird das Mikrophon M befestigt, die Kohlenkontakte nach dem Brette zugekehrt (Abb. 228). Bei P ist der Drehpunkt eines Hebels a , der von einer hinreichend starken Spiralfeder F nach oben gezogen wird. Der Hebel wird aus einer dünnen Eisenstange oder einem hinreichend starken, nötigenfalls doppelten Blechstreifen hergestellt. An seinem Ende ist er so gebogen, daß das Telephon T eingehängt werden kann, von dessen Gewicht er nach unten gezogen wird. Dieser Hebel wird mit einem mit Schellacklösung getränkten Leinwandstreifen umwickelt. Darauf wird an drei Stellen (1, 2, 3) je ein Streifen aus Messing- oder Kupferblech um den bewickelten Hebel herumgewunden. Die drei Streifen müssen völlig voneinander isoliert unverrückbar festliegen, was man

durch Anwendung von etwas Schellackkitt (Seite 5) am sichersten erreicht.

Jetzt schrauben wir unter dem mittleren (2) Blechring zwei Messingblechstreifen parallel nebeneinander so auf dem Grundbrett fest, daß sie federnd von hinten gegen

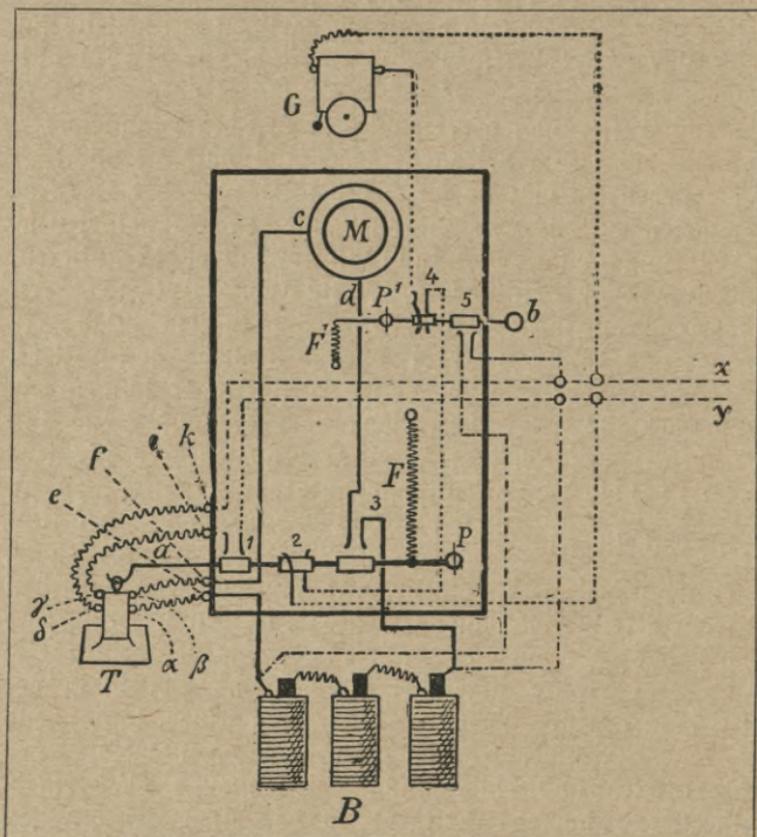


Abb. 228 Schaltungsschema der Telephonanlage.

den Ring 2 des niedergezogenen Hebels drücken und dadurch zwischen ihnen eine metallische Verbindung hergestellt wird. Zwei andere Paare von Messingblechstreifen stehen in ähnlicher Beziehung zu den Blechstücken 1 und 3, mit dem Unterschied, daß sie sich nicht unter, sondern über ihm befinden, der Kontakt also nur dann hergestellt wird, wenn

durch das Aushängen des Telephons der Hebel von der Feder in die Höhe gezogen wird, in welcher Lage dann die beiden Messingstreifen bei 2 wieder voneinander isoliert sind.

Ein zweiter Arm b ist als zweiarmiger Hebel um die Achse P^1 drehbar und wird durch eine Feder F^1 links nach unten, also rechts nach oben gezogen. Er ist gerade wie der Hebelarm a mit einem in Schellack getränkten Leinenstreifen zu umwickeln und trägt zwei Blechstücke (4 und 5), die genau wie bei a zu befestigen sind. Über 4 und unter 5 sind ebenfalls zwei Blechstreifen angebracht.

Es ist nun noch zu besprechen, wie die einzelnen Teile miteinander zu verbinden sind. In der Abb. 228 sind die einzelnen Drähte weit auseinandergerückt gezeichnet, um das Schema übersichtlicher zu gestalten. In Wirklichkeit bohren wir bei den Stücken, an welche die Verbindungsdrähte angeschlossen werden sollen, Löcher durch das Brett und führen den Draht auf der Rückseite den kürzesten Weg zur nächsten Verbindungsstelle. Die Verbindungen sind mit isolierten, etwa 1 mm starken Kupferdrähten herzustellen.

Der erste Stromkreis ist in der Abbildung durch einen ausgezogenen Strich dargestellt: er beginnt bei dem Zinkpol der Batterie B und führt zur Klemmschraube e; von da führt eine weiche, etwa 1 m lange Leitungsschnur zu der Klemme α der primären Telephonwicklung, von dessen Klemme β wiederum eine Leitungsschnur zu der Klemme f; sie ist mit dem Drahtende c des Mikrophons verbunden, dessen Drahtende d mit dem einen Metallstreifen bei 3 in leitender Verbindung steht. Der andere Blechstreifen bei 3 ist mit dem positiven Pole der Batterie verbunden.

Der Strom des zweiten Kreises nimmt folgenden Weg: er kommt durch die Fernleitung x zu Klemme k, geht von da durch eine Leitungsschnur zu δ , durch die sekundären Spulen zu γ , von γ durch eine Leitungsschnur zur Klemme i, von da zu dem einen Blechstreifen bei 1 und von dem anderen Blechstreifen zur Fernleitung y. Dieser Weg ist in der Figur einfach gestrichelt.

Der dritte Stromkreis (punktirt) geht von der Fern-

leitung x durch die Glocke G , den Kontakt 4, dann durch den Kontakt 2 zur Fernleitung y .

Der vierte Stromkreis (strich-punktiert) nimmt vom negativen Pole der Batterie seinen Weg durch den Kontakt 5 zur Fernleitung x und kommt durch y zum positiven Pole der Batterie zurück.

Hiermit ist die Ausrüstung einer Station beendet; wenn zwei solcher Stationen vorhanden sind, so braucht man sie nur noch durch eine doppelte Fernleitung miteinander zu verbinden, also die beiden x miteinander und ebenso die beiden y .

Ist die Fernleitung sehr lang, so wird es unter Umständen nötig, für die Klingel ein Relais einzuschalten. Über die Herstellung eines Relais und dessen Schaltung siehe Seite 121.

Will man nun von Station I mit Station II sprechen, so drückt man kurze Zeit den Hebel b herab, um zunächst anzurufen. Dadurch wird folgender Stromkreis geschlossen: von dem positiven Pole der Batterie B nach y , von da durch die Fernleitung nach dem y der Station II, daselbst zum Kontakte 2, dann zum Kontakte 4, zur Glocke G , nach x , durch die Fernleitung zurück zum x der Station I, zum Kontakte 5 (der hier durch das Herabdrücken des Hebels b geschlossen ist) und zurück zur Batterie. Demnach wird an der Station II die Klingel ertönen. Nun werden an beiden Stationen die Telephone abgehängt und die Hebel a gehen in die Höhe; dadurch ist an jeder Station folgender Stromkreis geschlossen: von dem positiven Pole der Batterie B durch den Kontakt 3 nach d am Mikrophone, durch dessen Kohlenkontakt 1 nach c , von hier über f nach β am Telephon, durch dessen primäre Spule nach d und e , endlich zurück zur Batterie. Durch den so fließenden Strom wird der Elektromagnet des Telephons erregt. Wird nun gegen das Mikrophon gesprochen, so wird die Membrane durch die ausschlagenden Luftwellen erschüttert und mit ihr die Kohlenstücke. Durch die Bewegung der letzteren schwankt aber der Widerstand des Kohlenkontaktes, damit auch die Stärke des den Magnet umfließenden Stromes. Neben den hier dargelegten Lokal-

stromkreisen ist aber auch noch ein Fernstromkreis geschlossen, der beide Stationen verbindet; dieser verläuft von x an der Station I nach k , dann nach d am Telephon, durch dessen sekundäre Spule nach γ , über i durch den Kontakt 1 nach y durch die Fernleitung zum y der Station II, daselbst durch den Kontakt 1 über i nach γ , durch die sekundäre Spule des Telephons nach d , über k nach x und durch die Fernleitung zurück zum x der Station I. In Abb. 229 ist die Hauptsache dieser Darlegungen in einem Schema übersichtlich zusammengefaßt:

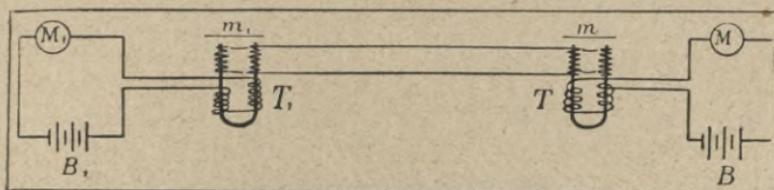


Abb. 229. Wirkungsschema der Telephonanlage.

rechts ein Lokalstrom, der die Batterie B , das Mikrophon M und die primäre Spule des Telephons T in sich schließt, links ein ebensolcher mit B_1 , M_1 und T_1 ; zwischen beiden Stationen ist die Fernleitung, die rechts und links durch die sekundären Spulen von T und T_1 geschlossen ist.

Es wurde schon erwähnt, daß durch Sprechen gegen die Membran des Mikrophons der Station I die Magnetkraft in dem dortigen Telephon zum Schwanken komme; dieses Schwanken ruft in den sekundären Spulen Induktionsströme hervor (vergleiche Seite 137), die durch die Fernleitung fließen und an der Station II in den sekundären Spulen des dortigen Telephons die Magnetpole umkreisen, deren Magnetkraft dadurch ebenfalls ins Schwanken gebracht wird. Dieses Schwanken erfolgt genau in dem Rhythmus der das Mikrophon treffenden Schallwellen, weshalb die mit dem Blechscheibchen beklebte Pergamentmembran die gleichen Töne wiedergibt, die gegen das Mikrophon gesprochen werden (vergleiche auch Seite 200 bis 204).

Wie man sich Rheostate herstellen kann. □ □

Rheostate oder Regulierwiderstände sind beim Arbeiten mit stärkeren Strömen fast unentbehrlich. Es sei darum im folgenden die Herstellung von Rheostaten beschrieben.

Gewöhnlich verwendet man für Regulierwiderstände schlechtleitende Metalllegierungen wie Nickelin oder Konstantan. Diese sind jedoch ziemlich teuer, und es wird deshalb manchem jungen Physiker erwünscht sein, zu erfahren, wie man sich Widerstände aus billigerem Material herstellen kann.

Wir verwenden den ziemlich schlecht leitenden Graphit, den wir in Form von Stäben der geringsten Sorte von Bleistiften entnehmen.

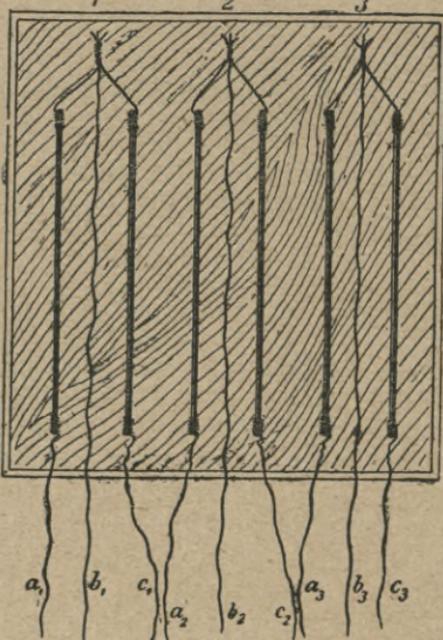


Abb. 230. Graphitstäbe des Rheostaten mit ihren Drahtansätzen.

Auf die Güte des Graphits und des Holzes zu Zeichenzwecken kommt es nicht an, es ist nur darauf zu sehen, daß die Graphitstäbe nicht schon von vornherein in der Holzfassung gebrochen sind. Das Holz entfernt man, indem man es abbrennt.

Wir brauchen für unseren Rheostat sechs Graphitstäbe; jeder einzelne Stab wird an beiden Enden mit dünnem, blankem Kupferdraht fest umwickelt, und die einzelnen Windungen dieser Umwicklung werden ver-

lötet. Diese Drahtansätze sollen an den oberen Enden 5 cm, an den unteren 10 cm lang sein. Die kurzen Drähte von je zwei Stäben drehen wir mit einem weiteren Drahte, der

um 15 cm länger als ein Graphitstab ist, zusammen und erhalten so drei Stabpaare, deren jedes unten drei Drahtenden (a, b, c in Abb. 230) aufweist. Diese drei Stabpaare werden auf einem quadratischen Brett von etwa 25 cm Seitenlänge in Gips oder Zement eingebettet. Man streicht auf das Brett eine 1 bis 1,5 cm hohe Gips-schicht; der Gips soll nicht zu dünnflüssig, aber doch gut plastisch sein. Nachdem man die auf den Brei gelegten Graphitstäbe mit einem ebenen Brette gleichmäßig eingedrückt hat, schlägt man an acht bis zehn Stellen je einen Nagel mit breitem Kopf so weit in das Brett ein, daß er noch etwa 5 mm weit über die Gips-schicht herausragt, welche darauf reichlich mit Wasser übergossen und dann mit einer zweiten Gips-schicht von etwa 1 cm Dicke überdeckt wird. Oberfläche und Ränder des Gipsblockes werden nun noch glatt gestrichen und das Ganze läßt man dann in horizontaler Lage trocknen.

Darnach wird, wie aus Abb. 231 hervorgeht, das Brett mit dem Gipsblock auf ein zweites größeres Brett aufgeschraubt, auf welchem auch der Schalthebel und die Klemmen angebracht werden.

Man schlägt um den Punkt A einen Kreisbogen mit dem Radius b und markiert sich darauf sieben Punkte, mit gegenseitigen Abständen von etwa 2 cm. In jedem dieser Punkte wird ein Ziernagel mit flachgewölbtem Messingkopf eingeschlagen, jedoch vorerst so, daß die Köpfe das Brett nicht berühren. Um die sieben Ziernägel werden die neun Drahtenden in folgender Weise herumgewickelt: Draht 1 um Nagel 1, Draht 2 um Nagel 2, Draht 3 und 4 um Nagel 3, Draht 5 um Nagel 4, Draht 6 und 7

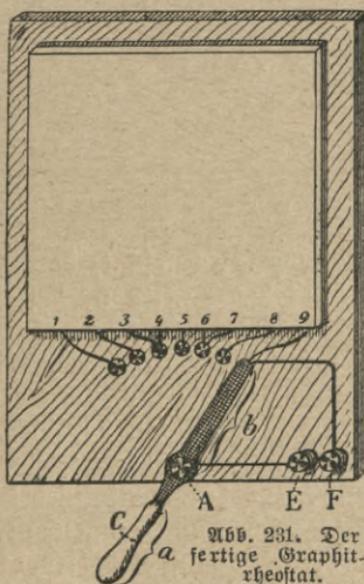


Abb. 231. Der fertige Graphit-rheostat.

um Nagel 5, Draht 8 um Nagel 6, Draht 9 um Nagel 7, um welche letzteren man außerdem einen nachher zur Klemme F zu führenden, dicken Kupferdraht schlingt. Darauf werden die Ziernägel vollständig eingeschlagen und die Drähte außerdem noch mit den Nagelköpfen verlötet.

Der Kontakthebel C wird aus einem Streifen starken Kupfer- oder Messingblechs hergestellt, das bei A eine Bohrung erhält und dessen eines Ende mit einem Holzgriff a versehen wird. Die Befestigung des Kontakthebels geschieht in folgender Weise (Abb. 232).

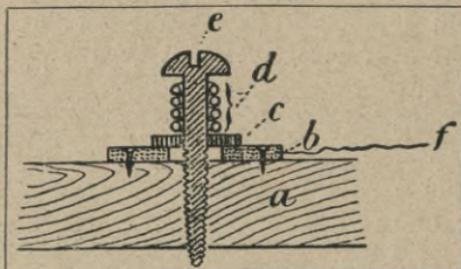


Abb. 232. Befestigung des Kontakthebels.

dem Holze a befestigt; darauf legen wir den Kontakthebel c so auf die Scheibe b, daß seine Durchbohrung auf deren Mitte liegt, bedecken diese Bohrung mit einer kleinen Spiralfeder d und stecken durch diese, durch den Hebel und durch die Scheibe die Schraube e, die in a eingeschraubt wird. An der Scheibe b wird ein Kupferdraht f angelötet, der zu der Klemme E (Abb. 231) führt.

Steht der Kontakthebel so wie in Abb. 231, so ist kein Widerstand eingeschaltet. Wird er aber nach links gedreht, so muß der Strom seinen Weg zuerst durch einen, dann durch zwei und schließlich durch alle sechs Graphitstäbe nehmen.

Die Graphitstäbe könnte man auch freistehend oder liegend befestigen; da sie jedoch sehr zerbrechlich sind, so ist das angegebene Verfahren vorzuziehen. Auch ist dann, wenn die Stäbe durch starke Ströme glühend werden, eine Gefahr ausgeschlossen.

Haben die Graphitstäbe einen Querschnitt von 3 qmm, so extragen sie eine Stromstärke von 20 bis 25 Ampere.

Soll ein solcher Rheostat auch größeren Stromstärken standhalten, so müssen dickere Graphitstäbe gebraucht oder jeweils zwei nebeneinander geschaltet werden.

Will man die Stromstärken feiner regulieren können, als es das jeweilige Ein- oder Ausschalten eines ganzen Graphitstabes erlaubt, so macht man das Grundbrett des oben beschriebenen Rheostaten etwas größer und bringt noch einen zweiten Drehhebel an, der auch über eine bogenförmige Reihe von Nagelköpfen schleift. Diese Nagelköpfe sind, wie aus Abb. 233 hervorgeht, alle mit einem einzigen, ebenfalls in den Gipsblock einzubettenden Graphitstab verbunden. Die Drähte, mit deren Zahl die

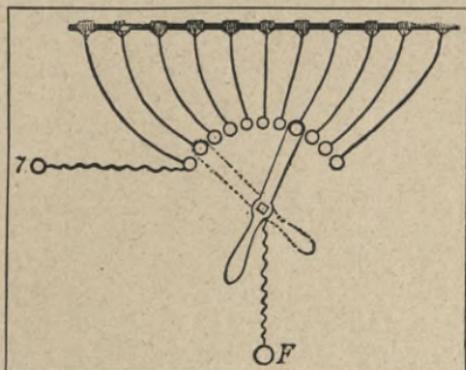


Abb. 233. Widerstand für feine Regulierung.

Feinheit der Regulierbarkeit wächst, sind in gleichen Abständen voneinander um den Graphitstab herumzuwinden.

Um schlechte Kontaktstellen zu vermeiden — an solchen könnten bei starken Strömen schädliche Lichtbogen auftreten — stelle man die Verbindung der Drähte mit dem Graphitstab folgendermaßen her. Man windet einen mit Glaspapier gereinigten etwa 0,6 mm starken, weichen Kupferdraht an der betreffenden Stelle in fünf regelmäßigen Windungen fest um den Graphitstab herum und dreht dann den Anfang und das Ende dieses Drahtstückchens fest zusammen. Auf diese Umwicklung wird dann ein starker (1 bis 1,5 mm) Kupferdraht aufgelötet, der zu den Kontaktköpfen führt.

Dieser Sonderreostat wird zwischen dem siebten Kontaktkopf und der Klemme F eingeschaltet.

Da der eben beschriebene Apparat wohl allen Anforderungen des jungen Lesers genügt, so will ich mit der Beschreibung anderer Konstruktionen keine Zeit verlieren; sie seien nur der Vollkommenheit wegen kurz erwähnt:

Der Rheostat mit Nickel- oder Konstantandrähten ist im Prinzip genau so konstruiert wie der Graphitrheostat.

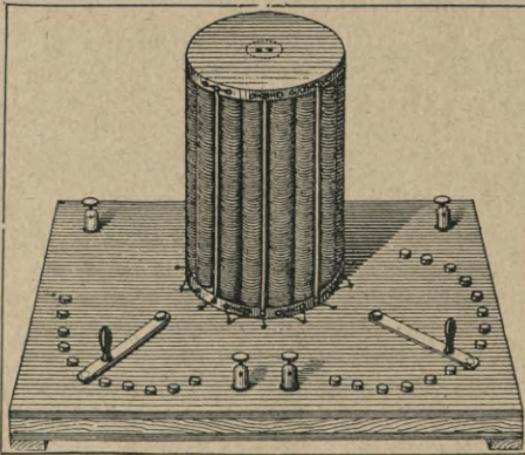


Abb. 234. Nickelrheostat.

Die Drähte werden aber nicht in Gips eingelegt, sondern zu Spiralen gedreht, die in Holzrahmen ausgedehnt werden. Abb. 234 zeigt eine derartige Einrichtung.

Abb. 235 zeigt einen Glühlampenrheostat. Je mehr Glühlampen nebeneinander in einen Stromkreis eingeschaltet werden, desto geringer wird der Widerstand. Mit der

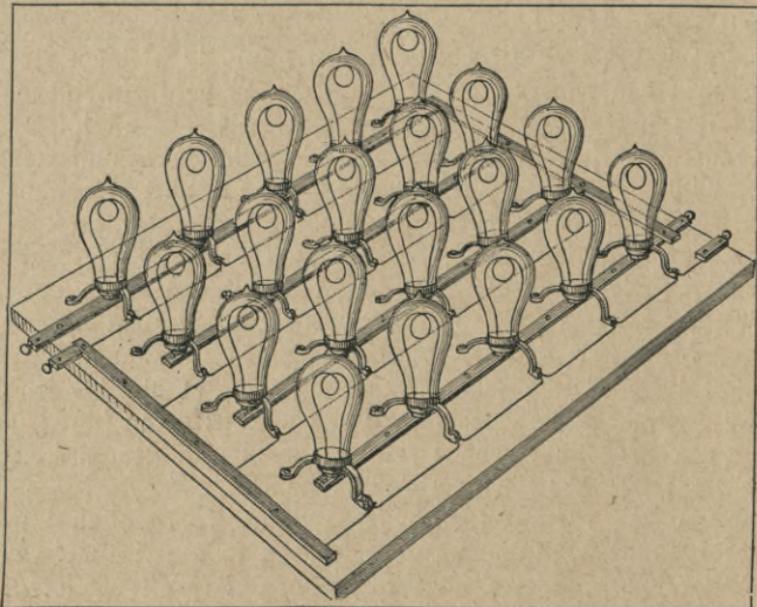


Abb. 235. Glühlampenrheostat.

Zahl der hintereinander eingeschalteten Lampen wächst der Widerstand. Bei dem in Abb. 235 gezeichneten Apparat können 1 bis 20 Lampen nebeneinander in einen Stromkreis eingeschaltet werden.

Es ist vorteilhaft, wenn die Widerstände, mit denen man arbeitet, geeicht sind. Über das Messen von Widerständen siehe Seite 109.

Der Taschenakkumulator. □ □

Die Selbstherstellung eines Akkumulators wurde schon auf Seite 72 bis 80 ausführlich beschrieben. Abgesehen davon, daß ein Akkumulator, den man in der Tasche tragen können soll, viel kleiner, leichter und enger gebaut sein muß, ist ein vollkommen dichter Abschluß des Gefäßes von größter Wichtigkeit.

Die Außenmaße für den Behälter sollen betragen: 10 cm in der Breite, 13 cm in der Höhe und 1,7 cm in der Dicke. Der Akkumulator soll aus drei Zellen bestehen, also 6 Volt liefern; jede Zelle enthalte 3 Platten, die parallel der Breitseite oder 5 Platten, die parallel der Schmalseite eingebaut werden. Die Platten werden aus 1 mm dickem Bleiblech genau so hergestellt, wie schon auf Seite 73 u. 74 beschrieben wurde. Zwischen den beiden äußersten (negativen) Platten einer Zelle und der Gefäßwand braucht kein Zwischenraum zu bleiben.

Es handelt sich also nur noch um das Material, aus dem wir das Gefäß, und um die Masse, aus der wir den Verschluß herstellen.

Für das Gefäß ist Zelluloid bei weitem das geeignetste, freilich auch das teuerste Material. Wir beschaffen uns Platten in passender Größe von etwa 1 mm Dicke. Dabei ist nicht zu vergessen, daß das flache Gefäß drei Abteilungen, also zwei querteilende Zwischenwände haben muß.

Die Zelluloidplatten bestellen wir uns am besten schon in passender Größe, andernfalls schneiden wir sie mit einer guten Schere zurecht, was sich aber nur dann gut bewerkstelligen läßt, wenn das Zelluloid nicht spröde ist. In diesem Falle wird es mit der Messerspitze angeschnitten, so zwischen zwei scharfkantige Brettchen gelegt, daß der Schnitt

mit den Ranten der Brettchen zusammenfällt, und dann gebrochen.

Zum Zusammenfitten der einzelnen Teile verwenden wir eine Lösung von Zelluloid in Essigäther. Haben wir nicht genügend Abfallstückchen, die wir zum Auflösen verwenden können, so befreien wir einen alten oder schlechten Rollfilm von den Gelatineschichten — die nichtrollenden Films sind auf beiden Seiten mit einer Gelatineschicht versehen — durch Abwaschen mit heißem Wasser, schneiden ihn dann in kleine Stückchen und legen diese in Essigäther. Die Lösung soll dickflüssig sein. Die zu verbindenden Teile werden beide mittelst eines Pinsels mit dieser Lösung bestrichen und dann rasch zusammengesetzt. Nach völligem Trocknen wird noch etwas von der Zelluloidlösung in die Ranten, die von den Wandungen gebildet werden, eingegossen. Daraufhin lasse man das Gefäß einen Tag trocknen.

Einfacher und billiger, aber weniger dauerhaft ist ein Behälter aus Pappe. Diesen kleben wir aus den Teilen zusammen, die wir aus hartem, nicht zu dünnem Pappendeckel schneiden. Zum Kleben verwendet man möglichst wenig Syndedikon (Fischleim). Nach dem Trocknen des Leimes wird der Behälter in Kolophonium-Wachskitt (Seite 66 u. 80) mit viel Leinöl etwa 30 Minuten lang gekocht. Darauf nimmt man ihn heraus und läßt alles überschüssige Kolophonium abfließen. Die Außenseite wird mit dünnem weißem Fließpapier belegt, welches ohne weiteres sofort festklebt, wenn man es mit dem Handballen ein wenig aufstreicht. Nach völligem Erkalten des Behälters werden seine drei Fächer mit reinem Kolophonium (das heißt solchem ohne Leinöl), das man bis zur Dünnsflüssigkeit erhitzt hat, bis etwa 1 cm vom oberen Rande angefüllt; man achte darauf, daß nichts auf die äußere Papierbekleidung fließt. Diese Füllung darf nur einige Sekunden in dem Behälter bleiben, dann ist sie rasch auszugießen. Dadurch werden die Innenwände mit einem Überzug versehen, der nach dem Erkalten nicht mehr klebrig ist. Dem zuletzt erwähnten Kolophoniumguß kann man etwas ($\frac{1}{10}$) Asphalt zusetzen. Schließlich wird der äußere Papierbelag noch mit Eisenlack angestrichen.

Die präparierten Bleiplatten werden, wie schon auf

Seite 76 erwähnt wurde, eingesetzt; sie sollen auch auf Glasröhrchen, nicht unmittelbar auf dem Boden des Gefäßes stehen. Der obere Plattenrand soll 2,5 cm unterhalb des oberen Gefäßrandes zu liegen kommen. Die Fortsätze der Platten sollen schmal sein und müssen kurz vor der Herstellung des Verschlusses mit Schmirgelpapier sorgfältig gereinigt werden.

Die Platten werden eingesetzt und die Zellen bis 2 cm vom oberen Rande mit Wasser gefüllt. Statt der Glasröhrchen, die bei dem oben beschriebenen Akkumulator zum Entweichen der Gase dienen, werden in derselben Weise kleine, etwa 4 cm lange Gummischlauchstückchen (Ventilschlauch) eingesetzt, in jede Zelle zwei. Der Abschluß wird durch fünf verschiedene, je 4 mm dicke Stümpfe hergestellt.

Der erste Guß wird sorgfältig auf das Wasser ausgegossen und besteht aus Kolophonium, dem man bis zu $\frac{1}{3}$ Asphalt zusetzen kann. Nach dem Erkalten werden die noch herausragenden Bleistreifen und die Wände des Behälters mit Filtrierpapier sorgfältig getrocknet.

Der zweite Guß besteht aus Kolophonium-Wachskitt (Veinöl ziemlich reichlich), der möglichst heiß eingegossen werden muß. Ein guter Kontakt dieses Gusses mit den Wänden und mit dem Blei ist besonders wichtig. Man führt ihn am sichersten herbei, wenn man an den Berührungsstellen von Wand und Blei mit dem Kitt letzteren mit einem dicken, weißglühenden Nagel noch einmal in Fluß bringt.

Der dritte Guß kann genau wie der zweite hergestellt werden. Weit sicherer ist jedoch folgendes Verfahren: Wir beschaffen uns eine kleine Blechbüchse mit Deckel, deren Boden- und Seitennaht nicht gelötet, sondern durch Falz hergestellt ist. In den Deckel wird ein kleines Loch geschlagen. Die Büchse umwickeln wir mit einem starken Draht, den wir zu einem langen Stiel biegen. In diese Büchse geben wir kleine Stückchen von einem alten Gummischlauch und halten sie über einen Bunsenbrenner. Der Gummi schmilzt, und ein sehr übelriechender, grauer Dampf strömt aus dem Loch des Deckels hervor. Der Dampf ist brennbar; wir zünden ihn an, und vermindern dadurch den peinlichen Geruch

dieses Verfahrens ganz wesentlich. Ist der Gummi völlig geschmolzen, dann geben wir eine mittelgroße Tube voll Gummilösung — wie man solche zum Pneumatikfließen gebraucht — zu und vermischen diese tüchtig mit dem geschmolzenen Gummi; darauf wird die Masse noch einmal unter ständigem Umrühren kurz erhitzt; dann wird die Flamme gelöscht — in einem Raum, in dem mit Benzin umgegangen wird, darf niemals eine offene Flamme brennen — und so viel Benzin zugerührt, bis die Mischung ihre Zähigkeit etwas verliert. Jetzt wird sie aufgegossen; dabei helfen wir mit einem Holzstäbchen nach, damit sie sich überall gleichmäßig verteilt. Man achte darauf, daß dieser erst nach vielen Monaten völlig trocknende Gummibrei nur an die Stellen gelangt, für die er bestimmt ist, da man ihn dort, wo er einmal klebt, nur sehr schwer entfernen kann.

Der vierte Guß darf erst nach zwei bis drei Tagen auf den dritten aufgegossen werden; er besteht aus Kolophonium, dem man nur wenig Leinöl zugefügt hat.

Darauf kommt der fünfte Guß, der aus der käuflichen sogenannten Akkumulatorenvergußmasse oder aus Paraffin hergestellt wird.

Die Bleistreifen werden in der richtigen Reihenfolge untereinander verlötet (siehe Seite 77) und am negativen Pol der ersten und am positiven der dritten werden Klemmschrauben angebracht.

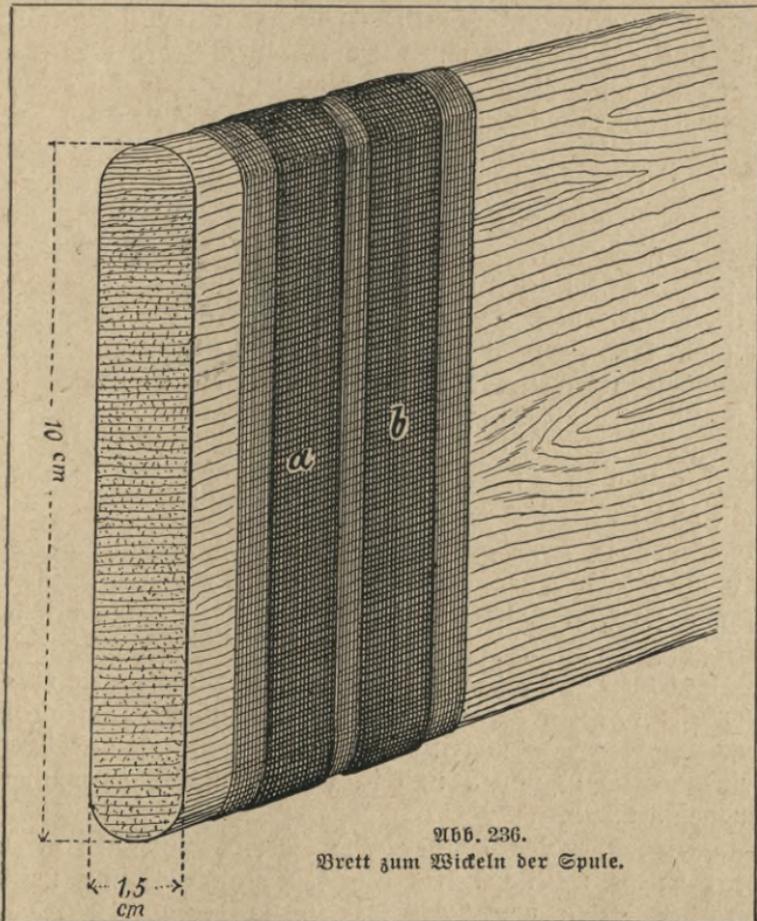
Das Wasser läßt man jetzt durch die Schläuche abfließen. Mit Hilfe eines Glasrichters, dessen Rohr zu einer hinreichend feinen Spitze ausgezogen ist, um in die engen Gummischläuche eingesteckt werden zu können, wird die Schwefelsäure eingegossen; sie soll den oberen Rand der Platten gerade noch bedecken, so daß zwischen ihr und dem Verguß ein 3 bis 4 mm breiter Raum frei bleibt. In die oberen Enden der Gummischläuche werden zum Verschluß runde Holzstäbchen (Streichhölzer) eingesteckt.

Herstellung eines Universal-Volt-Ampere-Meters.

Das im folgenden beschriebene Instrument ist ein sogenanntes Dynamometer (Seite 207). Es ist deshalb sowohl für Wechsel- wie für Gleichstrom zu verwenden;

zufolge seiner Konstruktion kann es, was Spannungen und Stromstärken betrifft, in sehr weiten Grenzen gebraucht werden. Ferner kann es bei sauberer Arbeit zu einem richtigen Präzisionsinstrument gemacht werden.

Die Arbeit beginnt damit, daß man einem 1,5 cm dicken, 10 cm breiten und beliebig langen Brettchen durch Ab-



runden der Kanten die Abb. 236 zu erkennende Form gibt. Dieses Brettchen umwickelt man nahe dem einen Ende mit einem nicht zu starken Bindfaden auf eine Strecke von

etwa 7 cm, so daß Windung genau an Windung liegt. Darüber spannt man einen Streifen Pergamentpapier, dessen Enden man zusammenklebt, wobei man aber darauf achten muß, daß er nicht an dem Bindsadenbelag kleben bleibt. Darüber wird ein in einer dicken Schellacklösung getränktes Seidenpapier gelegt; ist das etwas angetrocknet, so wickelt man einen isolierten 0,4 bis 0,5 mm starken Kupferdraht darauf¹⁾, wiederum Windung genau an Windung, bis man einen 2 cm breiten Belag erhalten hat. Darauf läßt man, indem man den Draht auf einer Schmalseite des Holzes quer herüberführt, einen 1,5 cm breiten Zwischenraum und legt einen zweiten, ebenfalls 2 cm breiten Belag an (Abb. 236, a und b). Die beiden Beläge werden mit Schellacklösung bestrichen und mit Papier überzogen. Darauf wickelt man die zweite Lage; hat man von links nach rechts zu wickeln begonnen, so wickelt man nun von rechts nach links. Den Übergang von b nach a macht man auf der dem ersten Übergang entgegengesetzten Seite; dann wird wieder mit Schellack bestrichen, mit Papier belegt u. s. w., bis wir fünf oder sieben Lagen gewickelt haben. Der Übergang von a zu b wird oben, von b zu a immer unten gemacht. Die Drahtenden sollen je 10 cm frei von der Spule abstehen.

Genau in derselben Weise werden fünf Lagen eines 1,0 mm, drei Lagen eines 1,5 mm und eine Lage eines 2 mm starken, isolierten Kupferdrahtes über die ersten Windungen gelegt.

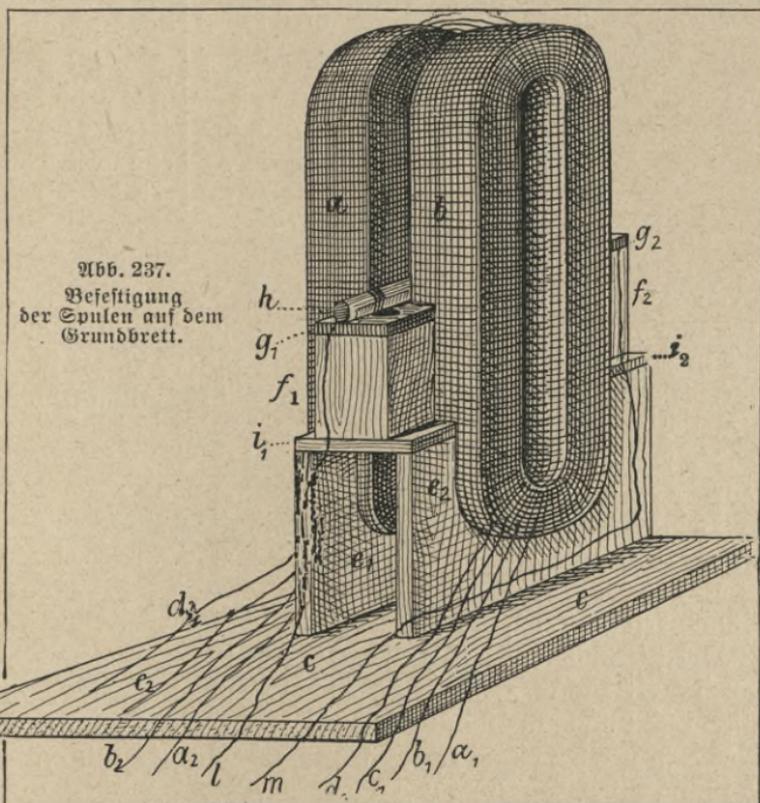
Auf diese Weise sind zwei verbundene Drahtspulen entstanden; aus jeder ragen vier 10 cm lange Drahtenden hervor. Die Windungen müssen natürlich alle auf derselben Seite begonnen und in demselben Drehungssinne ausgeführt sein.

Nun müssen die Spulen vom Holz abgenommen werden; da sie wahrscheinlich sehr fest aufsitzen, muß man erst den Belag von Bindsaden unter der Spule wegziehen. Um den Spulen mehr Halt zu geben, kann man jede quer zur Längsrichtung der Drähte mit schmalem

¹⁾ Vergleiche Berechnung von Drahtlängen Seite 134.

Folierband umwickeln. Ein dicker Schellacküberzug gibt auch hinreichend Halt.

Abb. 237 zeigt, wie das Spulenpaar a, b auf einem Grundbrett c befestigt wird: es erhalten die beiden Brettchen e_1 und e_2 je einen Ausschnitt, in den das untere Ende



der Spulen genau hineinpaßt. Die beiden Brettchen werden auf c befestigt und auf ihrer Oberseite durch die Brettchen i_1 und i_2 verbunden.

Damit ist der erste Hauptteil des Apparates fertig. Der zweite, die bewegliche innere Spule und ihre Lager, müssen mit besonderer Sorgfalt hergestellt werden, da von der Genauigkeit der Ausführung dieser Teile hauptsächlich die Zuverlässigkeit und Empfindlichkeit des Instrumentes abhängt.

Wir kaufen uns ein 10 cm langes, 3 mm starkes Stück Rundstahl (Nickelstahl), das wir, falls es hart sein sollte, tüchtig durchglühen. Dabei ist aber darauf zu achten, daß sich das Stück nicht verbiegt. Ferner drehen wir uns aus

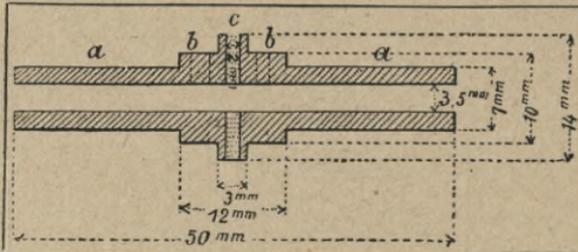


Abb. 238. Fassungstück (Schnitt).

einem sauberen, faser- und astlosen Stück Hartholz oder besser aus Hartgummi das in Abb. 238 im Schnitt mit Maßangaben und in Abb. 239 in der Außenansicht wiedergegebene Fassungstück; dieses besteht aus drei Teilen, die in Abb. 239 mit a, b, c bezeichnet sind; es ist seiner ganzen Länge nach durchbohrt; man achte darauf, daß die Längsbohrung genau zentrisch sei. In den beiden mit b bezeichneten Teilen sind je drei 2 bis 3 mm weite Löcher zu bohren, die in die Längsbohrung einmünden und um

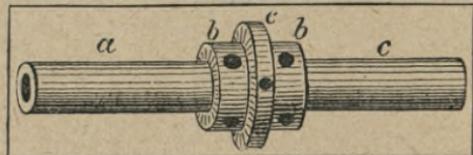


Abb. 239. Fassungstück (Außenansicht).

120° gegeneinander verschoben sein sollen; sie sind in Abb. 238 durch zwei Paare punktierter Linien in b angedeutet; in Abb. 239 sind natürlich nur je zwei dieser Löcher zu sehen. Der Teil c wird längs einem seiner Durchmesser mit einer 2 mm weiten Bohrung versehen. Ferner schneiden wir von einem starkwandigen Messingrohr, das sich gerade noch über b schieben läßt, zwei 4 mm breite Ringe ab und versehen sie mit je drei Bohrungen, die denen in b entsprechen, jedoch etwas enger als diese sein sollen; sie werden außerdem mit Gewinden versehen, durch welche sich Schrauben bis in die Längsbohrungen eindrehen lassen.

Nun wird ein 10 cm langer, 2 mm starker Messing- oder Kupferdraht (kein Eisen!) durch das Loch in c geschoben, so daß nach beiden Seiten gleiche Teile hervor-

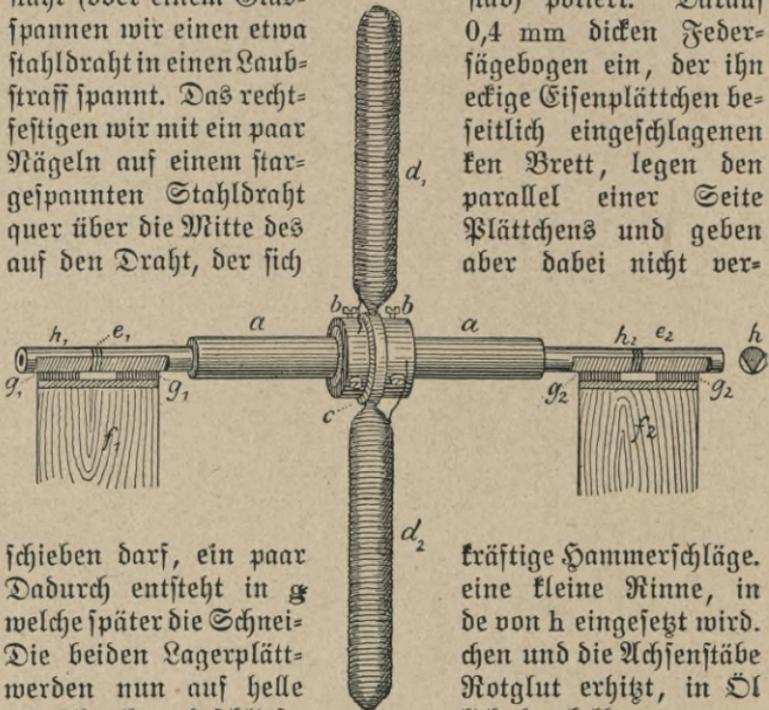
ragen; der Draht muß fest sitzen, was man nötigenfalls dadurch erreichen kann, daß man ihn in der Mitte ein klein wenig verbiegt. Über die beiden dadurch entstandenen Drahtschenkel wickelt man einen gut isolierten 0,4 bis 0,5 mm starken Kupferdraht in regelmäßigen Windungen auf. Die Bewickelung beginnt man bei einem Drahtschenkel da, wo er aus dem Mittelstück *c* heraustritt; an dem Ende des Drahtes angelangt, wickelt man wieder bis zur Anfangsstelle zurück, wo man den Draht mit einem Bindfaden anbindet, um ein Aufschnurren der Spirale zu verhindern. Darauf wird er um *b* herum zum anderen Drahtschenkel geführt, der gerade so wie der erste bewickelt wird; dann wird wieder zum ersten, dann noch einmal zum zweiten übergegangen. Es sind somit auf jeden Schenkel vier Lagen aufzuwickeln. Das eine Drahtende ist auf dem einen, das andere auf dem anderen Messingring anzulöten. Die beiden länglichen Drahtspulen sind schließlich noch tüchtig mit Schellacklösung zu bestreichen.

Jetzt schneiden wir das schon oben erwähnte Stahlstäbchen in der Mitte auseinander und feilen jedem an einem Ende eine etwa 2 cm lange Schneide an. Die Schneide ist zuerst mit einer gröberen, dann mit einer feinen Schlichtfeile sehr sorgfältig herzustellen. Die beiden die Schneide bildenden Flächen sollen einen Winkel von etwa 50° einschließen. Nun werden die beiden Stäbchen (h_1 und h_2), wie aus Abb. 240 zu ersehen ist, beiderseits in die Bohrung in *a* gesteckt; sie dürfen aber nicht miteinander in leitende Berührung kommen, weshalb man sie am besten durch zwei Kartonscheibchen von dem durch *c* laufenden Drahte trennt. Die Bohrung in *a* ist etwas weiter (3,5 mm) als die Lagerstäbchen dick sind (3 mm), weshalb diese nun etwas Spielraum haben; die beiden Mündungen der Längsbohrung werden deshalb durch eingeklebte Papierstreifen so weit verengt, daß die Stäbchen *h* nur noch knapp hineingehen. Das innere Ende von *h* hat dann wieder mehr Spielraum, wird aber durch die Schraubchen in *b* fixiert; mittelst dieser werden die beiden Stäbchen so gestellt, daß ihre Schneiden genau in einer Geraden liegen.

Abb. 240 zeigt den fertigen Anker in der Ansicht; die

Lager f_1 und f_2 sind im Schnitt gezeichnet. Sie bestehen je aus einem rechteckigen Eisenplättchen (g_1 und g_2), das in der Mitte durchbohrt ist. Dies Eisenplättchen wird auf einem ebenen Sandstein mit feinem Schmirgelpulver und Wasser völlig eben geschliffen und schließlich mit dem Polierstahl (oder einem Glas-

stab) poliert. Darauf spannen wir einen etwa stahldraht in einen Laubstraff spannt. Das rechtefestigen wir mit ein paar Nägeln auf einem star- gespannten Stahldraht quer über die Mitte des auf den Draht, der sich



schieben darf, ein paar Dadurch entsteht in g welche später die Schnei- Die beiden Lagerplätt- werden nun auf helle abgeschreckt und schließ- lassen. An jedes der einige Zentimeter langer Diese Lager werden nun und f_2 befestigt, wie dies aus Abb. 237 erhellt. Die oberen Flächen von g_1 und g_2 müssen genau in einer Ebene, die beiden mit dem Stahldraht hergestellten Rinnen genau in einer Geraden liegen. Um dies sicher zu erreichen, verfährt man folgendermaßen. Man bringt auf die End- flächen von f_1 und f_2 etwas Glaserkitt und legt g_1 und g_2 darauf. Mit einem ausgespannten Faden prüft man zuerst, ob die Rinnen genau in einer Linie liegen; nötigenfalls

kräftige Hammerschläge. eine kleine Rinne, in de von h eingesetzt wird. chen und die Achsenstäbe Rotglut erhitzt, in Ol lich dunkelbraun ange- Plättchen g wird ein Kupferdraht angelötet. auf den Holzklötzchen f_1

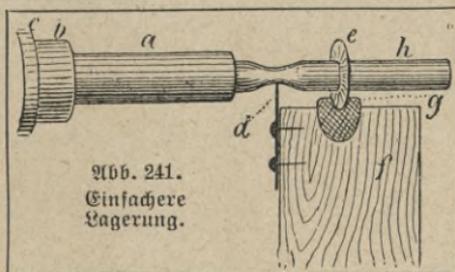
Abb. 240.
Fertiger
Unter (An-
sicht).

werden die Plättchen verschoben, bis sie richtig liegen. Darauf werden sie beide gleichzeitig mit einer hinreichend großen, ebenen Glasplatte (Spiegelglas) oder sonst einem Gegenstand, der sicher eben ist, fest aufgedrückt; dann prüft man nochmals mit dem Faden, ob die Rinnen noch richtig liegen, drückt die Glasplatte nochmals auf u. s. f., bis man sicher ist, daß die beiden Lagerplättchen genau richtig liegen.

Da wo die Schneiden der Achse über die Vöcher in g zu liegen kommen, werden sie mit Schmirgelpapier gereinigt und mit 2 bis 3 Windungen eines 1 mm starken nackten Kupferdrahtes umwickelt; die Enden des Drahtes werden auf der Unterseite fest zusammengedreht, kurz abgeschnitten und verlötet (e).

Die Mühe, das Lager in der eben beschriebenen Weise herzustellen, lohnt sich nur dann, wenn unbedingt genau und sorgfältig gearbeitet wird. Wer nicht genügend Handfertigkeit in diesen Arbeiten besitzt, der erhält mit den im folgenden angegebenen einfacheren Ausführungen wahrscheinlich ein genaueres arbeitendes Instrument.

Die Stäbchen erhalten keine Schneide, dagegen dreht man ihnen nahe der Stelle, wo sie aus a heraus-



ragen, eine Einschnürung an, wie dies aus Abb. 241 zu erkennen ist. Mit der Einschnürung ruht das Lagerstäbchen auf einem Streifen von Messingblech d, der an f befestigt ist. Ferner wird an h, das in diesem Fall auch aus gewöhnlichem Rundeisen hergestellt werden kann, aus Kupferblech ein Scheibchen e angelötet und unter diesem in f eine entsprechende Vertiefung angebracht.

Noch mehr vereinfachen kann man das Lager, wenn man statt des runden Stäbchens h einen Messingblechstreifen verwendet, der mit seiner Kante auf der des Lagerbleches d aufliegt. Es fällt damit der mittlere, in Abb. 238 und 239 abgebildete Teil ganz weg. Es wird einfach

der etwa 1 mm starke Messingblechstreifen an den Lagerstellen messerartig geschärft, und durch zwei eingesägte Schlitz in der Mitte wird der Kupferdraht, der Kern der Spulen, hindurchgesteckt und festgelötet. Die Zuleitungsdrähte zu den Spulen werden nach rechts und links auf dem Blechstreifen nach außen geführt und mit etwas Schellack- oder Kolophonium-Wachskitt auf dem Bleche befestigt. Die Enden des Drahtes werden nach unten gebogen und von der Umspinnung frei gemacht;

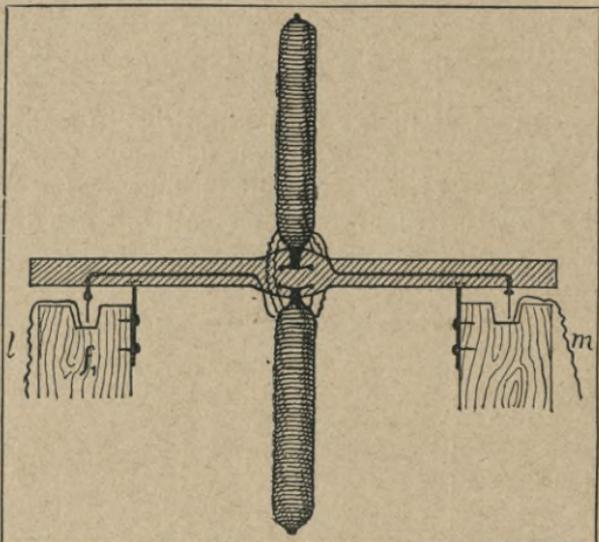


Abb. 242. Lagerung mit einem Blechstreifen.

sie sollen so lang sein, daß sie noch in die in fein-gebohrte Vertiefung hin-abreichen.

Abb. 242 zeigt diese Anordnung, die an Empfindlichkeit den beiden anderen kaum nachsteht

und zudem viel einfacher herzustellen ist; sie hat aber den Nachteil, daß sie keine gleichmäßigen Ausschläge liefert, da sich die Schneiden des Lagers ständig verändern. Wir werden also auf diese Weise kein Präzisionsinstrument herstellen können. Immerhin werden wir mit den letztgenannten Anordnungen, wenn sie auch nur einigermaßen sauber ausgeführt sind, weit genauere Resultate erzielen als mit der ersten, wenn diese nicht sehr zuverlässig gearbeitet ist.

Wie diese Teile nun montiert werden, geht wohl zur Genüge aus Abb. 237 hervor; es sei nur noch bemerkt, daß die beiden festen Spulen a und b, die ursprünglich

einen Abstand von 1,5 cm haben, jetzt so nahe zusammengerückt werden, daß die Achse des Ankers gerade noch freien Spielraum hat. Sie werden dann in der schon erwähnten Weise mit etwas Schellackfitt auf dem Brettchen *e* befestigt.

Es sind nun noch die zehn Drahtenden ($a^{1/2}$, $b^{1/2}$, $c^{1/2}$, $d^{1/2}$, l und m) mit einer auf *c* (Abb. 237) anzubringenden Schaltvorrichtung zu versorgen.

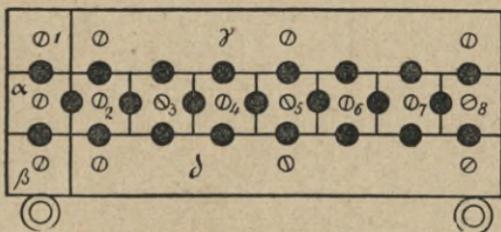


Abb. 243. Die Platte des Stöpselkontaktes.

Diese Schaltvorrichtung wird durch ein System von sogenannten Stöpselkontakten hergestellt. Wir beschaffen uns zu diesem Zweck ein 8 cm langes, 3 cm breites und 2 mm starkes Kupfer- oder Messingblech, in das wir die aus Abb. 243 hervorgehende Einteilung einritzgen;

zeichnen die Stellen, welche die einzelnen Löcher gehen sollen, die einzel-

an den mit ① bezeichneten werden 2 mm gebohrt, durch Schraubchen mit denen neuen Teile

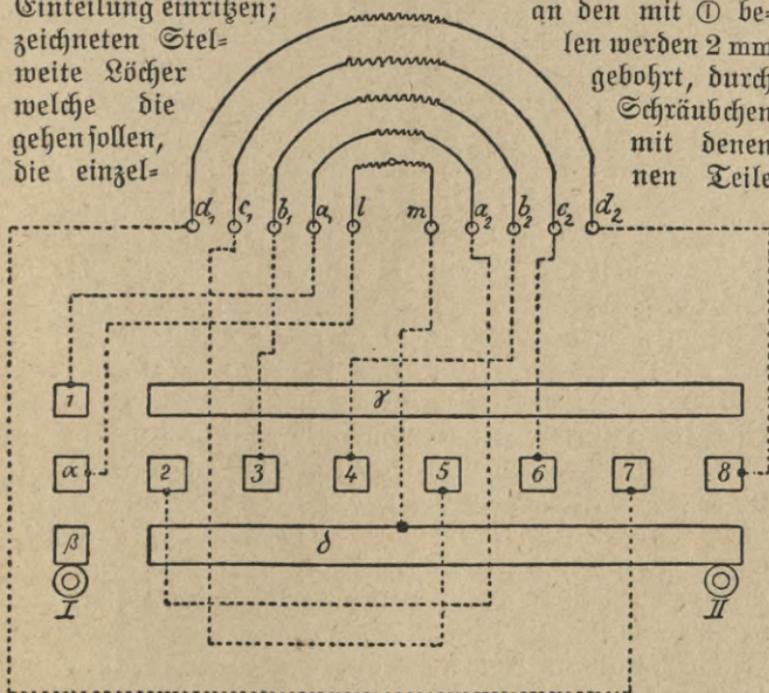


Abb. 244. Schema zum Stöpselkontakt.

auf ihre Unterlage befestigt werden. An den mit ● bezeichneten Stellen werden 3 bis 4 mm weite Löcher eingebohrt. Darauf wird dieses Blech auf seine Unterlage gelegt, und man bezeichnet genau die Stellen für die Schraubenlöcher. Dann werden die einzelnen Teile auseinandergefügt und mit so langen Schrauben auf ein Brettchen aufgeschraubt, daß sie durch das Brettchen hindurchgehen. Die zehn Drahtenden werden nun so, wie dies aus dem Schema (Abb. 244) hervorgeht, mit den einzelnen Teilen des Stöpselhalters verbunden, indem sie an die unteren Enden der Schrauben angelötet werden. Außerdem werden noch die beiden Klemmschrauben I und II mit den Stücken β und δ verlötet. Ferner drehen wir uns noch aus einem 4 bis 5 mm starken Kupferdraht zehn ein wenig konische Stöpsel, die gut in die Löcher passen; zur besseren Handhabung kann man sie oben zu einer Schlinge biegen.

Es wäre endlich noch der Zeiger und die Skala herzustellen. Der Zeiger, der an der Stirnseite des Stäbchens h mittels eines Schraubchens angebracht wird, muß aus dünnem Messingblech hergestellt werden und zweiteilig sein. An der unteren Hälfte wird aus dem gleichen Blech ein rundes, auf dem Zeiger verschiebbares Scheibchen angebracht; außerdem verfertigen wir noch zwei andere aus dickerem Blech, so daß wir drei verschieden schwere Scheibchen haben, die wir sowohl einzeln als auch alle drei zugleich auf die untere Zeigerhälfte schieben können.

Hinter dem Zeiger befestigen wir an dem Klötzchen f ein kreisrundes Brettchen, dessen Durchmesser etwas mehr als die ganze Zeigerlänge beträgt und auf dessen Vorderseite ein weißer Karton aufgeklebt ist. In die in die Plättchen g und g_2 gebohrten Löcher wird so viel Quecksilber gegossen, daß es sich etwas über die Fläche von g herauswölbt. Im Falle daß die in Abb. 241 oder 242 ange deutete Konstruktion verwendet wurde, werden die Vertiefungen in f_1 und f_2 , in die auch die Drähte l und m hineinragen, mit Quecksilber ausgefüllt.

Nun bringen wir noch auf der Unterseite des mit Stollen zu versehenen Grundbrettes drei verschiedene

Nebenschlußwiderstände an. Über deren genauere Bestimmung vergleiche Seite 108/109 und 97.

Zuletzt ist das Instrument zu eichen. Wir können mit Hilfe unseres Stöpselschalters die vier verschiedenen Wickelungen hinter- oder nebeneinander schalten, können auch einzelne ausschalten, ganz wie wir wollen. Soll das Instrument z. B. als Amperemeter für starke Ströme benutzt werden, so schieben wir auf den Zeiger alle drei Ballastplättchen, das schwerste zu unterst, und schalten alle Drahtwindungen nebeneinander, was durch folgende Verbindung geschieht. Es werden durch Stöpsel verbunden (siehe Schema Abb. 243 und 244): β mit α mit 1, dann γ mit 3, dann γ mit 5, dann γ mit 7, dann δ mit 2, dann δ mit 4, dann δ mit 6 und endlich δ mit 8. Wollen wir dagegen sehr schwache Ströme messen, so müssen wir alle Drahtwickelungen hintereinanderschalten; dies geschieht durch die Verbindung von β mit α mit 1, 2 mit 3, 4 mit 5, 6 mit 7, 8 mit δ .

Auf dem Skalenbrett haben wir sechs konzentrische Kreise aufgezeichnet und mit den Ziffern 1 bis 6 versehen. Für jede Skala gilt nur eine ganz bestimmte Schaltung und für Stromstärken in bestimmten Grenzen. So die Skala 1 als Voltskala für große Spannungen, Skala 2 als Ampere skala für große Stromstärken, Skala 3 als Voltskala für mittlere Spannungen, Skala 4 als Ampere skala für mittlere Stromstärken; Skala 5 als Voltskala für geringe Spannungen, Skala 6 als Ampere skala für geringe Stromstärken.

Wie schon erwähnt, gehört zu jeder Skala eine besondere Schaltung; es wird darum von Vorteil sein, auf dem Grundbrett des Apparates ein Schaltungsschema anzubringen, auf dem mit verschiedenen Farben die verschiedenen Schaltungen angedeutet sind; dabei darf die Angabe der verwendeten Ballastplättchen und ihrer Lage am Zeiger nicht vergessen werden. Wie solche Instrumente durch Vergleich mit anderen geeicht werden, ist schon auf Seite 97 und 108 eingehend besprochen worden.

Soll das Instrument auch für Wechselströme Verwendung finden, so muß dafür eine besondere Skala ge-

eicht werden, an der auch die Periode des Wechselstromes angeschrieben ist. (Vergleiche Seite 188.)

Schließlich können wir uns noch einen Schutzkasten mit einer Glaswand auf der Vorderseite herstellen, der so über das Ganze paßt, daß nur die Schaltvorrichtung freiliegt.

Herstellung eines Elektroskopes. □ □

Wollen wir uns ein empfindlicheres Elektroskop herstellen, als das auf Seite 9 beschriebene, so können wir folgendermaßen zu Werke gehen: Wir lassen uns einen Streifen

aus 1 bis 1,5 mm starkem Eisen- oder besser Messingblech schneiden, der 5 cm breit und 45 bis 50 cm lang ist. Den Streifen biegen wir über irgend einen zylindrischen Gegenstand von etwa 15 cm Durchmesser zu einem Reif zusammen, so daß die Ränder des Blechstreifens etwa 2 cm übereinandergreifen, in welcher Lage sie vernietet und verlötet werden. Wir lassen uns beim Glaser zwei Glascheiben schneiden, deren Durchmesser etwas größer ist als der des Blechreifens. An der Lötstelle wird der Blechreifen auf einen Fuß gesetzt, wie aus der Abb. 245 zu ersehen ist. Von oben wird ein Messingstab in das Gehäuse eingeführt, der unten zugeshärft ist. Die Goldblättchen (siehe auch

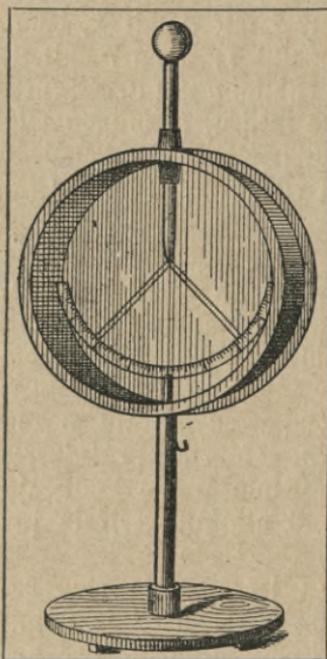


Abb. 245. Elektroskop.

Seite 9 und 10) werden diesmal nicht aufgeleimt, sondern in einen feinen Sägespalt eingeklemmt. Die Stange, die die Goldblättchen trägt, wird durch ein Hartgummirohr vom Gehäuse isoliert mit gutem roten Siegelack eingefittet. Der Drehpunkt der Goldblättchen soll etwas über der Mitte liegen. Eine Skala mit Gradeinteilung wird so angebracht, wie aus der Abbildung ersichtlich ist. Endlich werden die beiden

Glasplatten mit Siegellack beiderseits auf das Gehäuse aufgekittet. Ein kleines Häkchen am Fuß oder am Gehäuse dient zum Einhängen eines Drahtes oder einer Kette, die das Gehäuse mit der Erde in leitende Verbindung bringen soll.

Wie man mit selbst hergestellten Apparaten auf grössere Entfernungen drahtlos telegraphieren kann.

Im letzten Vortrage Seite 254 u. f. haben wir gesehen, wie man mit den dort beschriebenen Apparaten auf 20 bis 30 m noch sehr gut Telegramme übermitteln kann. Wir wollen nun noch darlegen, wie man es anzufangen hat, wenn man auf eine Entfernung von etwa 500 m sich mittels der Funkentelegraphie verständigen will.

Für jede einzelne Station brauchen wir einen Funkeninduktor (oder eine Influenzmaschine) mit Sender, Taster usw. und einen Fritter mit Relais, Glocke, Morseapparat usw., also die in Abb. 209 (Seite 254) schematisch wiedergegebene Zusammenstellung von Apparaten. Die beiden Fangdrähte sowohl des Senders wie die des Fritters bleiben weg. Dafür müssen wir einen möglichst langen, senkrecht hängenden Draht an den einen Pol des Senders bzw. Fritters anschließen, und den anderen Pol mit der Erde in leitende Verbindung bringen.

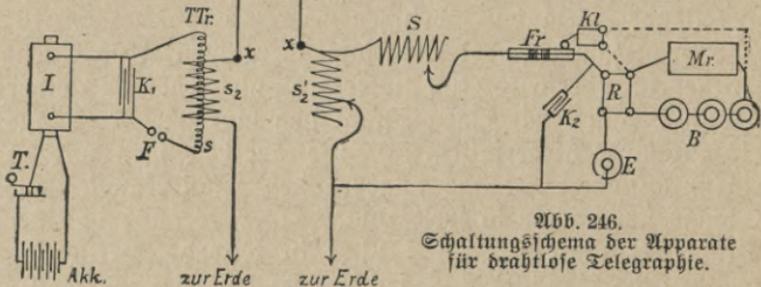
Wir verfahren dabei etwa folgendermaßen: Aus einem Fenster im obersten Stock unseres Hauses oder aus einer Dachluke lassen wir einen Draht von hinreichender Länge bis zur Erde niederfallen. Den Draht befestigen wir an einem an einer Stange angebrachten Isolierknopf. Die Stange stecken wir so weit zum Fenster heraus, daß der Draht, der mit der Erde nicht in leitende Berührung kommen darf, völlig frei hängt. Er soll sich womöglich gerade vor dem Fenster des Zimmers befinden, in dem wir die Apparate aufstellen wollen. Letzteres geschieht natürlich am besten in einem Zimmer des untersten Stockwerkes, oder in einem nicht zu tief liegenden Keller (Souterrain).

Die Apparate selbst können wir in beliebiger Anordnung aufstellen. Je einen Pol des Senders und des Fritters verbinden wir mit der Gas- oder besser mit der

Wasserleitung; es muß eben eine gute Erdverbindung hergestellt sein. Den anderen Pol des Fritters verbinden wir mit dem unteren Ende des Fangdrahtes, damit ankommende elektrische Wellen auch gleich in Glocken- oder Schriftzeichen umgesetzt werden können. Wollen wir selbst elektrische Wellen in die Ferne schicken, so müssen wir deshalb die Verbindung zwischen Fangdraht und Fritter lösen und den Fangdraht mit dem noch freien Pol des Senders verbinden. Im übrigen verändern sich die auf Seite 254 beschriebenen Verhältnisse nicht. Die Fangdrähte der beiden Stationen seien in Bezug auf Material, Dicke und Länge möglichst gleich.

Dieses System der Funkentelegraphie ist von Marconi zuerst angewendet worden. Je nach den Umständen — besonders bei separate — dürfte Professor Braun an- folge erzielen. Verfahren ent- Schaltung, son- prinzipien. Wir eigene Versuche

Verwendung etwas primitiver Ap- man jedoch mit dem von Pro- gegebenen Verfahren bessere Er- Das im folgenden angegebene spricht nicht genau der Braunschen dern beruht nur auf dessen Grund- führen es hier an, weil wir durch gefunden haben, daß es bei Ver-



wendung einfacher Apparate — besonders kleinerer Funkeninduktoren — den Anforderungen eines jungen Physikers am meisten entspricht.

Abb. 246 stellt schematisch die Schaltungsweise der Apparate dar, indem Geber- und Empfängerapparate getrennt gezeichnet sind. An jeder Station müssen natürlich beide Einrichtungen vorhanden sein; jedoch ist nur ein Fangdraht nötig. Durch einen einfachen Umschalter, den zu

konstruieren wir der Phantasie des Lesers überlassen, kann der Fangdraht λ bei x entweder an s_2 oder an s_2' angeschlossen werden.

Der Sender besteht aus dem Induktor J , dessen Primärstrom von dem Akkumulator Akk. geliefert wird und durch den Taster T unterbrochen werden kann. An den Induktor wird in der bereits beschriebenen Weise (Seite 258) ein Teslatransformator (Seite 259 u. f.) TTr angeschlossen: K_1 ist der Kondensator, s_1 die primäre Wicklung des

Transformators, s_2 dessen sekundäre Wicklung und F die Funkenstrecke (Abb. 210). Statt dieser Schaltung kann man auch bei Verwendung von zwei Leidener Flaschen die in Abb. 247 angegebene verwenden. Der eine Pol der sekundären Spule des Transformators wird mit dem Luftdraht λ , der andere Pol mit der Erde verbunden.

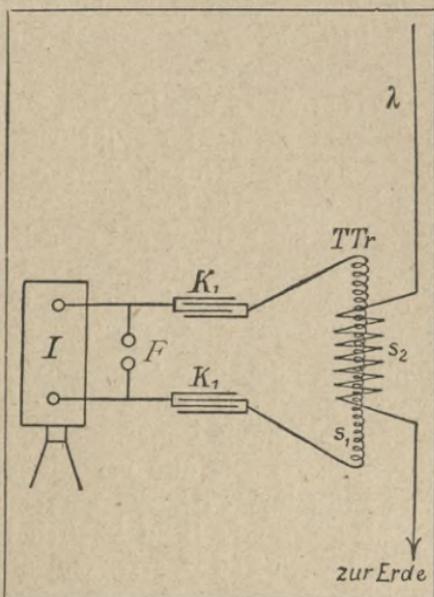


Abb. 247. Schaltung mit zwei Kondensatoren.

Für den Empfänger müssen wir uns zunächst zwei abstimmbare Spulen herstellen, s_2' und S . Zu diesem Zweck beschaffen wir uns zwei weite, zylindrische Einmachgläser; auf jedes Glas sollen 20 bis 30 m eines 1 bis 2 mm dicken nackten Kupferdrahtes so aufgewunden werden, daß die einzelnen Windungen einander nicht berühren. Die Gläser müssen also ziemlich groß sein; statt ihrer kann man auch mit Schellack überzogene Pappzylinder verwenden. Die Drahtspirale darf nur lose auf dem Zylinder aufsitzen und wird nur an den beiden Enden mittels Schellackfitt befestigt. Das eine Ende der Spule endet leer, das andere

in einer Klemmschraube. Bevor jedoch das leer auslaufende Drahtende angefittet wird, wickeln wir um den Draht der Spirale einen dünnen, nackten Kupferdraht in ein paar Windungen auf, und drehen die Enden zusammen; es entsteht dadurch eine Hülse oder Hse, die sich leicht auf der lose sitzenden Spirale verschieben läßt. Erst wenn diese Hülse aufgeschoben ist, wird das leere Drahtende der Spirale angefittet. Die zusammengedrehten Drahtenden der Hülse werden zu einem Ringchen gebogen.

Wir brauchen also für jede Station zwei solcher Spulen, die wir nebeneinander aufstellen. Die beiden mit Klemmen versehenen Drahtenden werden bei x an den Luftdraht λ angeschlossen. In das Ringchen des Schiebers der einen Spule s_2' wird ein Draht eingehängt, der mit der Wasserleitung verbunden wird. Den Schieber der zweiten Spule S verbinden wir mit der einen Elektrode des Fritters Fr , dessen andere Elektrode unter Zwischenschaltung eines Relais R und eines Elementes E mit dem zur Erde ableitenden Drahte verbunden wird. Parallel zu diesem Stromkreis ist ein Kondensator K_2 (kleine Leidener Flasche) eingeschaltet, wie aus der Figur deutlich zu erkennen ist. Wie der Klopfer Kl , der Morseapparat Mr , das Relais R und die Batterie B zu schalten sind, ist aus den Ausführungen Seite 256 zu erkennen, außerdem zeigt es Abb. 246 deutlich an.

Die günstigste Stellung der in der Abbildung mit Pfeilspitzen bezeichneten Schieber an den Spulen s_2' und S ist durch Probieren ausfindig zu machen. Für S kann man im allgemeinen sagen, daß die Länge des aufgewundenen Drahtes von x bis zur Berührungsstelle des Schiebers gleich der Länge des Luftdrahtes sein soll.

Wir können die Abstimmbareit unseres Systemes noch erhöhen, indem wir auch die Kondensatoren so einrichten, daß wir die Kapazität variieren können. Wir wissen, daß die Kapazität eines Kondensators von der Größe der wirksamen Fläche abhängt; wir müssen daher versuchen, diese Größe leicht ändern zu können: Wir befestigen auf einem Brett (a) eine größere Anzahl dünner Blechscheiben (b), die etwa 1 cm Abstand haben sollen. (In der Abb. 248 sind

der Deutlichkeit halber die Abstände größer gezeichnet.) An einer Messingstange *c* sind halbkreisförmige Blechscheiben mit dem gleichen Abstand angelötet. Die Achse *c* wird gut isoliert so gelagert (in der Abbildung sind die Lager nicht gezeichnet), daß die Scheiben *d* genau zwischen die Scheiben *b* hineingedreht werden können. Endlich werden alle Scheiben *b* untereinander leitend verbunden, sie bilden den einen, *d* den anderen Beleg des Kondensators. Es ist klar,

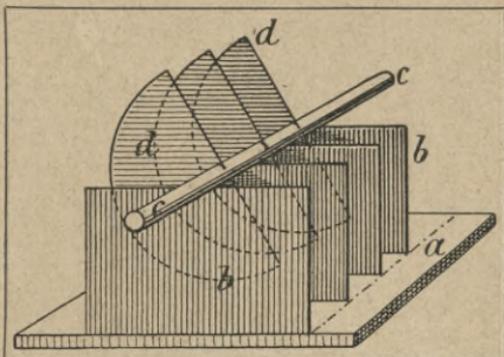


Abb. 248. Verstellbarer Kondensator.

daß wenn die Achse *c* so gedreht ist, daß die *d* ganz zwischen den *b* sind, die Kapazität am größten ist und daß sie immer kleiner wird, je weiter ich die Scheiben *d* nach oben drehe. Solche Kondensatoren werden einfach den anderen parallel zugeschaltet.

Anfertigung eines Gewichtsmotors. □ □

Zum Antrieb von Influenzelektrifiziermaschinen, magnetischen Maschinen, Dynamo's u. s. w. eignet sich sehr gut die im folgenden beschriebene Maschine.

Der ganze Apparat ist sehr einfach, nur dürfte seine Anbringung in einer Wohnung auf einige Schwierigkeiten stoßen. Wir müssen nämlich in der Decke eines nicht zu niedrigen Raumes einen Haken befestigen, der eine Tragkraft von einigen Zentnern hat; ferner müssen die Lagerträger einer Welle auf dem Boden angeschraubt werden. Wo dies nicht möglich ist, muß der ganze Apparat in ein hinreichend hohes Gestell aus starken Latten eingebaut werden.

Abb. 249 zeigt den Gewichtsmotor. Wir kaufen uns einen starken drei- bis fünfrolligen Flaschenzug *F*, den wir uns übrigens auch selbst herstellen können und den wir

an der Decke befestigen. Auf dem Boden, aber nicht unmittelbar unter dem Haken, sondern etwas seitlich davon werden die beiden Lagerträger L befestigt, in denen die

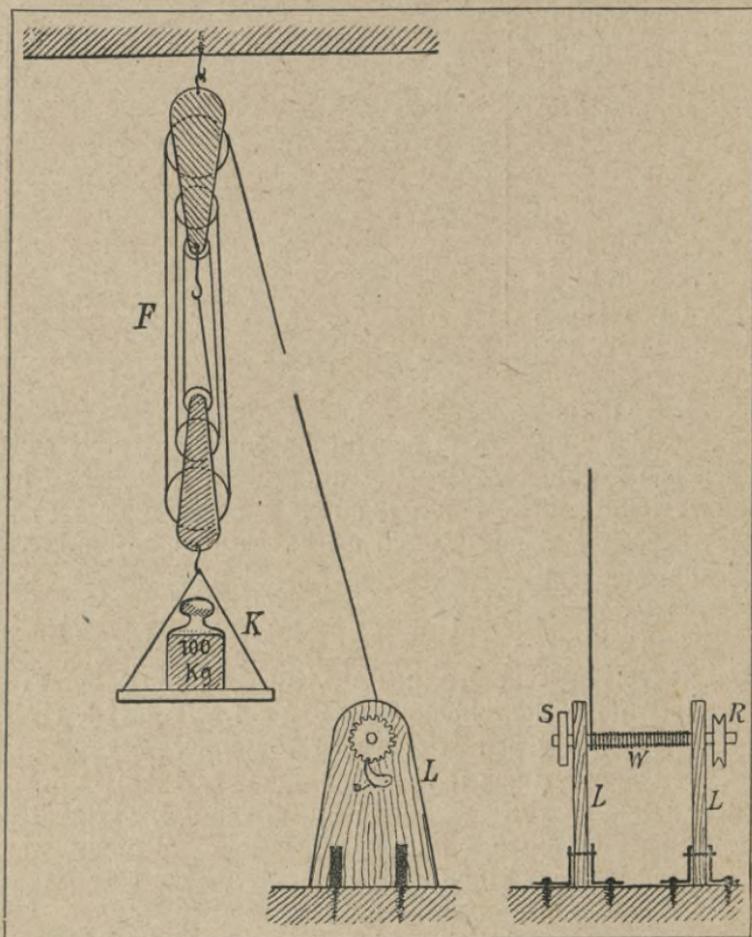


Abb. 249. Gewichtsmotor.

Lager — Herstellung siehe Seite 22 — ruhen. In letzteren läuft die Welle W, die man aus einem Gas- oder Wasserleitungsröhr herstellen kann. Am linken Ende der Welle ist ein Sperrrad S, am rechten eine Übersetzungsrolle R anzubringen. An den unteren Haken des Flaschenzuges

wird das Triebgewicht K angehängt. Außerdem ist in der Figur noch ein Sperrrad zu sehen, mit dem die Welle festgestellt werden kann; auch kann man noch eine Kurbel zum Aufwinden und bei einer größeren Anlage auch noch eine Bremsvorrichtung anbringen.

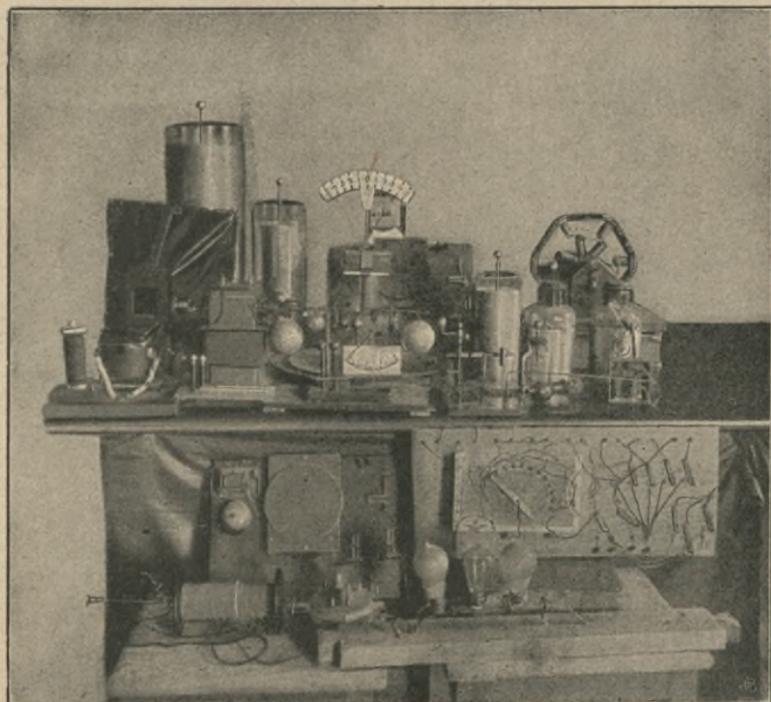


Abb. 250. Rudis selbstgefertigte Apparate.

Kann man von dem Fenster eines höher gelegenen Stockwerkes einen 2 bis 3 mm starken Draht nach unten frei ausspannen, so läßt man das Gewicht an diesem Draht außen an der Hauswand entlang laufen. Es erübrigt dann unter Umständen die Anwendung eines Flaschenzuges. Vor allem muß aber mit einem eventuellen Reißen des Seiles gerechnet und daher die nötigen Vorsichtsmaßregeln, zu denen auch der Laufdraht gehört, getroffen werden.

Über die Handhabung dieses Apparates wird sich der junge Leser wohl ohne weiteres im klaren sein.

Bohren von Glas. □ □

Verfügt man über eine Bohrmaschine, so ist es nicht schwer, Löcher in Glasscheiben zu bohren. Dabei geht man folgendermaßen zu Werk: Der Bohrer besteht aus einem Stück Kupferrohr, dessen äußerer Durchmesser dem der Bohrung gleich ist. Die Wandung des Bohrrohres soll je nach Lochdurchmesser 0,5 bis 1 mm betragen. Das Rohr wird wie ein Bohrer in die Maschine gespannt und muß genau zentrisch laufen. Die Glasplatte wird auf eine ebene mit einigen Lagen Fließpapier bedeckte Holzunterlage gelegt und unter den Bohrer gebracht. Auf die zu bohrende Stelle gibt man Wasser und mittelgrobes Schmirgelpulver (Nr. 1 bis 2) und drückt den in rasche Rotation gesetzten Bohrer leicht auf die Glasplatte nieder, hebt ihn kurz ab, drückt ihn wieder nieder u. s. w. Es darf dabei die Glasplatte sich nicht verschieben. Die Bohrstelle muß stets gut naß sein und von Zeit zu Zeit ist frischer Schmirgel zuzugeben. In etwa einer halben Stunde kann man auf diese Art eine 1,5 mm dicke Glasplatte bohren.

Betrachtungsspiegel für Vorträge. □ □

Bei Experimentalvorträgen kommt es häufig vor, daß man Gegenstände demonstrieren will, die flach auf dem Tisch liegend von oben betrachtet werden müssen; in solchen Fällen besteht dann immer die Schwierigkeit, die Vorgänge an solchen Objekten den Zuschauern deutlich sichtbar zu machen, ohne daß diese an den Experimentiertisch herantreten müssen, was stets mit einer erheblichen Störung des Vortrages und mit Verlust an Zeit verbunden ist. Es gibt ein einfaches Mittel, diesem Übelstande abzuweichen: Man stellt unter zirka 45° nach vorne geneigt einen Spiegel von genügender Größe hinter das sichtbar zu machende Objekt. Je breiter die Reihe der Zuhörer ist, desto breiter muß auch der Spiegel sein, soll das Objekt auch von der Seite noch zu sehen sein. Es ist ratsam sich vor dem Vortrag durch eigene Anschauung zu überzeugen, in welchen Stellungen der Spiegel seinen Zweck am besten erfüllt. Natürlich darf man auch nicht vergessen, für eine geeignete Beleuchtung des Objektes zu sorgen.



Drahtmasse.

Tabelle I. Nickelindrähte.

Durchmesser mm	Widerstand für jedes Meter Ohm	Maximale Be- lastung Ampere
0,5	2,0	2
0,6	1,41	3
0,8	0,79	6
1,0	0,51	10
1,5	0,23	23
2,0	0,13	38
2,5	0,08	45
3,0	0,06	50

Tabelle II. Kupferdrähte.

Durchmesser mm	Querschnitt qmm	Widerstand für jedes Meter Ohm	Länge für jedes Ohm m	Länge für jedes Kilogramm m
0,1	0,0079	2,21	0,45	14 300
0,2	0,0314	0,55	1,8	3 576
0,3	0,0707	0,24	4,0	1 590
0,4	0,126	0,13	7,2	894
0,5	0,196	0,08	11,28	570
0,6	0,283	0,06	16,25	397
0,7	0,385	0,04	22,12	292
0,8	0,50	0,03	28,90	223
0,9	0,64	0,027	36,57	176
1,0	0,79	0,022	45,14	143
1,1	0,95	0,018	54,62	118
1,2	1,13	0,015	65,00	100
1,3	1,32	0,013	76,29	85
1,4	1,54	0,011	88,48	73
1,5	1,76	0,009	101,6	63
1,6	2,01	0,008	115,6	53
1,7	2,27	0,007	130,5	50
1,8	2,54	0,006	146,2	44
1,9	2,83	0,006	163,0	39
2,0	3,14	0,0055	180,5	36
2,2	3,80	0,0045	218,5	29
2,3	4,15	0,0041	238,8	27
2,5	4,90	0,0035	282,1	23
2,6	5,30	0,0032	305,2	21
2,8	6,15	0,0028	353,9	18
3,0	7,07	0,0024	406,3	16



Alphabetisches Sachregister.

Die Ziffern bezeichnen die Seitenzahlen.

- Abstoßung und Anziehung, elek-
 trische 37, 38, 40, 41.
 – magnetische 102–105.
 Achsenansätze 22–25.
 Achsenbefestigung an Glascheiben
 10–12.
 Achsenträger 13, 25–27.
 Akkumulatoren 72–81, 291–294.
 Akkumulatorenbehälter aus Glas
 78–80.
 – aus Zelluloid 291, 292.
 Akkumulatorenbehandlung 80, 81.
 Amalgamieren 15.
 Ampere 84–88.
 Amperemeter 96–99.
 – Schaltung 108–109.
 Ampere'sche Schwimmerregel 105.
 Anker, Hufeisenanker 139.
 – Kurzschlussanker 199.
 – Ringanker 126–129.
 – T-Anker 126, 139.
 Anode und Kathode 217.
 Anziehung und Abstoßung,
 – elektrische 37, 38, 40, 41.
 – magnetische 102–105.
 Astatisches Nadelpaar 93–94.
 Ägen von Glas mit Flußsäure 12.
 Aufleben von Stanniolbelägen 8,
 9, 33, 34.
 Ausgleich, elektrischer 49, 50.
 Ausgleichser 33.
 Bahnen, elektrische 152.
 Barumplatinchanur 221.
 Batterie, galvanische 88, 89.
 Behandlung der Akkumulatoren
 80, 81.
 Belag für Influenzmaschinen 33,
 34.
 Belag für Leidener Flaschen 8, 9.
 Beleuchtungsmechanismus mit
 Zimmerverdunkelung 227.
 Betrachtungsspiegel für Vorträge
 314.
 Bijulare Wicklung 253–254.
 Bleilöten 77.
 Bleiplatten für Akkumulatoren 73,
 74.
 Blitz 51, 52.
 Bogenlampe 153.
 Brechung und Reflexion der elek-
 trischen Wellen 249–251.
 Bunjeneselement 67.
 – verbessertes 67–69.
 Chromsäureelement 70, 71.
 Crookes'sche Röhre 219–221.
 Dämpfung 161.
 Daniellselement 67.
 Dielektrizitätskonstante 45.
 Drahtlose Telegraphie 239,
 251–257, 307–311.
 Drahtmaße 134–137.
 – Tabellen 182, 183, 315.
 Drahtspulen 91, 276, 295.
 Drehspiegel 233, 234.
 Drehstrom 191, 196.
 Dreieckschaltung 195.
 Dreiphasenstrom 193–196.
 – Demonstrationsapparat 196.
 Dynamomaschine 148–152.
 Dynamometer 207, 208.
 Eichen 98.
 Elektrische Bahn 152.
 Elektrische Klingel 113–115.
 Elektrische Lokomotive 152.
 Elektrische Oszillationen 232–236.
 Elektrisches Flugrad 17, 18, 44.
 Elektrisches Pendel 3, 39, 40.
 Elektrische Verteilung 41–43.

- Elektrischer Zigarrenanzünder 155, 156.
 Elektrifiziermaschinen,
 - Induktionselektrifiziermaschine 166-168.
 - Influenzelektrifiziermaschine 19-35, 48, 49.
 - Reibungselektrifiziermaschine 10-18, 48.
 Elektrizitäten, positive und negative 38, 39.
 Elektroden 217, 218.
 Elektrodenstangen 32.
 Elektrodynamometer 207, 208.
 Elektroinduktion 138.
 Elektrolytischer Unterbrecher 185, 186, 232.
 Elektromagnet 103-105, 114, 276.
 Elektromotore 121-137.
 - mit zweipoligem Hufeisenanker 122.
 - mit vierpoligem Hufeisenanker 124.
 - mit sechspoligem Sternanker 125-126.
 Elektromotorische Kraft 57, 58, 84-89.
 Elektrophor 4, 5, 43.
 Elektroskop 9, 10, 43, 306, 307.
 Elemente 58-84.
 - Bunsenelement 67.
 - Chromsäureelement 70, 71.
 - Daniellselement 67.
 - Kupferoxydelement 82.
 - Kupronelement 82.
 - Trockenelement 65-67.
 Elementschaltung 88-89.
 Empfänger 253-254.
 Entdeckung des galvanischen Stromes 55-56.
 Entladung, oßillierende 232-236.
 Erwärmung durch den elektrischen Strom 18-19, 51, 188.
 - durch Kathodenstrahlen 219-221.
 Federunterbrecher 166-168, 181, 183-186.
 Flugrad, elektrisches 17, 18, 44.
 Fluoreszenz 219, 221, 223, 225.
 Fluoreszenzschirm 223, 225, 228, 229.
 Franklinsche Tafel 8, 45.
 Fritter 236-239, 248, 249.
 Froschschenkel 55, 56.
 Funkeninduktoren 168-181.
 - Tabellen 182, 183.
 - Isoliermaße 183.
 Funkenmikrometer 263.
 Funken Telegraphie 239, 251-257, 307-311.
 Galvanisches Element 56, 58-84.
 Galvanischer Strom 56.
 Galvanoskop 90-96.
 - einfaches Galvanoskop 90.
 - Vertikalgalvanoskop 91, 92.
 - Multiplikator 92-95.
 Geißler-Röhre 215-219.
 Gesetze des galv. Stromes 84-89.
 Gewichtmotor 311-313.
 Gipszylinder 60-63.
 Glas für elektrische Zwecke 2, 3, 8, 9.
 Glasäßen 12.
 Glasbehälter für Akkumulatoren 78-80.
 Glasbohrer 314.
 Glasglocke 214.
 Glasfritten 79, 80.
 Glascheiben für Reibungselektrifiziermaschinen 10.
 - Influenzmaschinen 19, 20.
 Glascheibenbefestigung 11, 12, 29, 30.
 Glas Sprengen 214-215.
 Glümlicht 217, 218.
 Glühlampenwiderstand 290.
 Graphit rheostat 286-289.
 Gummititt 293, 294.
 Härten von Stahlstäben 140, 141.
 Hammer, Rees'scher 113, 114, 167.
 Hartgummi für elektr. Zwecke 2, 3.
 Hauptstrommaschine 149, 150.
 Herz'sche Wellen 235, 236.
 Hittorf'sche Röhre 218, 219.
 Hydrazininstrument 204-206.
 Holundermark 2, 3.
 Hufeisenanker 122-124, 139.
 Hufeisenmagnet 140-145.

Impedanz 189, 190, 266.
 Induktion, elektrische 138.
 - magnetische 137, 138.
 Induktionsanker 199.
 Induktionsapparate 163-183.
 Induktionsströme 137, 138, 158.
 Induktoren 168-180.
 - Tabellen 182, 183.
 Influenzelektrifiziermaschine 19-35,
 48, 49.
 - als Motor 54.
 - mit Trockenapparat 210.
 - und Röntgenröhre 222, 223.
 Interferenz 244-247.
 Interferenzröhre 245-247.
 Isolatoren 37, 38.
 Isolierfähigkeitsprüfung 6.
 Isoliermethoden für Funkeninduk-
 toren 171-173, 176-179.
 Isoliermasse 178-179.

 Kapazität 45, 310-311.
 Kathode — Anode 217.
 Kathodenstrahlen 219-221.
 Kitt, Gummit 293, 294.
 - Kolophonium-Weinölfitt 66, 80.
 - Schellackfitt 5, 6.
 - wasserdichter 80.
 Klingel, elektrische 113-115.
 Kohärer 236, 237, 248, 249.
 Kohleelektroden 64, 65, 68.
 Kofanfäden 95.
 Kollektoren 122, 123, 128-130, 143,
 144.
 Kolophonium-Weinölfitt 66, 80.
 Kommutator 101, 102, 123, 124,
 143, 180, 181.
 Kondensatoren 8, 44, 45, 310, 311.
 Konduktor 6, 7.
 Kontakknopf 114, 115.
 - Stößelkontakt 303-305.
 Kraft, elektromotorische 57, 58,
 84-89.
 Kraftlinien 102-105, 145, 146.
 Kugeln 7, 8.
 Kupferoxydelement 82.
 Kupronelement 82.
 Kurzschluß 153, 154.
 Kurzschlußanker 199.

Lager für Achsen 13, 14, 22, 23.
 Lagerträger 14, 25-27.
 Lampenwiderstand 290.
 Leclanché-Element 58-63.
 Leidener Flasche 8, 9, 44-46.
 - für Resonanzversuche 241.
 Leinöl-Kolophoniumfitt 66, 80.
 Leiter und Nichtleiter 37, 38.
 Lokomotive, elektrische 152.
 Longitudinalwellen 270-273.
 Löten von Blei 77.
 Luftpumpe 211-219.
 Luftthermometer 18, 19, 51.
 - für Peltiereffekt 82.

Magnet und galvanischer Strom
 103-105.
 Magnetelektrische Maschine
 138-148.
 Magnetinduktion 137, 138, 146.
 Magnetisches Drehfeld 192-194.
 Magnetische Kraftlinien 102, 103.
 Magnetisieren von Stahlstäben
 140-143.
 Magnetpolbestimmung 124-125.
 Maßflasche nach Lane 18, 46-48.
 Maxwell'sche Regel 145, 146.
 Mehrphasenströme 190-196.
 Meßbrücke 99, 100.
 Messing, seine Verwendung 3, 4.
 Messingkugeln 7.
 Meßinstrumente 96-99, 105-111.
 - Schaltung 108-109.
 - Wirkungsweise 105, 106.
 Metallkugeln 7, 8.
 Mikrophon 202-204, 274, 275.
 Morsetelegraph 115-121.
 Morjeschreiber 115-116.
 Morjeschrift 120.
 Morjefaster 118.
 Motor, elektrischer 121-137.
 - mit Influenzmaschine 54.
 Multiplikator 92-96.

Nadelpaar, astatisches 93-94.
 Nebenschlußmaschine 150.
 Neffscher Hammer 113, 114, 167.
 Nichtleiter 37, 38.

- Oberflächenverteilung 43, 44.
 Öffnungsjunken 159.
 Ohm 84-89, 109-111.
 Ohmsches Gesetz 87-89.
 Ozillation, elektrische 232-236.
- P**eltiereffekt 82.
 Pendel, elektrisches 3, 39, 40.
 Pendel zum Resonanzversuch 243, 244.
 Pfasendifferenz 193, 194.
 Photographieren mit Röntgenstrahlen 223-225.
 Polbestimmung für Elektromagnete 124-125.
 Polschuhe 130, 131.
 Präzisionsinstrument 294-306.
- Q**uedsilberunterbrecher 183-185.
- R**adiator 252.
 Rahmen für Drahtspulen 91, 276, 295.
 Reflexion und Brechung 249-251.
 Reibungselektrifiziermaschine 10-17, 48.
 Reibungselektrizität 36.
 Reibzeug 14, 15.
 Relais 121.
 Resonanz 239-244.
 Resonanzpendel 243, 244.
 Rezipient 215.
 Rheostate 286-291.
 Ringanker 126-129.
 Ringmagnet 127.
 Röntgenphotographien 223-225.
 Röntgenröhren 222.
 Röntgenstrahlen 221-229.
 - Verwendung in der Medizin 228, 229.
- S**challbecher 280.
 Scheibenbelag 33, 34.
 Schellackfitt 5, 6.
 Schellacküberzug 20, 21.
 Schleifen von Glas 212.
 Schließungsfunke 159.
 Schmiedeeiße 139, 140.
- Schutzhüllen für Instrumente 95, 96.
 Schwimmerregel, Ampere'sche 105.
 Seide 3, 95.
 Selbstinduktion 158-159.
 Sender 251-253.
 Sicherungen 154, 155.
 Spannungsgefälle 106-108, 110.
 Spitzenkamm 16, 17, 30-32.
 Spitzenkammträger 28, 29, 31, 32.
 Spitzenwirkung 43, 44.
 Spulenrahmen 91, 276, 295.
 Spulmaschine 165, 174.
 Stahlmagnete 140-144.
 Stanzmaschine 73.
 Sternschaltung 195.
 Stößelkontakt 303-305.
 Strom, elektrischer 49, 50, 51.
 Stromwender 101, 102, 123, 124, 143, 180, 181.
- T**abelle für Induktoren 182, 183.
 - für Drahtmaße 314.
 T-Anker 139.
 Taschenakkumulator 291-294.
 Telegraph, Morsetelegraph 115-121.
 - Funken-telegraph 239, 251-257.
 Telephon 200-202, 203-204, 274-285.
 Telephonanlage 202-204.
 Thermoelement 82.
 Teslastransformatoren 257-263.
 Teslaversuche 265-270.
 Transformatoren 196-200.
 - nach Tesla 257-263.
 Transversalwellen 270-273.
 Triebräder für Influenzmaschinen 28, 29.
 Trockenapparat für Influenzmaschinen 210.
 Trockenelement 65, 66.
- U**niversal-Volt-Ampereometer 294-306.
 Unterbrecher 166, 167, 183-186.
 - elektrolytischer 185, 186, 232.
 - Quedsilberunterbrecher 183 bis 185.

- Vakuumpumpe 211–217.
 Verqußmasse für Akkumulatoren
 77, 293, 294.
 Vertikalgalvanoskop 91, 92.
 Volt 84–89.
 Volt-Amperemeter 294–306.
 Voltajches Element 56.
 Voltmeter 96–99.
 VoltmeterSchaltung 108, 109.

 Watt 84–89.
 Wechselströme 186–189.
 – hoher Frequenz 235.
 Wehnelunterbrecher 185, 232.
 Wellen, elektrische 236, 270–272.
 Wellenlänge 249.
 Wellentheorie 235.

 Wheatstonesche Brücke 109, 110,
 189.
 Widerstände 286–291.
 Widerstandsbestimmung 109–111.
 – für Gleichstrom 109.
 – für Wechselstrom 111.
 Wimshurstmaschine 19–35, 48, 49.
 Wind, elektrischer 17, 18, 44.
 Wirbelströme 159, 161.

 X-Strahlen 221–229.

 Zelluloidbehälter 291, 292.
 Zigarrenanzünder, elektrischer 155,
 156.
 Zylinder 65.
 Zweiphasenstrom 191, 192.
 Zweivegebahn 213.

Verzeichnis der Abbildungen.

Fig.		Seite
1	Gestell zum elektrischen Pendel	3
2	Form zum Elektrophor	4
3	Konduktor	7
4	Messingkugeln	7
5	Elektroskop	9
6	Angelötete Scheibe	11
7	Die Stützen des Rohrs	11
8	Winkelscheit	12
9	Reibungselektroskopmaschine	13
10	Lagerträger	14
11	Gestell des Reibzeugs	14
12, 13	Reibfläche	15
14	Luftthermometer	18
15	Rudi bei der Anfertigung einer Influenzelektroskopmaschine	20
16	Anfertigung der Achsenrohre	22
17	Achsenrohr	23
18	Aufgelötete Messingscheibe	23
19	Aufkitten auf die Glasscheibe	24
20	Anlegen des Winkelmaßes	24
21	Vorrichtung zur Erzielung der senkrechten Achsenstellung	24
22	Maschinengestell	25
23	Achsenträger	26
24	Außenseite eines Achsenträgers	26
25	Achse im Träger	27
26	Schematischer Aufriß der Maschine	27
27	Antrieb der Scheiben	29
28	Achsenlager der Scheiben	30

Fig.		Seite
29	Stellung der Spizenkämme	30
30	Durchschnitt des Spizenkammträgers	31
31	Spizenkammträger	31
32	Stanniolbeläge an den Außenseiten der Scheiben	33
33	Auflegen der Treibschnüre	34
34	Vorgang der Anziehung und Abstoßung	40
35	Darstellung der Verteilung der Elektrizitäten	41
36	Messen der Kapazität	47
37	Darstellung des Ausgleiches der Elektrizitäten	50
38	Darstellung des galvanischen Stromes	56
39	Veclanche-Elemente	59
40	Holzstab für Anfertigung von Gipszylindern	60
41	Gummiring	61
42	Der Holzstab nach Befestigung der Gummiringe	61
43	Aufrollen des Papierstreifens	62
44	Die fertige Form zur Herstellung von Gipszylindern	62
45	Kohlenelektrode	64
46	Trodenelement	64
47	Zinkzylinder	65
48	Das verbesserte Bunsenelement	67
49	Kohlenplatte mit eingebrannter Holzschraube	68
50	Kohlenplatte mit Klemmschrauben	68
51	Breitgeschlagener Kupfer- oder Messingdraht	69
52	Holzgestell für Chromsäurebatterie	70
53	Chromsäure-Flaschenelement	71
54	Einteilung des Werkbleistreifens in Platten	72
55	Eine Doppelplatte	73
56	Maschine zum Ausstanzen der Löcher	73
57	Eine zusammengebogene Doppelplatte	74
58	Das Vernieten der Platten	76
59	Fertige Akkumulatorzelle	78
60	Der Boden des Holzgestelles	78
61	Das Holzgestell	79
62	Ausgießen der Ranten des Gefäßes	80
63	Luftthermometer zum Nachweis des Peltiereffektes	82
64	Darstellung fünf verschiedener Schaltungsarten	89
65	Galvanostop	90
66	Vertikalgalvanostop	91
67	Netz für das Vertikalgalvanostop	91
68	Rahmen	91
69	Stabmagnet	92
70	Multiplikator im Vertikalschnitt	93
71	Astatisches Nadelpaar	94
72	Messingröhrchen für den Multiplikator	95
73	Schema eines Voltmeters	96
74	Hebel	97
75	Andere Konstruktion eines Galvanometers	98
76	Rahmen des Galvanometers	98

Fig.	Seite
77 Das Plättchen mit Zeiger	99
78 Anbringen der Arme zur Aufnahme der Spitzen des Eisenstäbchens	99
79 Die Wheatstonesche Brücke	100
80 Querschnitt der Wheatstoneschen Brücke	100
81 Der Kommutator	101
82 Seitenansicht des Kommutators	101
83 Verlauf der Kraftlinien in einer vom elektrischen Strome durchflossenen Drahtspirale	103
84 Schematische Darstellung eines Stromkreislaufes	107
85 Schema des Spannungsgefälles	108
86 Schaltungsschema für Volt- und Amperemeter	108
87 Wheatstonesche Brücke	109
88 Spannungsgefälle in zwei verschiedenen Widerständen	110
89 Wheatstonesche Brücke	110
90 Rudi hält seinen dritten Vortrag	112
91 Die elektrische Klingel	113
92 Elektromagneten mit Spulen (Schnitt)	114
93 Schnitt durch den Kontaktknopf	114
94 Feder für den Kontaktknopf	115
95 Schaltungsschema einer Klingelanlage	115
96 Der Morfesreiber (Seitenansicht)	115
97 Der Morfesreiber (Aufsicht)	116
98 Rollen zur Bewegung des Papierstreifens (Schnitt)	116
99 Rollen zur Bewegung des Papierstreifens (Seitenansicht)	117
100 Morsetaster	118
101 Schaltungsschema der Morseapparate	119
102 Relais im Grundriß	121
103 Elektromotor im Grundriß	122
104 Wirkungsschema des Elektromotors	123
105 Vierpoliger Hufeisenanker	124
106 Verlauf des Stromes beim vierpoligen Anker	124
107 Sechspoliger Elektromotor	125
108 Entstehung der Pole im Grammeschen Ring	127
109 Form für den Grammeschen Ring	127
110 Der mit 12 Spulen bewickelte Grammesche Ring	128
111 Holzern für den Grammeschen Ring (Schnitt)	128
112 Schnitt durch Holzern und Ring	128
113 Ringanker mit Kollektor	129
114 Fertiger Motor (links Ansicht, rechts Schnitt)	129
115 Motor von oben gesehen (rechts Schnitt)	131
116 Gestalt eines Polschuhs	131
117 Bewicklungsschema	133
118 Ankerformen für magnetelektrische Maschinen	139
119 Die improvisierte Schmiedeesse (Schnitt)	139
120 Der aus einzelnen Stäben zusammengesetzte Magnetstod	143
121 Gleich- und Wechselstromabnehmer auf einer Achse	143
122 Verschiedene Formen für Feldmagnete	144

Fig.		Seite
123	Schnitt durch die magnetelektrische Maschine mit Hufeisenanker	145
124	Drahtringe, die sich in einem magnetischen Feld bewegen	146
125	Schema einer Hauptstrommaschine	149
126	Schema einer Nebenschlußmaschine	150
127	Schema einer Maschine mit Fremderregung	150
128	Einschaltung eines Hilfsstromes in den Stromkreis der Dynamo	151
129	Einfache Bogenlampe	153
130	Drahtschnecke für den Zigarrenanzünder	155
131	Der Zigarrenanzünder	156
132	Rudi mit den Vorversuchen für seinen Vortrag: „Wechselströme höherer Frequenz“ beschäftigt	157
133	Apparat zur Demonstration der Wirbelströme (von oben gesehen)	160
134	Derselbe von der Seite gesehen	160
135	Schema einer elektrischen Klingel	162
136	Spulmaschine	165
137	Schnitt durch einen einfachen Induktionsapparat	166
138	Einfacher Induktionsapparat von oben gesehen	167
139	Induktor mit verschiebbarer sekundärer Rolle	168
140	Schaltungsschema des Kondensators	169
141	Lage der Stanniolblätter mit ihren Ansätzen	170
142	Der fertige Kondensator	170
143	Schnitt durch die Rolle eines Funkeninduktors	172
144	Befestigung der Induktorrolle	173
145	Spulmaschine für den Funkeninduktor	174
146, 147	Verbindung der einzelnen Spulen	176
148	Verbindung zweier Spulen	177
149	Kartonkamm zum Einrichten der Spulen	177
150	Schematischer Schnitt durch einen großen Funkeninduktor	179
151	Kommutator (Horizontalschnitt)	180
152	Kommutator (Vertikalschnitt)	180
153	Befestigung der Achse des Kommutators	181
154	Einfacher Unterbrecher	183
155	Quecksilberunterbrecher	184
156	Träger des Hebels zum Quecksilberunterbrecher	184
157	Kurve eines einfachen Wechselstromes	187
158	Kurve eines Induktorstromes	187
159	Wheatstonesche Brücke	189
160	Schema zum Versuch mit dem zweiphasigen Wechselstrom	191
161	Eisenring mit Magnetnadel	191
162	Magnetisches Drehfeld	192
163	Kurve der aus zwei Wechselströmen mit verschiedener Phase entstehenden Resultante	194
164	Dreiphasiger Wechselstrom	194
165	Die drei Spulenpaare in Sternform geschaltet	195
166	Die drei Spulenpaare im Dreieck geschaltet	195

Fig.		Seite
167	Apparat zur Veranschaulichung eines Drehstromes . . .	196
168	Kurzschlußanker . . .	199
169	Schaltungsschema eines Transformators . . .	199
170	Schema des ersten Telephons . . .	200
171	Schema des Mikrophones . . .	202
172	Schema einer Telephonanlage . . .	203
173	Das Hydrazininstrument . . .	205
174	Lager für den Zeiger des Hydrazininstrumentes (Vertikal- schnitt) . . .	205
175	Daselbe (Horizontalschnitt) . . .	205
176	Zeiger für das Hydrazininstrument . . .	206
177	Das Elektrodynamometer . . .	207
178	Trockenapparat für die Influenzmaschine . . .	210
179	Schnitt durch die Vakuumpumpe . . .	211
180	Der in einen Zweivegehahn veränderte Gasahn . . .	213
181	Der Rezipient als Entladungsröhre . . .	215
182	Verbindung der Geißler-Röhre mit dem Rezipienten zum Auspumpen . . .	216
183	Einfache Röhre auf dem Rezipienten . . .	217
184	Geißlerische Röhren, ungefüllt . . .	217
185	Geißlerische Röhren. Zu füllen mit fluorezierenden Flüssig- keiten . . .	218
186	Gittorf'sche (Crookes'sche) Röhre . . .	218
187	Crookes'sche Röhre . . .	219
188	Röntgenröhren . . .	222
189	Influenzmaschine und Röntgenröhre . . .	223
190	Hand, von Röntgenstrahlen durchleuchtet . . .	224
191	Schnitt durch den Lichtschußschirm . . .	228
192	U-Röhre zur Veranschaulichung elektrischer Oszillation . . .	232
193	Der Drehspiegel . . .	233
194	Schema des Herzschen Wellenversuches . . .	236
195	Der Fritter (Schema) . . .	236
196	Der Fritter . . .	237
197	Zum Fritter . . .	237
198,	199 Leidener Flaschen für Resonanzversuche . . .	241
200	Resonanzpendel . . .	243
201	Interferenz zweier Wellenzüge . . .	245
202	Interferenzrohr . . .	245
203	Blechkasten für den Funkeninduktor . . .	246
204	Interferenzrohr . . .	247
205	Fritter mit Glocke und Schüttelvorrichtung . . .	248
206	Schema zum Reflexionsversuch . . .	250
207	Der Sender . . .	252
208	Bifilare Wicklung . . .	253
209	Anordnung der Apparate zur drahtlosen Telegraphie . . .	254
210	Schaltungsschema des Teslatransformators . . .	258
211	Teslatransformator (Schnitt) . . .	259
212	Teslatransformator (Seitenansicht) . . .	259

Fig.		Seite
213	Funkenmikrometer, Querschnitt und von der Seite gesehen	263
214	Teslascher Transformator	264
215	Zu Versuchen über Induktionsercheinungen	266
216	Versuche am Teslaschen Transformator	267
217	Lichterscheinungen zwischen zwei mit dem Teslatransformator verbundenen Drahtkreisen	268
218	Zum ersten Teslaschen Glühlampenversuch	268
219	Zum zweiten Teslaschen Lampenversuch	269
220	Rudi an seinem Experimentiertisch	273
221	Kohlen zum Mikrophon	275
222	Mikrophon	275
223	Eisenmagnet für das Telephon	276
224	Zylinderende des Magneten	276
225	Spule	276
226	Die einzelnen Teile zum Telephon	279
227	Schnitt durch den Schallbecher	280
228	Schaltungsschema der Telephonanlage	282
229	Wirkungsschema der Telephonanlage	285
230	Graphitstäbe des Rheostaten mit ihren Drahtansätzen	286
231	Der fertige Graphitrheostat	287
232	Befestigung des Kontakthebels	288
233	Widerstand für feine Regulierung	289
234	Nickelrheostat	290
235	Glühlampendrheostat	290
236	Brett zum Wickeln der Spule	295
237	Befestigung der Spulen auf dem Grundbrett	297
238	Fassungstück (Schnitt)	298
239	Fassungstück (Außenansicht)	298
240	Fertiger Anker (Ansicht)	300
241	Einfachere Lagerung	301
242	Lagerung mit einem Blechstreifen	302
243	Die Platte des Stößelkontaktes	303
244	Schema zum Stößelkontakt	303
245	Elektroskop	306
246	Schaltungsschema der Apparate für drahtlose Telegraphie	308
247	Schaltung mit zwei Kondensatoren	309
248	Verstellbarer Kondensator	311
249	Gewichtmotor	312
250	Rudis selbstgefertigte Apparate	313



Saran's Experimentierkästen



Abt. I. Kondensatormaschinen, Influenzmaschinen, Funkeninduktoren, Vakuumröhren, Röntgen-Apparate, Apparate für drahtlose Telegraphie, Detektoren, Tesla-, Radiumapparate, Motore, Dynamos, Nebenapparate, Widerstände, Schalttafeln, Sarans Experimentierkästen, chemische, galvanoplastische Apparate und Messfilien. Spezialliste 57 ch M. — 20

Abt. II. Eisenbahnen, Dampf-, Uhrwerk-, elektrische, mit überaus reichhaltigem Zubehör — billige Schienen. — Dampfmaschinen von M. 1.50 bis M. 450. — Lokomotive, Heißluft-, Benzin-, Vakuum-Motore, Modelle auch für praktischen Gebrauch, Transmissionen. Spezialliste 57 E M. — 20

Abt. III. Schwachstrom-Artikel, Teleph., Klingeln, Akkumulatoren, Elemente u. Zubehör, Kleinbeleuchtung, Sarans Lux-Elemente bis 2000 Brennstunden. Taschenlampen, Meßinstrumente, Beschäftigungsspiele. Spezialliste 57 A M. — 10

Abt. IV. Aeroplane, Aeroplan-Baukästen, Einzelteile zum Modellbau, Sarans Duci-Preßluftmotor $\frac{1}{5}$ PS. Benzinmotore für Modelle. Propeller, Bambus, Gummi usw. Spezialliste 57 Z M. — 20

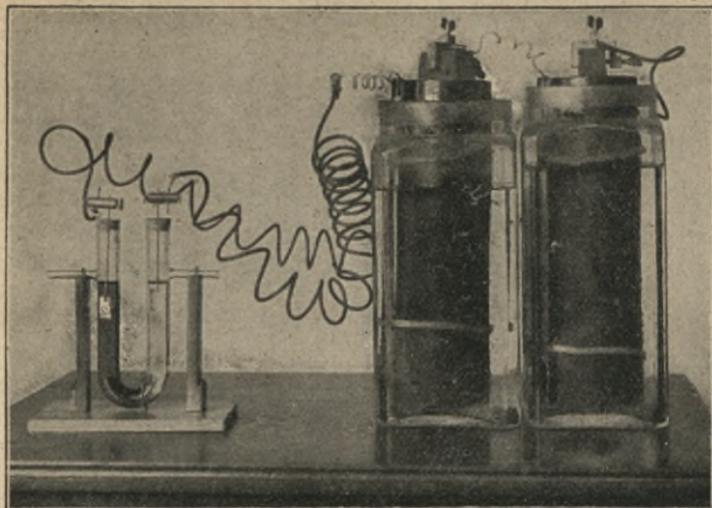
Abt. V. Kinematographen, Projektionsapparate, Films, Mikroskope, photogr. Apparate, Feldstecher, Prismengläser. Spezialliste 57 P M. — 20

Abt. VI. Rohguß und Einzelteile zu Eisenbahnen, Schiffen, Dampfmaschinen, Motoren zum Bau von Funkeninduktoren, Tesla-Apparaten, drahtlosen Telegraphie, Armaturen, Draht usw. Spezialliste 57 R M. — 20

Sämtliche Listen zusammen Nr. 57 A—Z M. — 80 gegen Guthchein.

Fritz Saran, Berlin W 57, Potsdamerstr. 66.

Halberstadt — Rathenow.



Experiment über farbige Zersetzung.

Physikalisches Experimentierbuch für Knaben.

Eine Anleitung zur Ausführung physikalischer Experimente und zur Selbstanfertigung der hierzu nötigen Apparate. Von Richard Feißwanger. 7.—9. Auflage. Mit 216 Abbildungen. Gebunden 4 Mark 60 Pf.

Wir können allen Eltern, die noch nicht wissen, was sie ihren heranwachsenden Knaben schenken sollen, dies herrliche Buch empfehlen.

Neue Pädagogische Zeitung.

Chemisches Experimentierbuch für Knaben.

Praktische Einführung in das Studium der Chemie auf Grund leicht ausführbarer Versuche. Von Dr. D. Rothdurf. Mit 152 Abbildungen. Gebunden 5 Mark 50 Pf.

Der große Vorzug des Buches besteht darin, daß es nur Versuche bringt, die der Verfasser, ein erfahrener Lehrer und Freund der Jugend, selbst erprobt hat oder von seinen Schülern ausführen ließ. Durch die Form der Darstellung, sowie die zusammenhängenden Untersuchungen bekannter Stoffe wird das Eindringen in das Verständnis der modernen Chemie außerordentlich erleichtert.

Zu haben in allen Buchhandlungen.

Werkbuch fürs Haus.

Eine Anleitung zur Handfertigkeit für Basler. Von Eberhard Schuehler. 10.-12. Auflage. Mit 409 Abbildungen. Praktisch gebunden 6 Mark.



Vöten mit dem Vötrohr.

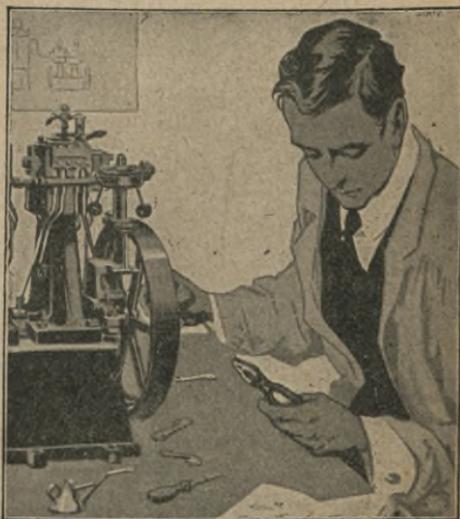
Das Buch erweist sich als ein Ratgeber für alle Fälle des häuslichen Lebens, wo es auf praktische Handfertigkeit ankommt, und wer darauf das Sachverzeichnis durchsieht, wird kaum in Verlegenheit geraten. Für Knaben ist es ein sehr empfehlenswertes Geschenk, das obendrein auch den Eltern von Nutzen sein wird.

Hamburger Nachrichten.

Der junge Maschinenbauer.

Eine Einführung in die Elemente des Maschinenbaus und Anleitung zur Herstellung kleiner Modelle. Bearbeitet von Eberhard Schuehler. Mit 370 Abbildungen. Gebunden 7 Mark.

Dieses reich illustrierte Buch ist eine treffliche und leichtverständliche Einführung in die Elemente des Maschinenbaus und bietet eine zuverlässige und praktische Anleitung zur Herstellung kleiner Modelle. . . Blätterf. Bücherfreunde.



Zu haben in allen Buchhandlungen.

11/ 4. 60 11 16 13/ 70





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296199