



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Graetz für Alle

Graetz, Leo

Stuttgart, 1929



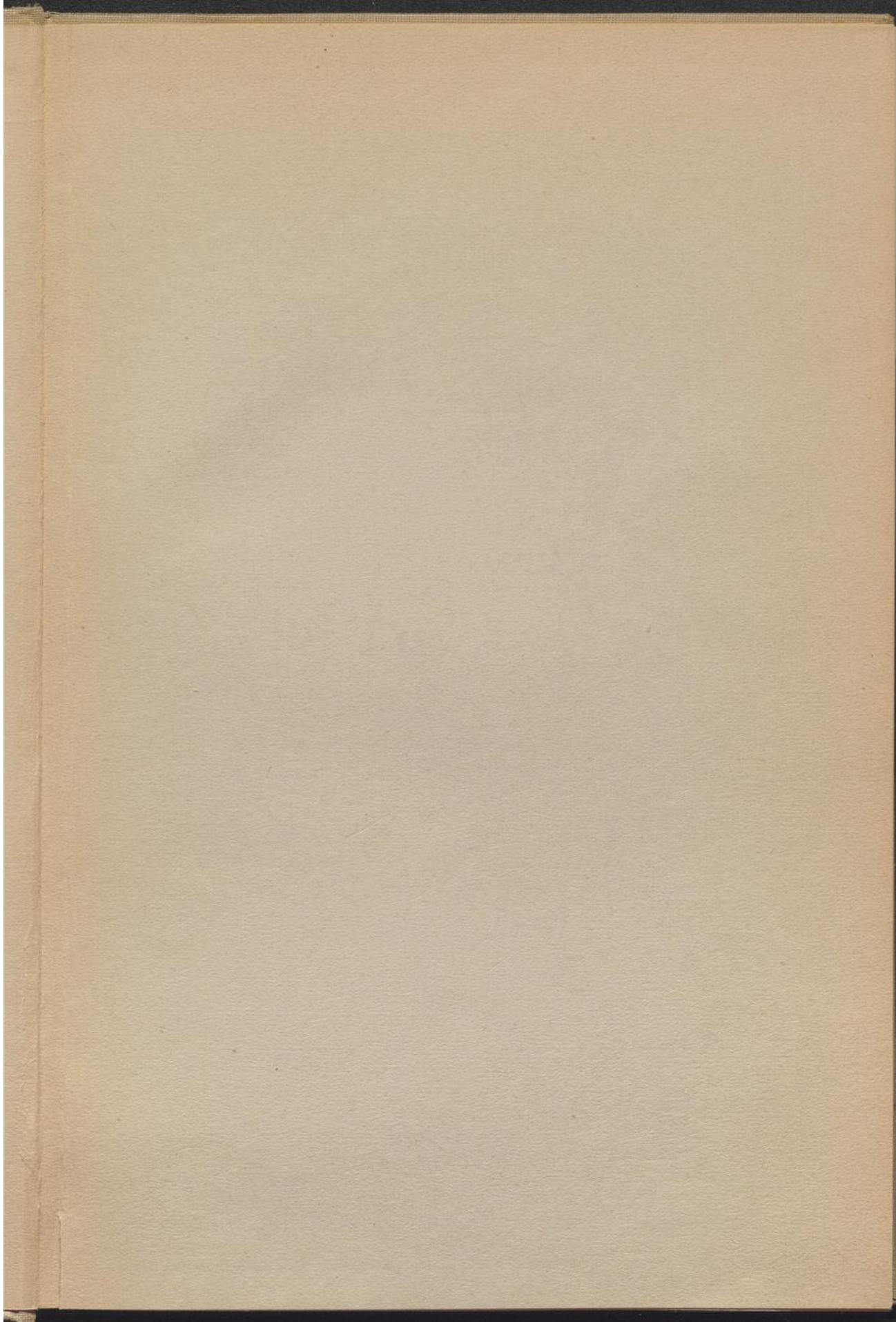
[urn:nbn:de:hbz:466:1-83225](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83225)

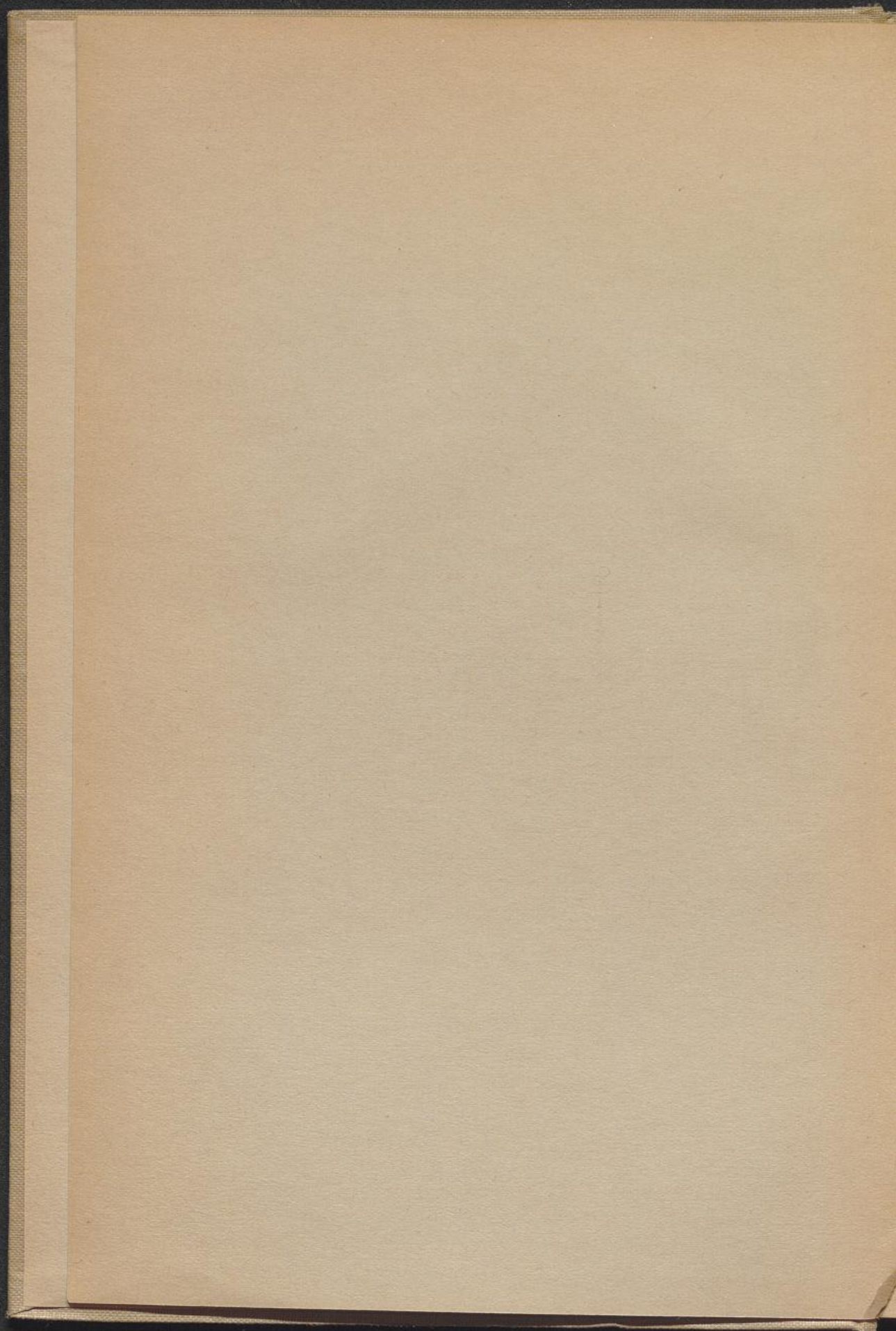
**DER GRAETZ
FÜR ALLE**
KLEINES HANDBUCH
DER ELEKTRIZITÄT
VON LEO GRAETZ

AV/G4

18

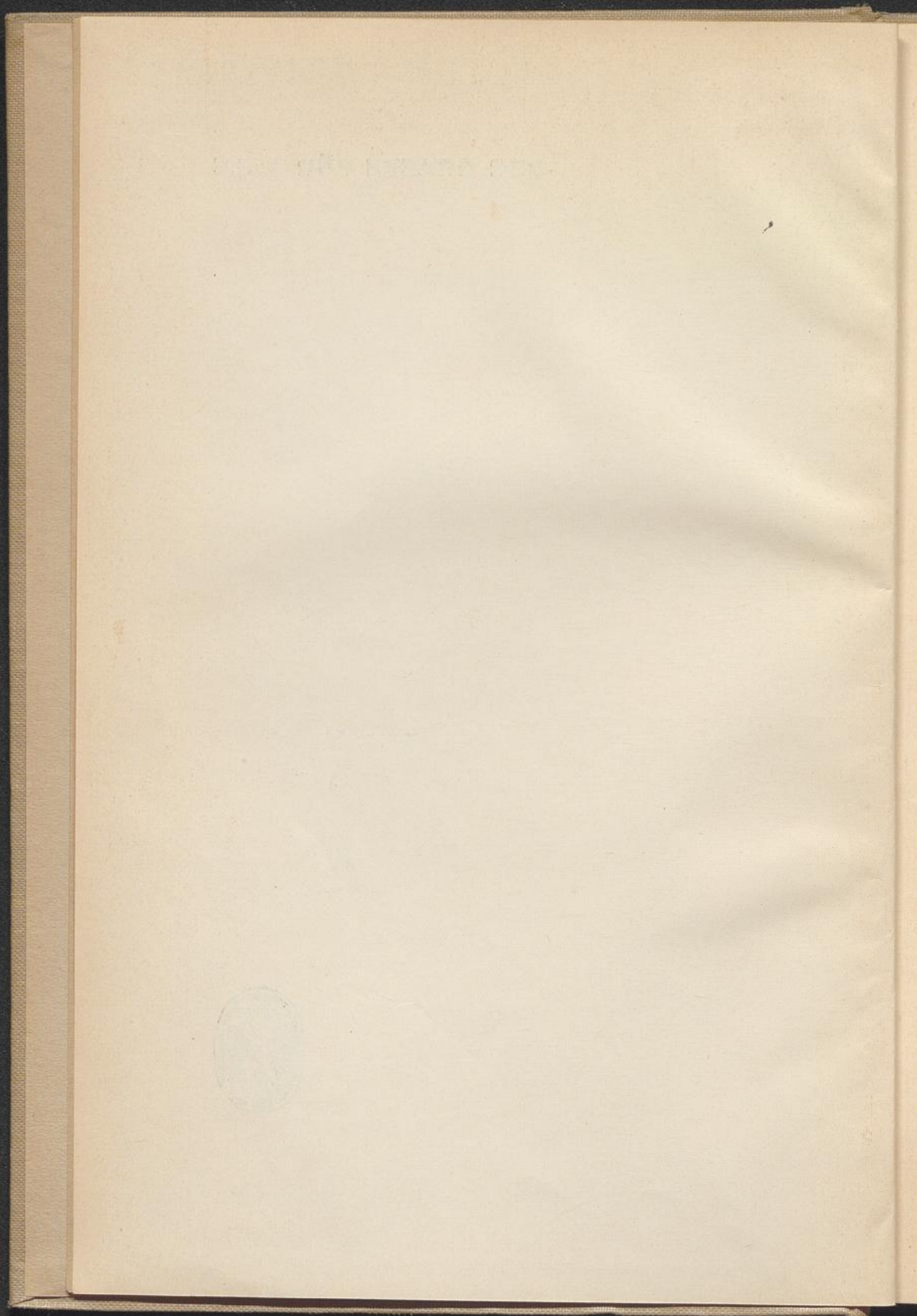
6.50





DER GRAETZ FÜR ALLE





DER GRAETZ FÜR ALLE

**Kleines Handbuch der Elektrizität
von Leo Graetz**

Zugleich 16. Auflage des Buches

„Kurzer Abriß der Elektrizität“

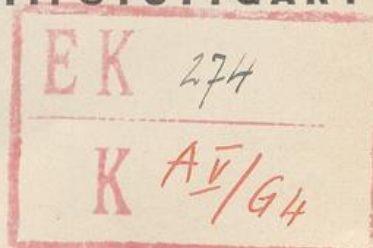
76.—80. Tausend

Mit 196 Abbildungen



1929

J. ENGELHORNS NACHF. STUTTGART



03

17

28518



2005. 1344

Alle Rechte vorbehalten • Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft, Stuttgart

VORWORT

Die Elektrizität dringt unaufhaltsam immer weiter in alle Beziehungen der menschlichen Arbeit, des menschlichen Verkehrs, sie erleichtert immer mehr das menschliche Leben und verbreitert immer mehr den Kreis der Menschen, der an geistigen und künstlerischen Darbietungen teilnehmen kann. Es macht sich daher in immer weiteren Kreisen das Bedürfnis geltend, wenigstens über die Haupttatsachen der Elektrizitätslehre und über den Umfang ihrer Anwendungen sich zu informieren. Diesem Bedürfnis sucht das vorliegende Buch zu genügen, in welchem insbesondere auch die neuesten Errungenschaften der elektrischen Wissenschaft und Technik besprochen werden. Das Buch ist eine wesentliche Umarbeitung des in vielen Auflagen verbreiteten Werkes: „Kurzer Abriß der Elektrizität“; es geht aber mehr als dieses hauptsächlich auch auf die neuesten Fortschritte und Errungenschaften dieses großen Gebietes ein.

München / Juni 1929

Graetz

INHALTSVERZEICHNIS

Erstes Kapitel. Der elektrische Strom und seine Gesetze	1—32
Zweites Kapitel. Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen	33—47
Drittes Kapitel. Die Induktionserscheinungen . . .	48—60
Viertes Kapitel. Dynamomaschinen für Gleichstrom und Wechselstrom	61—77
Fünftes Kapitel. Die Fortleitung und Verteilung elektrischer Energie	78—90
Sechstes Kapitel. Die Wärme- und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen	91—112
Siebentes Kapitel. Die Leistung von Arbeit durch Elektromotoren	113—127
Achtes Kapitel. Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes	128—145
Neuntes Kapitel. Der Durchgang der Elektrizität durch Gase / Die Röntgenstrahlen	146—158
Zehntes Kapitel. Telegraphie und Telephonie auf Drähten	159—179
Elftes Kapitel. Die elektrischen Schwingungen . . .	180—202
Register	203—206

INHALTSVERZEICHNIS

I. Einleitung	1
II. Die Geschichte der deutschen Literatur	2
III. Die deutsche Literatur des 18. Jahrhunderts	3
IV. Die deutsche Literatur des 19. Jahrhunderts	4
V. Die deutsche Literatur des 20. Jahrhunderts	5
VI. Die deutsche Literatur der Gegenwart	6
VII. Die deutsche Literatur der Zukunft	7
VIII. Die deutsche Literatur der Vergangenheit	8
IX. Die deutsche Literatur der Gegenwart und Zukunft	9
X. Die deutsche Literatur der Vergangenheit und Zukunft	10
XI. Die deutsche Literatur der Gegenwart und Zukunft	11
XII. Die deutsche Literatur der Vergangenheit und Zukunft	12
XIII. Die deutsche Literatur der Gegenwart und Zukunft	13
XIV. Die deutsche Literatur der Vergangenheit und Zukunft	14
XV. Die deutsche Literatur der Gegenwart und Zukunft	15
XVI. Die deutsche Literatur der Vergangenheit und Zukunft	16
XVII. Die deutsche Literatur der Gegenwart und Zukunft	17
XVIII. Die deutsche Literatur der Vergangenheit und Zukunft	18
XIX. Die deutsche Literatur der Gegenwart und Zukunft	19
XX. Die deutsche Literatur der Vergangenheit und Zukunft	20

ERSTES KAPITEL

DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

Ein eigentümlicher Widerspruch liegt in den zwei Tatsachen, daß wir einerseits heutzutage die Elektrizität in fast allen Verhältnissen des menschlichen Verkehrs, der menschlichen Arbeit und des Komforts eine große, ja eine ausschlaggebende Rolle spielen sehen, und daß wir anderseits in der ganzen Natur, wenn wir sie auch noch so aufmerksam durchmustern, fast nie eine elektrische Erscheinung beobachten. Wenn nicht gerade Gewitterwolken sich durch einen Blitz entladen, oder wenn uns nicht zufällig die seltene Erscheinung des St.-Elms-Feuers aufstößt, so finden wir in der ganzen Natur scheinbar niemals eine Spur von Elektrizität. Dieser Widerspruch besagt aber nicht etwa, daß in der Natur elektrische Vorgänge im allgemeinen nicht vorhanden seien, daß die Elektrizität im wesentlichen ein Produkt unserer Kunst sei, er zeigt vielmehr an, daß wir die elektrischen Vorgänge, die in der Natur vorhanden sind, im allgemeinen nicht direkt zu erkennen imstande sind, daß wir kein direktes Sinnesorgan für die elektrischen Erscheinungen haben. Wir haben kein elektrisches Auge und kein elektrisches Ohr. Hätten wir einen elektrischen Sinn, so würde uns die ganze Natur, so wie sie uns jetzt durchflutet erscheint von Wärme und Licht, so auch erfüllt erscheinen von elektrischen Vorgängen. Daß die Elektrizität und ihre Wirkungen uns nun aber doch bekannt wurden, das beruht allein darauf, daß die Elektrizität die höchst willkommene Eigenschaft besitzt, leicht und fast ohne unser Zutun andere Erscheinungsformen, wie Licht, Schall, Wärme, Bewegung, hervorzubringen. Dadurch erst wird die Elektrizität, die die größte Rolle in der Natur spielt, unseren Sinnen zugänglich.

Naturgemäß hat bei der Entdeckung der elektrischen Erscheinungen der Zufall eine große Rolle gespielt. Schon im Altertum war bemerkt worden, daß man gewisse Körper durch Reiben „elektrisch“ machen könne, wobei sie imstande sind, andere Körper anzuziehen. Man hat dann später gefunden, daß es zwei Arten von Elektrizität gibt, die positive und die negative. Geriebenes Glas nennt man positiv elektrisch, geriebenes Siegellack oder Ebonit oder geriebenen Bernstein negativ. Positiv elektrisierte (oder, wie man sagt, positiv geladene) Körper ziehen negativ geladene an und stoßen positiv geladene ab, und ebenso ziehen negativ geladene Körper die ungleichnamig geladenen an, stoßen die gleichnamig geladenen ab. Diese Erscheinungen waren schon lange bekannt. Aber durch einen besonderen Zufall machte *Galvani* oder, wie eine Erzählung behauptet, eigentlich seine Frau im Jahre 1789 eine Beobachtung, die zunächst ganz rätselhaft erschien und von der aus der un-

ERSTES KAPITEL

aufhaltsame Aufschwung der Elektrizitätslehre ausging. Galvani hatte nämlich einen Froschschenkel mit seinen Nervenenden an einem Haken aus Messing befestigt und diesen an einem eisernen Balkongitter aufgehängt. Als zufällig durch den Wind das untere Ende des Froschschenkels mit dem eisernen Geländer selbst in Berührung kam, zuckte der Froschschenkel zusammen und tat dies auch jedesmal, als Galvani nun absichtlich die Berührung mit dem Balkongitter hervorbrachte.

Diese neue Erscheinung machte damals die Runde durch alle wissenschaftlichen und Laienkreise Europas. Unzählige Frösche mußten ihr teures Leben der Wiederholung dieses Versuchs opfern. Aber wie war dieser Versuch Galvanis aufzufassen? Galvani selbst ließ sich durch Voreingenommenheit täuschen, er glaubte, daß dieses Experiment die lange vermutete tierische Elektrizität und die Lebenskraft beweise, und es gelang ihm nicht, diesen immerhin recht verwickelten Komplex von Erscheinungen in seine einfacheren Elemente aufzulösen. Erst *Volta*, Professor der Physik in Pavia, zeigte durch eine Reihe von Versuchen, daß folgende Dinge bei diesem Versuche wesentlich sind:

Erstens: es müssen, außer dem Froschschenkel, *zwei verschiedene* Metalle vorhanden sein. Bei Galvani waren es Messing und Eisen, es können aber auch Zink und Kupfer, oder Nickel und Platin, oder überhaupt irgend zwei verschiedene Metalle sein. Mit zwei gleichen Metallen gelingt der Versuch nicht. *Zweitens:* die drei vorhandenen Körper, der Froschschenkel und die beiden Metalle, müssen einen *geschlossenen* Kreis bilden, es muß das Messing einerseits mit dem Eisen, anderseits mit dem Froschschenkel und ebenso dieser mit dem Eisen in Berührung sein, sonst gelingt der Versuch nicht.

Drittens aber, welche Rolle spielt der Froschschenkel bei diesem Experiment? Sicher ist, daß in diesem geschlossenen Kreis, gebildet aus zwei Metallen und dem Froschschenkel, etwas Ungewöhnliches vor sich geht, was sich eben durch das Zucken des Froschschenkels offenbart. Aber hierbei liegen noch zwei Möglichkeiten vor: Entweder nämlich ist der Froschschenkel überhaupt zu dem ungewöhnlichen Vorgang notwendig — und das war die Ansicht von Galvani, welcher ja die Lebenskraft aus diesem Versuche zu ersehen glaubte — oder zweitens, der ungewöhnliche Vorgang an sich ist nicht an die organische Materie des Froschschenkels geknüpft, sondern der Froschschenkel zeigt durch seine Zuckungen nur an, daß eben etwas Merkwürdiges vor sich geht, er ist nur ein Reagenzmittel für den Vorgang, ganz wie das Blauwerden von Stärke ein Reagens auf das Vorhandensein von Jod ist. Diese zweite Ansicht, obwohl sie die weniger naheliegende ist, erwies sich als die richtige. Nicht darauf kommt es an, daß gerade ein Froschschenkel mit den beiden Metallen in Berührung ist. Es kommt vielmehr nur darauf an, daß eine *Flüssigkeit*, wie das salzhaltige Wasser, welches in dem Froschschenkel vorhanden ist, mit den beiden verschiedenen Metallen in Berührung ist und daß diese beiden Metalle sich selbst berühren, daß also ein *geschlossener Kreis vorhanden ist, gebildet aus einer Salzlösung oder einer ähnlichen Flüssigkeit und zwei verschiedenen Metallen.*

DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

Wenn also, wie in **Fig. 1**, zwei Metalle, Zink (Zk) und Kupfer (Cu), in einer Flüssigkeit, z. B. verdünnter Schwefelsäure oder einer Salzlösung oder auch bloß in gewöhnlichem Brunnenwasser (das immer Salze aufgelöst enthält) stehen, und wenn das Kupfer, wie in der Figur, durch einen geraden oder gebogenen Draht A B mit dem Zink außerhalb der Flüssigkeit verbunden ist, so geht in diesem geschlossenen Kreis dasselbe Ungewöhnliche vor wie bei dem Experiment von Galvani. In der Tat ist dies dieselbe Anordnung wie bei Galvani, nur daß statt Messing und Eisen hier Kupfer und Zink und daß statt des Froschschenkels direkt das salzhaltige Brunnenwasser oder die verdünnte Schwefelsäure in einem Gefäß angewendet wird.

Aber daß hier in dieser Kombination, welche man kurz ein geschlossenes *Voltasches Element* nennt, ein ungewöhnlicher Vorgang existiert, das ist vorläufig nur eine Behauptung von uns. Denn man bemerkt an diesem Element an sich nichts Ungewöhnliches. Den Froschschenkel, den Galvani benutzte und der ein Reagens auf das Ungewöhnliche sein sollte, haben wir ja absichtlich eliminiert.

Hier kommt uns nun aber eine zweite zufällige Entdeckung zu Hilfe, welche von *Oerstedt*, Professor der Physik in Kopenhagen, 1821 gemacht wurde. Als dieser bei seinen Vorlesungen ein solches geschlossenes Voltasches Element zeigte, bemerkten seine Zuhörer, daß eine gewöhnliche Kompaßnadel, die zufällig in der Nähe des Drahtes A B stand, abgelenkt wurde. Während sie für gewöhnlich, wie jede Magnetnadel, in der Süd-Nord-Richtung stand, nahm sie unter dem Einfluß des Drahtes A B eine andere Lage an, sie zeigte nahezu von Ost nach West.

Das ist nun ein objektiver Beweis dafür, daß in unserem geschlossenen Voltaschen Element etwas Ungewöhnliches vor sich geht. Die Magnetnadel, die in der Nähe steht, ist uns nicht wegen der Lebenskraft verdächtig, wie der Froschschenkel, und sie zeigt uns durch ihre Ablenkung ohne weiteres die Tatsache an, daß in der Nähe des geschlossenen Voltaschen Elementes Vorgänge vorhanden sind, Kräfte auftreten, die man dem Element an sich nicht anmerkt. Um den Oerstedtschen Versuch recht bequem anzustellen, bringt man die Magnetnadel NS, wie in **Fig. 2** (drehbar auf einer Spitze), in das Innere eines umgebogenen kupfernen Streifens G, der auf Holz montiert ist und an dessen

Fig. 1



beiden freien Enden Klemmschrauben A und B angelötet sind. Sobald man nun das Kupferblech unseres Voltaschen Elementes durch einen Draht mit A und das Zinkblech durch einen Draht mit B verbindet (zu diesem Zweck sind an den beiden Blechen Klemmschrauben A' und B' befestigt), so ist das Voltasche Element durch diese Drähte und den Kupferstreifen geschlossen, und in der Tat sieht man nun, daß sofort die Magnetnadel sich aus der Schleife heraus-

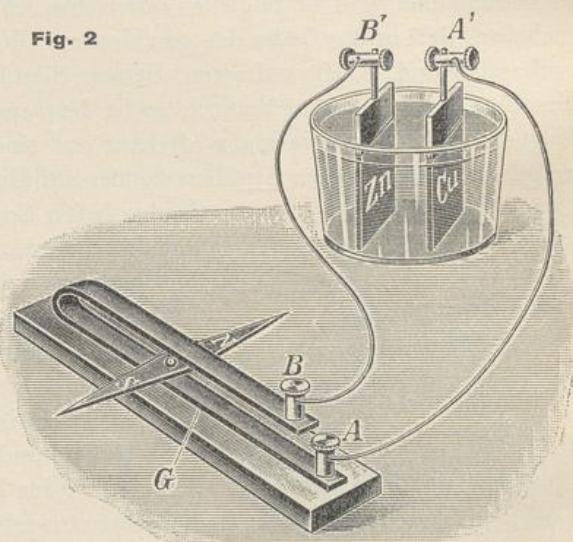
ERSTES KAPITEL

dreht und nach einigen Schwingungen, die sie ausführt, in der herausgedrehten Lage in Ruhe kommt. Damit die Magnetnadel vor der Schließung des Voltaschen Elementes in der Schleife steht, ist natürlich notwendig, daß man die Schleife selbst, also den Apparat G, in die Süd-Nord-Richtung stellt.

Jetzt haben wir also ein Mittel, um den von uns behaupteten ungewöhnlichen Vorgang direkt zu konstatieren. Die Ablenkung der Magnetnadel zeigt uns, daß etwas vor sich geht; wir haben durch sie gewissermaßen ein *künstliches Auge* bekommen, welches uns das Vorhandensein einer unerwarteten Erscheinung erkennen läßt. Was in dem Element oder in seiner Nähe vorgeht, sagt uns allerdings die Magnetnadel nicht. Um von diesem jetzt konstatierbaren, aber dem Wesen nach noch unbekannten Vorgang kurz sprechen zu können, wollen wir sagen, womit wir dem gewöhnlichen Sprachgebrauch folgen: *In dem geschlossenen Voltaschen Element fließt ein elektrischer oder galvanischer Strom.*

Einige kurze Bezeichnungen zur Verständigung sind hier zweckmäßig. Unser geschlossenes Voltasches Element bestand aus einer Flüssigkeit, in welche zwei Metalle tauchten, und aus einem Draht, der außen die beiden Metalle verbindet, der also auch die Schleife unseres kleinen Apparates **Fig. 2** bildete. Wir wollen den Draht, der die beiden Metalle außen verbindet, den *äußeren Schließungskreis* nennen, wir wollen ferner die Flüssigkeit mit den beiden Metallen selbst, aber ohne den äußeren Schließungskreis, ein *offenes oder ungeschlossenes Voltasches Element* oder kurzweg ein Voltasches Element nennen. Die Enden der beiden Metalle, des Zinks und des Kupfers, mit denen wir den äußeren Schließungskreis verbinden, nennen wir die *Pole* des Elementes. Ferner wollen wir den Apparat G, also die Magnetnadel in der Kupferschleife, da sie uns das Vorhandensein eines galvanischen Stromes zeigt, ein *Galvanoskop* oder *Galvanometer* nennen. Für den bequemen Gebrauch werden solche Galvanometer in der Form von Kästchen ausgeführt, wie **Fig. 3** zeigt. Auch wird bei ihnen gewöhnlich jetzt der umgekehrte Vorgang benutzt. Statt daß, wie in **Fig. 2**, die Magnetnadel beweglich ist in dem festen Stromleiter, macht man jetzt den Stromleiter beweglich in der Nähe eines festen Magneten. In dem Kästchen **Fig. 3** befindet sich ein fester Magnet, zwischen dessen Polen eine Drahtrolle drehbar angebracht ist, indem ihre Achse an den beiden Enden in Spitzen gelagert ist. Durch die oben in der Figur sicht-

Fig. 2



DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

baren Klemmen C und D wird das Element mit dieser Drahtrolle in Verbindung gebracht, indem man die Drähte des Elements in die Klemmen einschraubt. An der Achse der Drahtrolle ist ein Zeiger befestigt, welcher sich vor der sichtbaren Skala bewegt. Man nennt ein solches Galvanometer ein *Drehspulgalvanometer*.

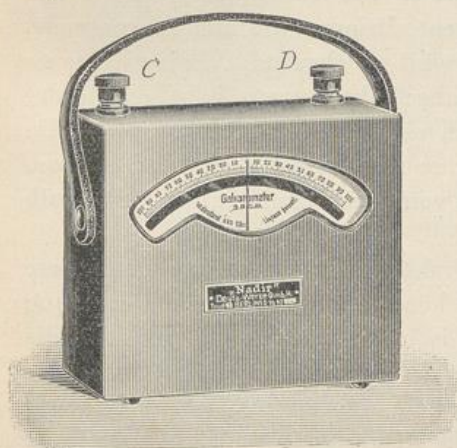
Mit einem solchen Galvanometer ausgerüstet, können wir nun sofort eine Reihe von wichtigen Konstatierungen machen. Zunächst können wir ersehen, daß die Pole unseres Elements durch *Metalldrähte* mit dem Galvanometer verbunden sein müssen. Wenn wir sie durch einen Seiden- oder Wollenfaden verbinden, so erhalten wir keinen Ausschlag des Zeigers. Daraus ersehen wir, daß sich die Körper in bezug auf ihr Verhalten gegen den elektrischen Strom in zwei Klassen teilen. Diejenigen Körper, in welchen ein elektrischer Strom fließt, wenn sie unser Voltaelement schließen, nennen wir elektrische *Leiter*, die anderen elektrische *Isolatoren*.

Zu den Leitern gehören alle Metalle, ferner Kohle, Graphit, menschliche und tierische Körper und viele Flüssigkeiten, nämlich Lösungen von Säuren und Salzen; zu den Isolatoren gehören Holz, Glas, Kautschuk, Paraffin, Porzellan, Leder, Wolle, Seide, Glimmer, Wachs, Schwefel, trockene Salze, Bernstein, Schellack, Öle.

Übrigens werden wir finden, daß dieser Unterschied nicht vollkommen scharf ist, daß man nicht die Körper einfach streng in Leiter und Isolatoren scheiden darf, sondern daß man vielmehr sagen muß, alle Körper leiten den Strom, aber in außerordentlich verschiedenem Maße. Die Metalle leiten außerordentlich gut, die Flüssigkeiten viel schlechter, die menschlichen und tierischen Körper noch schlechter, die sogenannten Isolatoren ganz überaus schlecht oder für gewöhnliche praktische Zwecke gar nicht. Dieselbe Tatsache kann man auch anders ausdrücken, indem man sagt: Alle Körper setzen dem Strom

einen gewissen *Widerstand* entgegen: die Isolatoren einen außerordentlich großen, andere Stoffe, wie feuchtes Papier, einen viel kleineren, die Metalle endlich einen außerordentlich kleinen. Weiter findet man aber, daß die Richtung, nach welcher die Drehspule des Galvanometers abgelenkt wird, also auch der Ausschlag des Zeigers, wechselt, wenn man die Verbindung des Galvanometers mit den Polen des Elementes wechselt. Verbindet man nämlich das Kupfer des Voltaschen Elements mit C und das Zink mit D, so wird der Zeiger etwa nach rechts abgelenkt; verbindet man umgekehrt das Zink mit C und das Kupfer mit D, so wird

Fig. 3



ERSTES KAPITEL

er nach links abgelenkt. Daraus folgt, daß die beiden Pole des Elements sich nicht gleich, sondern in gewisser Hinsicht entgegengesetzt verhalten. Das entspricht aber der Vorstellung eines Stromes, der in dem Element und in dem äußeren Schließungskreis fließt. Der eine Pol wäre dann eben derjenige, von dem aus der Strom fließt, und der andere derjenige, nach dem er hinfließt. Bei wechselnder Verbindung der Pole wird dann also der Strom im Galvanoskopdraht entgegengesetzt fließen, das eine Mal von der ersten Klemme zur zweiten, das andere Mal von der zweiten zur ersten. Daraus folgt also: *Wechselt die Richtung des Stromes im äußeren Schließungskreis, so wechselt auch die Ablenkung der Drehspule, also der Ausschlag des Zeigers.*

Da wir nun nicht sehen, daß sich wirklich etwas zwischen den beiden Polen in dem Draht bewegt, so können wir auch nicht wissen, ob dieses Bewegte sich vom Kupfer zum Zink hin oder vom Zink zum Kupfer hin bewegt. Wir müssen deshalb eine Festsetzung darüber machen, an die wir uns von nun an dauernd halten wollen. Wir wollen nämlich festsetzen:

- *Der elektrische Strom hat im äußeren Schließungskreis des Voltaschen Elements die Richtung vom Kupfer zum Zink.*

Wir wollen den Kupferpol als *positiven Pol*, den Zinkpol als *negativen Pol* bezeichnen. Der Strom fließt also im äußeren Schließungskreis vom positiven Pol zum negativen Pol.

Übrigens bedürfen unsere Betrachtungen noch einer wichtigen Ergänzung. Eine Magnetnadel wird nicht bloß in der Nähe des äußeren Schließungsdrahtes abgelenkt, sondern auch in der Nähe des Voltaschen Elementes selbst (NB. wenn es geschlossen ist!), woraus wir folgern müssen, daß der galvanische Strom nicht bloß im äußeren Verbindungsdraht, sondern auch in dem Element selbst, in seiner Flüssigkeit und seinen Metallen fließt. Um dies nachzuweisen, denken wir uns unser geschlossenes Voltasches Element wie in **Fig. 4** gebildet. Dasselbe stellt in seinem unteren Teil Z g K eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Glasröhre dar, der obere Teil Z b K stellt den äußeren Schließungskreis dar. Bei Z befindet sich eine Zinkplatte, bei K eine Kupferplatte. Das Ganze ist also ein geschlossenes Voltasches Element. Bringen wir eine Magnetnadel in die Nähe des Drahtes, etwa nach b, so wird sie abgelenkt. Bringen wir sie aber in die Nähe von g, so wird sie auch abgelenkt, woraus folgt, daß in der Flüssigkeit nach unserer Bezeichnung auch ein elektrischer Strom fließt. Da derselbe Strom in b wie in g vorhanden ist, so fließt also der elektrische Strom *innerhalb* des Voltaschen Elementes selbst vom Zink zum Kupfer, außerhalb umgekehrt vom Kupfer zum Zink.

Nachdem so die Richtung des Stromes im Draht des Galvanoskops durch unsere Festsetzung ein für allemal bestimmt ist, können wir den Sinn der Drehung einer Magnetnadel danach ermitteln. Dies ist von *Ampère* geschehen, und die von ihm gefundene Regel heißt die *Ampèresche Schwimmerregel*. Sie lautet:

- *Denkt man sich in der Richtung des Stromes schwimmend, mit dem Gesicht der Magnetnadel zu, so wird der Nordpol der Magnetnadel nach links abgelenkt.*

DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

Mit dieser Regel aber haben wir sofort ein Mittel, um bei jedem Voltaschen Element, das ja verschiedene Metalle und Flüssigkeiten haben kann, zu untersuchen, welches der positive, welches der negative Pol ist. Wir verbinden die Pole mit dem Galvanoskop (**Fig. 2**) und untersuchen, in welcher Richtung wir im Draht des Galvanoskops mit dem Gesicht zur Magnetnadel schwimmen müssen, um den abgelenkten Nordpol zur linken Hand zu haben. Das ist die Richtung des Stromes. Die Ausgangsstelle desselben ist der positive Pol, die Stelle, zu der er hinführt, der negative Pol.

Das Voltasche Element aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit ist indes für den Gebrauch nicht praktisch, weil es rasch in seiner Wirksamkeit nachläßt. Man hat vielfach andere Elemente konstruiert, mit anderen Metallen und anderen Flüssigkeiten, auch Elemente, bei denen jedes der beiden Metalle in einer anderen Flüssigkeit sich befindet, wobei man das eine Metall mit seiner

Fig. 4

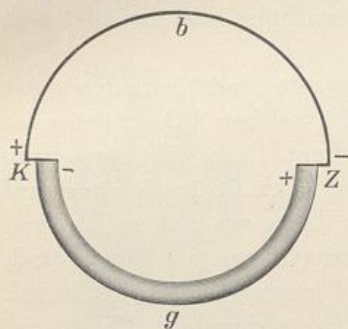
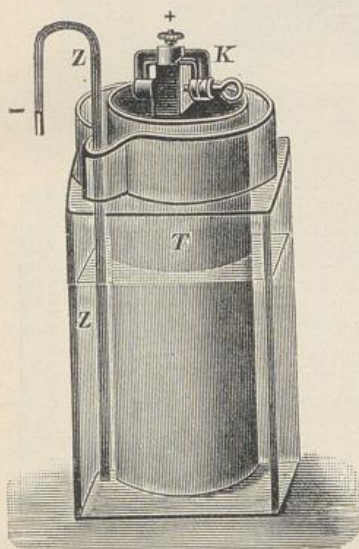


Fig. 5



Flüssigkeit in eine poröse Tonzelle brachte, die dann in die andere Flüssigkeit gestellt wurde, so daß durch deren Poren die Berührung zwischen den Flüssigkeiten stattfindet.

Man nennt solche Elemente allgemein *galvanische Elemente*. Nur wenige derselben haben sich bewährt und werden heute noch benutzt. Das auch heute noch am meisten gebrauchte Element ist das *Leclanché-Element*, das in verschiedenen Formen hergestellt wird. **Fig. 5** gibt eine Ansicht desselben in seiner ursprünglichen Form. In diesem sind die beiden festen Leiter Kohle, welche sich wie ein Metall verhält, und Zink. Aber die Kohle K, welche positiver Pol wird, steht in einer Tonzelle T, die mit einem festen Gemisch von Braunstein und Kohle gefüllt ist. Die Zinkstange Z steht in verdünnter Salmiaklösung (20—25 g Salmiak auf so viel Wasser, als in das Glas hineingeht). Es ist also bei diesem Element nur eine Flüssigkeit vorhanden.

Eine andere Form derselben sind die *S. & H.-Beutelemente*, deren einzelne Teile in **Fig. 6** gezeichnet sind. In das Standglas, dessen Boden passende Erhöhungen besitzt, wird der rechts sichtbare Zinkzylinder unverrückbar eingesetzt. In die Mitte kommt die Kohle, die mit einer aus Braunstein bestehenden Masse umgeben und mit einem Beutel umwickelt ist, wie es die Figur links zeigt. Auch sie ist am Boden

ERSTES KAPITEL

und Deckel unverrückbar befestigt. Das Standglas wird mit Salmiaklösung gefüllt.

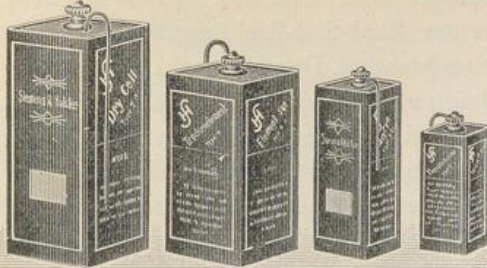
Der Typus des Leclanché-Elements ist auch für die sogenannten *Trockenelemente* verwendet, welche für viele Zwecke sehr bequem sind. Sie lassen sich nämlich leicht transportieren und sind immer zum Gebrauch fertig, brauchen also nicht immer besonders zusammengestellt zu werden. Es wird das dadurch erreicht, daß sie nicht direkt Flüssigkeiten enthalten, sondern mit einer Masse gefüllt sind, welche mit der Flüssigkeit imprägniert ist und immer feucht bleibt. Als Metalle sind bei ihnen auch gewöhnlich Zink und Kohle verwendet. Die Füllmasse besteht aus Kieselgur oder ähnlichem Material. Ein sehr brauchbares Element dieser Art ist das T-Element (**Fig. 7**), welches die Form eines Kästchens hat und welches von Siemens & Halske in verschiedenen Größen fabriziert wird. Die Kohle, deren Pol in der Mitte aus dem Kästchen herausragt, ist mit Braunstein umgeben, der durch eine Pergamentpapierhülse gehalten wird. Das Zink, dessen Pol außen durch den gebogenen Enddraht bezeichnet wird, umgibt in Form eines durchlöchernten Zylinders die Pergamenthülse und befindet sich selbst in der mit Salmiak imprägnierten Masse.

Am meisten werden aber jetzt galvanische Elemente einer besonderen Art gebraucht, welche man *Akkumulatoren* nennt. Ein solcher Akkumulator ist in **Fig. 8** in einer bequem tragbaren Form gezeichnet. Er besteht aus einem Glas, welches mit verdünnter Schwefelsäure (1 ccm Schwefelsäure auf 10 ccm Wasser) gefüllt ist. In dem Glase steht eine Platte aus reinem Blei und ihr gegenüber eine Bleiplatte, welche mit Bleisuperoxyd, einem braunen Stoff, bedeckt ist. An den beiden Platten sind oben die Klemmen a und b befestigt. Die Bleisuperoxydplatte ist die positive, die mit ihr verbundene Klemme ist

Fig. 6



Fig. 7



also der positive Pol des Elements. Diese Akkumulatoren sind deswegen von besonderer Bedeutung, weil man sie, wenn sie Ströme geliefert haben und erschöpft sind, sehr leicht wieder regenerieren kann, wie wir später sehen werden.

Haben wir nun eine Reihe von gleichen oder auch verschiedenen galvanischen Elementen, so können wir diese so anordnen, daß immer der negative Pol des einen mit dem positiven Pol des anderen durch einen Draht verbunden wird, wie es Fig. 9 zeigt.

Eine Reihe von galvanischen Elementen, die so verbunden sind, nennt man eine *Kette* oder *Batterie* oder besser eine hintereinander verbundene Kette. In einer solchen Kette sind nur die beiden äußersten Metalle frei, alle übrigen sind, je ein positives und ein negatives, miteinander verbunden. Man nennt die beiden freien Metalle auch hier die *Pole* der Kette. Ein jedes galvanische Element, wie beschaffen es auch sein mag, liefert einen elektrischen Strom nur dadurch, daß in ihm fort-dauernd chemische Prozesse stattfinden, über die wir später im 8. Ka-

Fig. 8

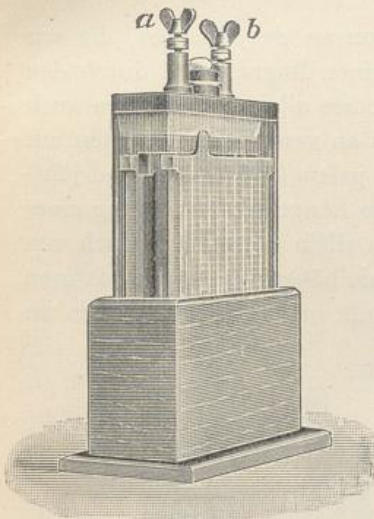
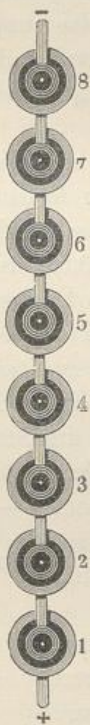


Fig. 9



pitel sprechen werden. Wir können daher sagen, daß der elektrische Strom in ihnen durch die *chemische Energie der sich umsetzenden Stoffe* erzeugt und erhalten wird.

Aus der Ablenkung einer Magnetnadel schlossen wir auf das Vorhandensein eines elektrischen Stromes in dem Draht, der um die Magnetnadel herumgeführt ist. Die Magnetnadel sucht sich immer senkrecht zu dem Draht zu stellen, in dem ein Strom fließt. Zugleich aber sucht die Nadel immer ihre natürliche Richtung, nämlich von Süden nach Norden, beizubehalten, weil eine Magnetnadel durch den Einfluß des Erdmagnetismus ja bekanntlich immer nach Norden zeigen will. Unter diesen beiden Einflüssen kommt also die Nadel in eine be-

ERSTES KAPITEL

stimmte aus der Nord-Süd-Richtung herausgedrehte Lage. Nun wird die Magnetnadel bald stärker, bald schwächer aus der Nord-Süd-Richtung abgelenkt je nach dem galvanischen Element, das wir anwenden. Durch einen Akkumulator wird sie, unter sonst gleichen Umständen, viel stärker abgelenkt als durch ein Trockenelement. Wir sehen also, daß zwei elektrische Ströme sich durch die Stärke ihrer Wirkungen auf die Magnetnadel unterscheiden können. Wir schreiben daher den elektrischen Strömen selbst eine größere oder geringere Stärke zu. *Wir wollen festsetzen, daß die Stärke eines Stromes umso größer ist, je größer seine magnetische Wirkung ist.* Die Nadel oder die Drehspule unserer Galvanometer wird also umso mehr abgelenkt, je größer die Stärke des galvanischen Stromes ist, der sie beeinflußt. Aus der Größe der Drehung unserer Magnetnadel könnten wir also umgekehrt die Stärke verschiedener Ströme, die um sie herumfließen, miteinander vergleichen, d. h. wir könnten sagen, der eine Strom ist doppelt so stark wie der andere, oder dreifach, oder halb so stark.

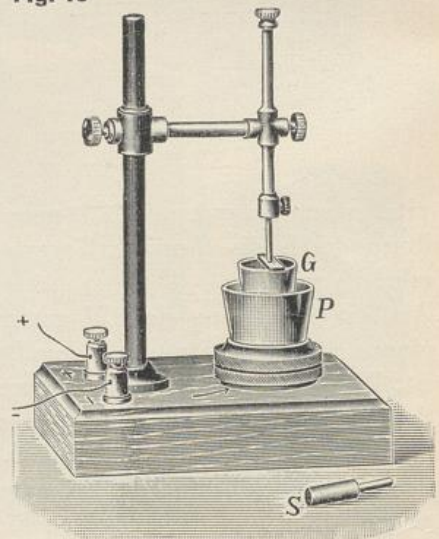
Um nun die Stromstärken in einem bestimmten Maß ausdrücken zu können, muß man eine Einheit für dieselben festsetzen.

Dazu aber eignen sich die magnetischen Wirkungen des Stromes, die wir besprochen haben, nicht. Denn die Ablenkung einer Magnetnadel durch den Strom hängt nicht bloß von der Stärke des Stromes allein ab, sondern auch von der Stärke des Erdmagnetismus, die erstens an verschiedenen Orten auf der Erde verschieden groß ist und die zweitens an jedem Orte täglich und jährlich Schwankungen in der Größe besitzt. Ebenso hängt die Ablenkung einer Drehspule nicht bloß von der Stärke des Stromes allein ab, sondern auch von der Stärke der Magneten, zwischen deren Polen sie hängt. Deswegen hat man die magnetischen Wirkungen des Stromes — es gibt auch noch andere als die beiden eben genannten — nicht zur Festsetzung einer Einheit für die Stromstärke verwenden können.

Vielmehr hat man eine andere Wirkung eines elektrischen Stromes dazu benutzt, die wir im Kapitel 8 ausführlich und im Zusammenhang besprechen werden, von der wir aber hier die uns zunächst interessierenden Punkte anführen müssen.

Wenn man einen Platintiegel, wie P in **Fig. 10**, mit einer Lösung von salpetersaurem Silber (Silbernitrat) in Wasser füllt und in den Tiegel einen Silberstift einhängt (der noch, wie in der Figur bei G mit einem Glasnäpfchen umgeben ist, welches Löcher zur Kommunikation der Flüssigkeit enthält), und wenn man

Fig. 10



DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

Fig. 11

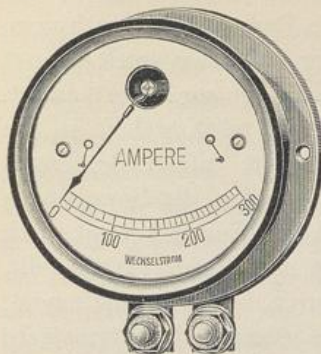
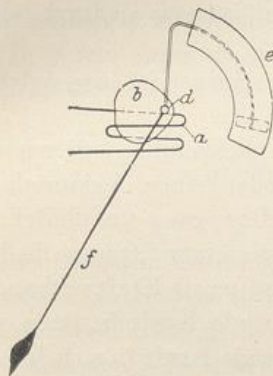


Fig. 12



den Platintiegel mit dem negativen Pol eines Elements, den Silberstift mit dem positiven Pol desselben verbindet (dazu dienen die beiden Klemmschrauben, die an dem Fußbrett des Apparates links sichtbar sind), so fließt ein Strom von dem positiven Pol des Elements durch den Silberstift, dann durch die Lösung von Silbernitrat zum Platintiegel und von diesem zum negativen Pol des Elements zurück. Dieser Strom zersetzt nun das Silbernitrat, und es scheidet sich aus ihm reines Silber ab, welches sich an dem Platintiegel niederschlägt. Je länger der Strom fließt, umso mehr Silber wird abgeschieden. Die ausgeschiedene Menge Silber pro Sekunde oder pro Minute hängt nun ganz allein ab von der Stärke des durchfließenden Stromes und von nichts weiterem. Man nennt den gezeichneten Apparat ein *Silbervoltameter* (oder auch *Silbercoulometer*).

Man hat nun in allen Ländern, nach internationaler Verabredung, als Einheit der Stromstärke diejenige genommen, welche in einem Silbercoulometer in 1 Sekunde 1,118 mg Silber (also in 1 Minute 67,04 mg) abscheidet, und hat diese Einheit als 1 *Ampere* bezeichnet. Diese Einheit ist in Deutschland (und ebenso in

allen anderen Ländern) durch Reichsgesetz festgelegt.

So wie man Längen in Metern mißt, so mißt man Stromstärken in Ampere. Man spricht so von Strömen von 5, 10, 100 usw. Ampere Stärke. Den tausendsten Teil eines Ampere bezeichnet man als *Milliampere*.

Um nun bequem die Stärke eines Stromes in Ampere ermitteln und direkt ablesen zu können, hat man eigene Apparate konstruiert, die *Amperemeter*, die auf den magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes beruhen. Eine solche Wirkung besteht z. B. darin, daß ein beweglich angebrachtes Eisenstück in eine von einem Strom durchflossene Spule hineingezogen wird. **Fig. 11** zeigt die äußere Ansicht eines solchen Amperemeters. Man sieht einen Zeiger, der sich vor einer Skala bewegen kann, die in Ampere geteilt ist. Wird ein Strom durch die unten sichtbaren Klemmen in den Apparat eingeführt, so macht der Zeiger einen Ausschlag und bleibt an einer bestimmten Stelle stehen, aus der man an der Skala sofort die Stärke des Stromes in Ampere ablesen kann. Im Inneren des Gehäuses sind nämlich, wie **Fig. 12** zeigt, einige Drahtwindungen *a* angebracht, durch welche der zu messende Strom fließt. Innerhalb derselben ist ein besonders geformtes Eisenblättchen *b* so angeordnet, daß es

ERSTES KAPITEL

sich um die Achse d, also exzentrisch drehen kann. Je nach der Stärke des Stromes dreht es sich mehr oder minder weit in die Drahtwindungen hinein. An dem Blättchen ist der Zeiger f befestigt, der vor der Skala spielt. Damit das Blättchen bei einem Ausschlag rasch in der neuen Lage zur Ruhe kommt, ist an ihm noch ein Arm angebracht, der eine Scheibe trägt, welche in der gebogenen Röhre e, der Dämpferkammer, sich bewegt. Infolge des engen Luftzwischenraums zwischen Scheibe und Kammer werden die Bewegungen der Scheibe stark gedämpft, das Eisenblättchen mit dem Zeiger kommt rasch zur Ruhe. Man bestimmt nun ein für allemal, wo der Zeiger sich einstellt, wenn man Ströme von 5, 10, 20, 100 usw. Ampere durch die Drahtrolle sendet, und kann dann umgekehrt aus der Stellung des Zeigers jedesmal die Stromstärke direkt in Ampere ablesen. Diese Apparate werden nicht bloß für große Stromstärken so hergestellt, sondern auch für verhältnismäßig geringe, schon von einem Tausendstel Ampere an, und werden dann als *Milliamperemeter* bezeichnet. Was wir als Stromstärke definiert haben, ist also dadurch ohne Schwierigkeit meßbar geworden.

Wovon hängt es nun aber ab, ob ein Strom stark oder schwach ist, von welchen Umständen wird die Stärke eines Stromes bedingt?

Zunächst offenbar vom *Stromerzeuger*. Es ist nicht gleichgültig, ob wir ein Voltasches Element oder ein Leclanché-Element oder einen Akkumulator benutzen. Wenn wir irgendwo beobachten, daß eine Bewegung stattfindet, sei es, daß wir einen Wagen fahren sehen, oder das Wasser eines Stromes fließen, oder die Luft als Wind sich bewegen, immer muß eine treibende Kraft vorhanden sein, welche die Bewegung hervorbringt. Diese treibende Kraft besitzen nun eben gerade unsere Elemente. Woher sie diese treibende Kraft in sich haben, wollen wir später genauer besprechen; sie wird bei den galvanischen Elementen durch die chemischen Prozesse, die in ihnen stattfinden, geliefert. Wir wollen die treibende Kraft, die also den Strom zum Fließen bringt, die *elektromotorische Kraft* nennen. Ein jedes galvanische Element besitzt also eine bestimmte elektromotorische Kraft. Je größer nun die elektromotorische Kraft des Stromerzeugers ist, umso größer ist bei sonst gleichen Umständen auch die Stromstärke.

Aber außer von der elektromotorischen Kraft hängt die Stärke eines Stromes noch wesentlich davon ab, wie beschaffen die Drähte und die Flüssigkeiten sind, in denen er fließt. In der Tat haben wir schon oben davon gesprochen, daß alle Körper dem Durchgang der Elektrizität einen gewissen Widerstand entgegensetzen, die Isolatoren einen außerordentlich großen, die Halbleiter einen kleineren, die Leiter einen sehr kleinen. *Je größer nun der Widerstand ist, den ein Strom in seiner gesamten Bahn zu überwinden hat, desto geringer ist die Stärke des Stromes.* Es hängt also die Stromstärke außer von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle noch ab von dem gesamten Widerstande, den der Strom in seiner Bahn zu überwinden hat. Dieser Widerstand setzt sich aber aus verschiedenen Teilen zusammen. Er besteht aus dem Widerstand, den

DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

das Element selbst, also seine Metalle und seine Flüssigkeiten, dem Strom darbieten, und er besteht aus dem Widerstand des Verbindungsdrahtes resp. aller der Drähte, durch die der Strom zu fließen hat, also z. B., wenn der Strom durch unser Amperemeter geht, auch aus dem Widerstand des Drahtes desselben. Was wir speziell unter Widerstand verstehen, werden wir nachher auseinandersetzen. Jedenfalls haben wir den Satz:

● *Je größer die elektromotorische Kraft der Stromquelle ist, umso größer, und je größer der gesamte Widerstand des Stromkreises ist, umso geringer ist die Stärke des Stromes.* Wird der gesamte Widerstand doppelt, dreifach, vierfach so groß, als er war (während die elektromotorische Kraft ungeändert bleibt), so wird die Stärke des Stromes bloß die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel von der ursprünglichen.

Dieses Gesetz, das von höchster Wichtigkeit für die gesamte Elektrizitätslehre ist, nennt man das *Ohmsche Gesetz*.

Wir können es in folgender einfacher Form aussprechen:

● *In jedem einfachen geschlossenen Stromkreise ist die Stromstärke gleich der elektromotorischen Kraft dividiert durch den ganzen Widerstand:*

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}$$

Dieses Ohmsche Gesetz gilt für jeden galvanischen Strom, wenn man nur alle in einem Stromkreis vorhandenen elektromotorischen Kräfte und alle Widerstände berücksichtigt.

Was nun die beiden neu eingeführten Größen betrifft, die elektromotorische Kraft und den Widerstand, so werden wir diese in verschiedenen Fällen nun einfach bestimmen können, ebenfalls mit Hilfe unseres Amperemeters. Fassen wir zunächst den *Widerstand* ins Auge. Wir nehmen ein Element mit bestimmter elektromotorischer Kraft, z. B. ein Leclanché-Element, und lassen den Strom von ihm durchgehen, einmal durch Drähte von verschiedener Länge, dann durch solche von verschiedenem Querschnitt, dann durch solche von verschiedenem Material; dann finden wir am Amperemeter immer verschiedene Stromstärken. Je kleiner diese Stromstärken sind, umso größer ist dann der Widerstand des Stromkreises, da ja die elektromotorische Kraft immer dieselbe ist. Wir können auf diese Weise ganz direkt bestimmen, wie der Widerstand eines Drahtes abhängt von seiner Länge, seinem Querschnitt und von seinem Material. So hat man gefunden:

● *Der Widerstand eines Drahtes ist umso größer, je länger der Draht ist und je kleiner sein Querschnitt ist.*

Die *Form* des Querschnitts, ob er kreisförmig oder viereckig oder unregelmäßig ist, ist gleichgültig. Nur auf die *Größe* des Querschnitts kommt es an.

Der Widerstand hängt aber auch wesentlich ab von der Art des Stoffes, aus welchem der Leiter besteht. Ein Quecksilberfaden von z. B. 1 m Länge und

ERSTES KAPITEL

1 qmm Querschnitt hat einen anderen Widerstand als ein Aluminiumdraht von derselben Länge und demselben Querschnitt. Legt man daher z. B. den Widerstand eines Quecksilberfadens von einer bestimmten Länge und 1 qmm Querschnitt als Einheit zugrunde, so kann man für jedes andere leitende Material eine Zahl bestimmen, welche angibt, wievielmals dessen Widerstand bei derselben Länge und demselben Querschnitt größer oder kleiner ist. Diese Zahl nennt man den *spezifischen Widerstand* des Leiters, bezogen auf Quecksilber als Einheit. Wir werden weiter unten Tabellen über die spezifischen Widerstände vieler Metalle und anderer Leiter geben. Hier sei nur als Beispiel angeführt, daß der spezifische Widerstand von Eisen 0,10 ist, bezogen auf Quecksilber als Einheit, der von Graphit 12,0. Das heißt also, ein Eisendraht hat immer bloß etwa den zehnten Teil des Widerstands wie ein Quecksilberfaden von derselben Länge und demselben Querschnitt, ein Graphitfaden aber einen zwölfmal so großen.

Wir können also jetzt das Gesetz aussprechen:

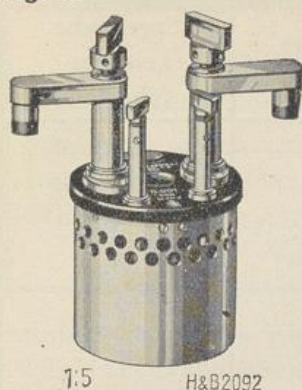
- *Der Widerstand eines Leiters ist gleich seinem spezifischen Widerstand, multipliziert mit seiner Länge, dividiert durch seinen Querschnitt:*

$$\text{Widerstand eines Leiters} = \text{spezifischer Widerstand} \times \frac{\text{Länge}}{\text{Querschnitt}}$$

Dies gilt für Leiter jeder Art, sowohl für feste Leiter — wie Metalle, Kohle — als für flüssige Leiter, also auch für die Flüssigkeiten in galvanischen Elementen; denn auch bei einer Flüssigkeit, obwohl sie nicht die Form eines Drahtes hat, kann man von der Länge und dem Querschnitt des durchflossenen Leiters sprechen.

Da nun der Widerstand eines Drahtes eine Größe ist, die nur von seiner Form und seinem Material abhängt, gar nicht von dem Strom, der durch ihn hindurchfließt, so kann man irgend einen beliebigen Widerstand als Einheit nehmen, ihn benennen und nun alle Widerstände in dieser Einheit ausdrücken. Das ist auch tatsächlich geschehen und auch wieder durch internationale Übereinkunft in allen Ländern gesetzlich festgelegt. *Als Einheit des Widerstandes nimmt man den Widerstand eines Quecksilberfadens von 106,3 cm Länge und 1 qmm Querschnitt (bei der Temperatur 0° C) und bezeichnet diese Einheit als 1 Ohm.* Alle Widerstände werden also in Ohm ausgedrückt. Man hat das Quecksilber als Normalsubstanz gewählt, weil dieses von allen Metallen allein sich in vollständiger Reinheit darstellen läßt. Die Länge von 106,3 cm hat das Reichsgesetz auf Wunsch der Physik angenommen, statt etwa der bequemer zu merkenden Länge von 100 cm, weil die Physik in dieser Festsetzung Vorteile hat, um die verschiedenen elektrischen und magnetischen Einheiten in einfacher Weise aufeinander zu beziehen. Zum Gebrauch bei Messungen stellen die Fabriken *Normalohm* her, welche aus Rollen mit Manganindrähten bestehen, deren Länge so abgemessen ist, daß ihr Widerstand gerade 1 Ohm ist. **Fig. 13**

Fig. 13



zeigt ein solches Normalohm. Im Inneren der Büchse befindet sich der abgemessene Manganindraht, dessen Enden mit den oben sichtbaren Klemmen durch Lötung verbunden sind.

Um den *spezifischen Widerstand* der Stoffe durch bestimmte Zahlenwerte zu charakterisieren und diese zugleich in Beziehung zu dem Ohm, der Widerstandseinheit, zu bringen, ist man übereingekommen, als *den spezifischen Widerstand einer Substanz den Widerstand, in Ohm ausgedrückt, zu bezeichnen, welchen ein Draht aus dieser Substanz von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt besitzt* (bei mittlerer Temperatur, 18°).

Da das Ohm gleich dem Widerstand eines Quecksilberfadens von 106,3 cm Länge und 1 qmm Querschnitt ist, so ist danach der spezifische Widerstand des Quecksilbers bei 0° gleich $\frac{1}{1,063} = 0,947$. Bei 18° ist er etwas größer, nämlich = 0,958.

Das Umgekehrte des spezifischen Widerstandes nennt man die *spezifische Leitungsfähigkeit*. Wenn z. B. der spezifische Widerstand des Bleis 0,20 ist, so ist die spezifische Leitungsfähigkeit desselben $\frac{1}{0,20} = 5,0$.

Die spezifischen Widerstände und Leitungsfähigkeiten einiger Metalle sind in der folgenden Tabelle angegeben, gültig für die Temperatur 18°.

Wegen der praktischen Anwendungen sind in der Tabelle auf der nächsten Seite noch der spezifische Widerstand und die spezifische Leitungsfähigkeit einiger Kohlen und einiger Metallegierungen angegeben.

Namen der Leiter	Spezifischer Widerstand (Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt in Ohm)	Spezifische Leitungsfähigkeit
Aluminium	0,031	32,3
Blei	0,20	5,0
Eisen	0,10—0,15	6,7—10
Gold	0,022	45
Kupfer	0,017	58,8
„ (reinstes)	0,0162	61,7
Quecksilber	0,958	1,044
Silber	0,016	62,5
Zink	0,062	16,0

ERSTES KAPITEL

Namen der Leiter	Spezifischer Widerstand	Spezifische Leitungsfähigkeit
Graphit	13	0,07
Gaskohle	etwa 50	0,02
Neusilber	0,36—0,38	2,6—2,8
Nickelin (60 Kupfer, 19 Zink, 19 Nickel, Eisen)	0,40	2,5
Konstantan (60 Kupfer, 40 Nickel)	0,488	2,05
Manganin (84 Kupfer, 12 Mangan, 4 Nickel)	0,42	2,4
Kruppin (Eisennickellegierung)	0,85	1,19

Je größer die spezifische Leitungsfähigkeit eines Stoffes ist, desto besser leitet er den galvanischen Strom. Man sieht also aus diesen Zahlen, daß Silber den Strom am besten leitet, nachher kommt gleich Kupfer. Graphit und Gaskohle leiten den elektrischen Strom siebenhundert-, ja dreitausendmal schlechter als Kupfer, trotzdem sind sie noch ganz gute Elektrizitätsleiter. Die gute Leitungsfähigkeit des Kupfers ist der Grund, warum man die elektrischen Ströme meistens durch Kupferdrähte gehen läßt. Für lange Leitungen, für Telegraphenleitungen, ist das Kupfer allerdings zu teuer, und man bedient sich dann der Eisen- oder Bronzedrähte, deren Kosten viel geringer, deren Leitungsfähigkeit, aber auch nur ungefähr der sechste Teil von der des Kupfers ist. Zuweilen benutzt man auch statt der Kupferdrähte vielmehr Aluminiumdrähte für elektrische Leitungen, die, weil das Aluminium nur eine halb so große Leitfähigkeit besitzt wie das Kupfer, zwar doppelt so großen Querschnitt haben müssen wie Kupferdrähte von demselben Widerstand, aber trotzdem ein viel geringeres Gewicht haben, was bei der Aufhängung von Drähten an Masten stark in Betracht kommt. Für Leitungsseile empfiehlt es sich, Stahldrähte und Aluminiumdrähte zusammen zu einem Seil zu drehen, da durch die Stahldrähte die Festigkeit des Seiles größer wird.

Die *Flüssigkeiten*, die überhaupt den elektrischen Strom leiten (außer dem Quecksilber), haben sehr viel größeren spezifischen Widerstand als die Metalle, ihre Leitungsfähigkeit ist sehr klein. Die leitenden Flüssigkeiten sind Lösungen von Salzen und Säuren in Wasser. Die spezifische Leitungsfähigkeit derselben hängt von ihrer Konzentration ab, sie ist eine andere bei einer Kupfervitriollösung, die 5 Proz. Kupfervitriol enthält, als bei einer, die 10 Proz. enthält. Die folgenden Zahlen geben für einige Flüssigkeiten ebenso die spezifische Leitungsfähigkeit (das Reziproke des Widerstandes eines Flüssigkeitsfadens von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt).

(Unter einer Normallösung versteht man eine Lösung, die so viel Gramm der

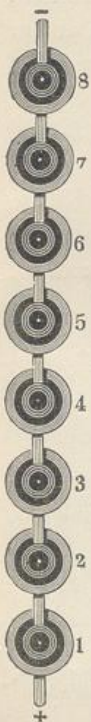
Name der Flüssigkeit	Spezifische Leitungsfähigkeit
Schwefelsäure von 30,0 Proz.	0,000 073 98
Bittersalzlösung mit 42,4 Proz. Bittersalz	0,000 004 922
Chlorkaliumlösung, normal	0,000 009 822
„ $\frac{1}{50}$ normal	0,000 000 240

Substanz in 1 Liter Wasser enthält, als das Molekulargewicht angibt; eine normale Chlorkaliumlösung enthält also 74,59 g Chlorkalium in 1 Liter Wasser, eine $\frac{1}{50}$ Normallösung nur 1,492 g Chlorkalium in 1 Liter Wasser.)

Vollkommen reines Wasser leitet den elektrischen Strom fast gar nicht, ist also ein fast vollkommener Isolator. Aber die geringsten Beimengungen von fremden Stoffen genügen schon, um Wasser ziemlich gut leitend zu machen.

Zwischen den Metallen und den Flüssigkeiten besteht der wesentliche Unterschied, daß bei den Metallen bei höherer Temperatur der Widerstand größer wird, bei den Flüssigkeiten dagegen kleiner. Die Kohle verhält sich wie die Flüssigkeiten. Bei höherer Temperatur hat sie einen kleineren Widerstand als bei niedrigerer.

Fig. 14



Wenn zwei Leiter aneinander grenzen und der Strom zwischen ihnen übergehen soll, so muß die Verbindung beider Leiter sehr gut sein, weil sonst der Strom (wegen der Oxydschichten) einen sehr großen Widerstand an der Trennungsstelle findet. Man nennt ihn den *Übergangswiderstand*. Am besten lötet man daher die Metalle aneinander. Gewöhnlich aber klemmt man die Enden zweier (blank geputzten) Drähte durch Schrauben fest, damit sie sich vollkommen berühren. Bei der Kohle insbesondere ist es sehr auffällig, wie sehr eine schlechte Berührung zweier Kohlen (wegen der körnigen Struktur) den Widerstand erhöht. Ein ganz geringer Druck auf die Berührungsstelle zweier Kohlen verringert den Übergangswiderstand schon sehr bedeutend. In dem *Mikrophon*, das später besprochen werden soll, ist davon eine sehr wichtige Anwendung gemacht.

Wir sind jetzt bereits in der Lage, eine wichtige Folgerung in bezug auf den Widerstand von galvanischen Elementen selbst zu machen. Den Widerstand eines Stromerzeugers, eines Elements, selbst nennt man seinen *inneren Widerstand*.

Wenn man eine Reihe von galvanischen Elementen hat, z. B. acht Trokenelemente, so kann man diese zunächst so verbinden wie in Fig. 14. Es ist bei dieser Anordnung immer die positive Platte (die Kohle) des einen Elements mit der negativen (dem Zink) des anderen verbunden. Der innere Widerstand dieser ganzen Kette ist offenbar der achtfache eines einzelnen Elements, weil der Strom jetzt die

ERSTES KAPITEL

achtfache Länge der Flüssigkeit bei gleichem Querschnitt zu durchlaufen hat. In einer solchen Kette sind die Elemente, wie man sagt, *hintereinander geschaltet*. Man kann aber eine Reihe von Elementen auch anders verbinden, nämlich so, daß man alle positiven Platten miteinander verbindet und ebenso alle negativen. Eine solche Anordnung ist in **Fig. 15** dargestellt. Man sagt dann, die Elemente seien *nebeneinander geschaltet* oder *parallel geschaltet*. Hier sind die Verhältnisse ganz andere. Alle die positiven Platten (die Kohlen) bilden zusammen eine große Kohlenmasse und alle die Zinke eine große Zinkmasse, die der Kohlenmasse gegenübersteht. Denkt man sich alle Flüssigkeiten und Metalle zusammen in einem Gefäß, so ist der Querschnitt der Flüssigkeiten, durch den der Strom fließt, jetzt achtmal so groß wie bei einem einzigen Element, weil eben der Strom zugleich durch alle parallel geschalteten Elemente hindurchfließt, von der — Schiene zur + Schiene. Der Widerstand dieser ganzen Batterie ist also nur der achte Teil von dem eines einzigen Elements.

● Durch Parallelschalten von Elementen wird also der innere Widerstand verkleinert, durch Hintereinanderschalten vergrößert.

Dasselbe gilt übrigens allgemein von Widerständen aller Art.

Haben wir z. B. sieben Drähte, alle von gleichem Widerstand, und verbinden wir sie wie in **Fig. 16**, so ist der Widerstand dieser zusammenhängenden Drähte der siebenfache von jedem einzelnen. Der Draht hat eben die siebenfache Länge. Die Drähte sind dabei *hintereinander geschaltet*.

Verbinden wir aber die Drähte wie in **Fig. 17**, so ist der Widerstand der sieben Drähte zusammen gegen den Strom bloß ein Siebentel von dem jedes einzelnen. Man kann sich nämlich die sieben Drähte zusammengelegt denken zu einem Draht von siebenfach so großem Querschnitt. Die Drähte sind dabei *parallel* oder *nebeneinander geschaltet*.

Außer der Stromstärke und dem Widerstand haben wir als dritte Größe bei jedem Strom die *elektromotorische Kraft* zu betrachten.

Das Ohmsche Gesetz setzt uns nun in den Stand, die elektromotorischen Kräfte von Stromerzeugern miteinander zu vergleichen und sogar sie in einer bestimmten Einheit auszudrücken. In der Tat ist ja nach diesem Gesetz die

$$\text{elektromotorische Kraft} = \text{Stromstärke} \times \text{Gesamtwiderstand}.$$

Haben wir also etwa von einem Akkumulator einen Strom erzeugt und

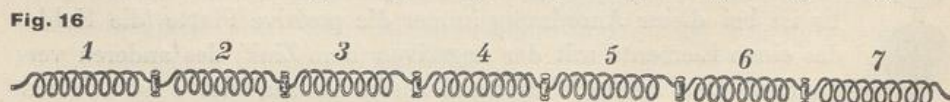
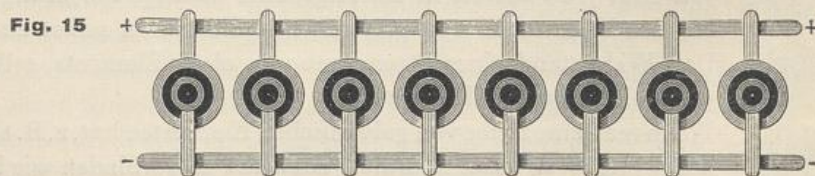
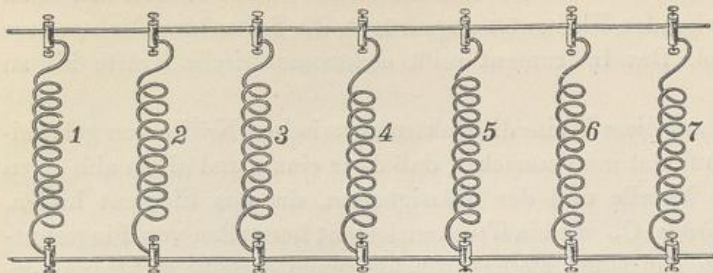


Fig. 17

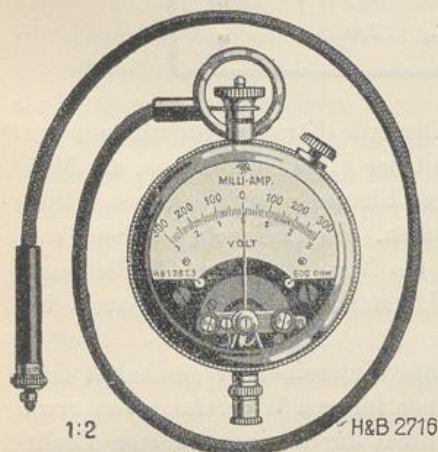


messen wir die Stromstärke mit einem Amperemeter und bestimmen wir den gesamten Widerstand (des Elementes selbst und der äußeren Verbindungsdrähte) in Ohm (durch Messung oder Berechnung), dann haben wir sofort die elektromotorische Kraft des Akkumulators, der den Strom erzeugt. Und zwar ist, wenn wir die Stromstärke in Ampere, den Widerstand in Ohm angeben, die *elektromotorische Kraft bereits in einer bestimmten Einheit ausgedrückt*, welche man ein *Volt* nennt. Es ist also immer

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Volt} &= 1 \text{ Ampere} \times 1 \text{ Ohm} \\
 \text{oder } 1 \text{ Ampere} &= \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}, \quad 1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampere}}
 \end{aligned}$$

Praktisch wird die elektromotorische Kraft eines Elementes am einfachsten bestimmt, wenn man ein geeichtes Galvanometer, also ein Amperemeter benutzt, das einen großen bekannten Widerstand besitzt, von z. B. 100 Ohm. Denn gegen diesen großen Widerstand ist der innere Widerstand des Elements zu vernachlässigen, und aus dem Ohmschen Gesetz folgt dann, daß die gesuchte elektromotorische Kraft gleich der gemessenen Stromstärke multipliziert mit dem Widerstand des Schließungskreises, d. h. hier des Galvanometers, ist.

Fig. 18



Kennt man die Ausschläge des Instruments in Ampere und diesen Widerstand in Ohm, so kennt man sofort die elektromotorische Kraft des gemessenen Elements in Volt, da die Zahl der Volt gleich dem Produkt aus den Ampere und den Ohm ist. Da bei gegebenem Widerstand des Instruments jeder Teilstrich der Skala einer bestimmten Anzahl Volt entspricht, so teilt man für diese Zwecke die Skala gleich in Volt ein und nennt derartige Instrumente *Voltmeter*. Eine bequeme Form eines solchen Voltmeters zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft einzelner Elemente zeigt **Fig. 18**. Das

ERSTES KAPITEL

Voltmeter hat die Form einer Taschenuhr. Die untere Spitze wird an den einen Pol des zu untersuchenden Elementes angedrückt, die Spitze der Drahtschnur an den anderen Pol. Das Instrument mißt elektromotorische Kräfte bis zu 3 Volt.

Bestimmt man nun auf diese Weise die elektromotorischen Kräfte von galvanischen Elementen, so findet man zunächst, daß diese einzig und allein abhängen von der *Natur* der Metalle und der Flüssigkeiten, die das Element bilden, *gar nicht von ihrer Größe*. Ob wir ein Trockenelement herstellen von Fingerhutgröße oder eines von 1 m Höhe, sie haben beide genau dieselbe elektromotorische Kraft (der innere Widerstand ist aber bei beiden verschieden). Daraus folgt zunächst, daß eine Batterie aus einer beliebigen Anzahl *parallel* geschalteter galvanischer Elemente, wie in Fig. 15, nur dieselbe elektromotorische Kraft besitzt wie ein einzelnes Element. Denn alle positiven Platten sind miteinander verbunden und bilden eine große positive Platte, alle negativen Platten sind miteinander verbunden und bilden eine große negative Masse. Da es auf die Größe der Metalle nicht ankommt, so hat eine solche Batterie also nur dieselbe elektromotorische Kraft wie ein einzelnes Element (aber der innere Widerstand ist, wie wir gesehen haben, viel kleiner). Bei demselben Gesamtwiderstand erzeugt sie also nur denselben Strom wie ein einzelnes Element. Wenn wir dagegen eine Batterie von acht *hintereinander* verbundenen Elementen haben, wie in Fig. 14, so ist deren elektromotorische Kraft achtmal so groß wie die eines einzelnen Elementes. Bei demselben Gesamtwiderstand erzeugt diese einen achtmal so starken Strom wie ein einzelnes Element.

Die auf solche Weise durch Messungen gefundenen elektromotorischen Kräfte der oben (S. 7 ff.) angeführten Elemente sind folgende:

Volta	1,08—1,12 Volt
Leclanché	1,49 „
T-Element	1,5 „
Akkumulator	2,0 „

Der innere Widerstand der galvanischen Elemente hängt natürlich von der Größe des Elementes, von der Beschaffenheit der Flüssigkeiten usw. ab. Man kann deshalb für die gewöhnlich benutzten Elemente auch nur ungefähre Angaben über den inneren Widerstand machen. Ein Leclanché-Element von normaler Größe hat ungefähr 0,3 Ohm, ein Trockenelement (T-Element) 0,1—0,3 Ohm Widerstand. Der innere Widerstand eines Akkumulators ist sehr klein.

Daraus folgt z. B., daß zehn Trockenelemente hintereinander geschaltet eine elektromotorische Kraft von 15 Volt und einen inneren Widerstand von etwa 3 Ohm haben. Wenn wir diese Batterie einmal durch einen äußeren Draht

DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

schließen, der 10 Ohm Widerstand hat, dann etwa durch einen Draht, der 5 oder 1 Ohm Widerstand hat, und schließlich durch einen sehr dicken kurzen Kupferdraht, dessen Widerstand wir als 0 setzen können, so ist die entstehende Stromstärke in diesen Fällen folgende:

Widerstand des äußeren Drahtes	10	5	1	0	Ohm
Stromstärke	$\frac{15}{13} = 1,15$	$\frac{15}{8} = 1,87$	$\frac{15}{4} = 3,75$	$\frac{15}{3} = 5$	Amp.

Schalten wir dagegen die zehn Elemente parallel, so ist ihre elektromotorische Kraft nur 1,08 Volt, ihr innerer Widerstand aber 0,06 Ohm, folglich sind jetzt in den gleichen Fällen die Stromstärken

Widerstand	10	5	1	0	Ohm
Stromstärke	$\frac{1,5}{10,03} = 0,15$	$\frac{1,5}{5,03} = 0,30$	$\frac{1,5}{1,03} = 1,5$	$\frac{1,5}{0,03} = 50$	Amp.

Die Stromstärke ist also im zweiten Fall bei großen äußeren Widerständen viel kleiner als im ersten Fall, dagegen bei sehr kleinem äußerem Widerstand liefert die zweite Kombination einen viel stärkeren Strom als im ersten Fall. Wenn ein Element (oder allgemein eine Stromquelle) durch einen sehr kleinen äußeren Widerstand (Widerstand nahe gleich Null) geschlossen ist, so sagt man, das Element ist *kurzgeschlossen*, oder es finde *Kurzschluß* statt. Wenn ein solcher Kurzschluß bei starken Stromquellen unabsichtlich stattfindet, so werden die Stromstärken so groß, daß sie eine Quelle von hoher Gefahr bilden.

Um nun in die Eigenschaften elektrischer Ströme noch weiter einzudringen, müssen wir eine Betrachtung anstellen, die bei Strömen aller Art und überhaupt bei allen Bewegungen gültig ist.

Immer, wenn wir einen Körper sich bewegen sehen, finden wir, daß ein Zugunterschied oder ein Druckunterschied auf beiden Seiten des bewegten Körpers vorhanden ist. Wenn ein Wagen, von einem Pferde gezogen, sich bewegt, so ist vorn eben der Zug vorhanden und hinten kein Zug. Infolge des Zugunterschiedes bewegt sich der Wagen. Würde hinten ein Pferd ebenso stark ziehen, so würde der Wagen in Ruhe bleiben. Wenn Wasser fließt, so ist immer hinten höherer Druck vorhanden als vorne. Infolge des Druckunterschiedes fließt das Wasser. Wenn an zwei Orten verschiedener Barometerstand herrscht, so entsteht ein Wind, es bewegt sich die Luft vom höheren Luftdruck zum geringeren. Ganz ebenso werden wir auch hier bei einem elektrischen Strom einen Zugunterschied oder einen Druckunterschied anzunehmen haben an je zwei Stellen, nämlich an derjenigen, von der der Strom kommt, und an derjenigen, nach der er hinfließt. Da wir nicht genau wissen, ob hier wirklich ein Druckunterschied, wie bei Wasser oder Wind, oder ein Zugunterschied, wie bei dem Wagen, vorhanden ist, so brauchen wir ein neutrales Wort, nämlich *Spannungsunterschied* oder kurzweg *Spannung*.

ERSTES KAPITEL

Also wenn bei einem geschlossenen Beutelement der Strom im äußeren Stromkreis von der Kohle zum Zink fließt, so müssen wir behaupten, daß der Kohlepol und der Zinkpol einen gewissen Spannungsunterschied besitzen. Dieser Spannungsunterschied treibt den Strom durch den *äußeren* Stromkreis, er ist also nach dem Ohmschen Gesetz gleich der Stromstärke mal dem Widerstand des äußeren Stromkreises. Dieser Spannungsunterschied ist nicht etwa gleich der elektromotorischen Kraft. Denn er treibt ja den Strom bloß durch den äußeren Stromkreis, während die elektromotorische Kraft ihn durch den äußeren *und* den inneren Kreis treibt.

Ebenso gilt für jedes einzelne Stück des Stromkreises, für jedes Drahtstück, daß an den Endpunkten des Drahtstückes ein Spannungsunterschied vorhanden sein muß, damit eben der Strom durch das Drahtstück fließt, und zwar ist die Spannung höher an demjenigen Ende des Drahtstückes, von dem aus der Strom zum andern Ende fließt. Der Spannungsunterschied ist gleich der Stromstärke mal dem Widerstand des Drahtstückes. Dies kann man zweckmäßig so ausdrücken: Beim Durchströmen durch ein Drahtstück verliert der Strom an Spannung, *erleidet er einen Spannungsverlust*, welcher gleich ist der Stromstärke multipliziert mit dem Widerstand des Drahtstückes. Die Überwindung eines jeden Widerstandes durch den Strom ist also mit einem bestimmten Spannungsverlust verbunden, der umso größer ist, je größer der überwundene Widerstand ist.

Den Spannungsunterschied an den Polen eines *geschlossenen* Elementes nennt man gewöhnlich die *Klemmenspannung*. Sie ist nicht etwa gleich der elektromotorischen Kraft des Elementes, da sie ja den Strom bloß durch den äußeren Widerstand treibt. Vielmehr ist die Klemmenspannung kleiner als die elektromotorische Kraft um den Spannungsverlust im Innern des Elementes, d. h. um das Produkt aus der Stromstärke und dem inneren Widerstand des Elements.

Die Einführung dieses neuen Begriffes, des Spannungsunterschiedes, wird uns nun dazu dienen, auch kompliziertere Verhältnisse von elektrischen Strömen leicht zu verstehen. Bisher betrachteten wir nämlich immer einen einfachen geschlossenen Kreis, in dem der Strom fließt. Man braucht aber für elektrische Untersuchungen und Anwendungen oft einen allgemeineren Fall. Man läßt nämlich den Strom durch eine *verzweigte* Leitung gehen, wie sie am einfachsten in **Fig. 19** dargestellt ist. Darin kommt der elektrische Strom in der Richtung des Pfeiles aus dem Element Q, fließt zuerst, wie gewöhnlich, bis a, dann aber verzweigt er sich und fließt sowohl durch d als durch b in der Richtung der Pfeile, bis er nach c kommt. Dort vereinigen sich die beiden Stromzweige wieder, und nun fließt der Strom zum Element zurück. Man sagt in solchen Fällen, es existiere eine *Stromverzweigung*.

Während in einem unverzweigten Stromkreise überall dieselbe Stromstärke herrscht, ist das hier nicht mehr der Fall, *vielmehr herrschen in den verschiedenen Zweigen des Stromkreises verschiedene Stromstärken*.

DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

Die Stromstärke im Zweige $c Q a$ ist eine andere als im Zweige $a b c$ und diese wieder eine andere als im Zweige $a d c$, wie man jederzeit erkennen kann, wenn man ein Amperemeter in jeden der drei Zweige bringt.

Die beiden Drähte $a b c$ und $a d c$ werden wir, nach unserer früheren Bezeichnung (S. 18), als *parallel* zueinander geschaltet bezeichnen müssen. Der Strom fließt gleichzeitig durch den einen und den anderen hindurch, und da der Spannungsunterschied zwischen a und c ein bestimmter ist, so sieht man sofort ein, daß, wenn der Widerstand von $a d c$ etwa 10 mal so groß ist wie der in $a b c$, dann in $a d c$ auch bloß der zehnte Teil der Stromstärke herrschen kann wie in $a b c$, während in dem unverzweigten Teil des Stromkreises $c Q a$ eine Stromstärke herrschen muß, die gleich der Summe der Stromstärken in den beiden Zweigen ist.

Eine solche Stromverzweigung bietet nun ein außerordentlich einfaches Mittel, um den *Spannungsunterschied* an zwei Stellen eines Stromkreises zu *messen*. Man braucht nämlich nur an diese beiden Stellen eine Nebenschaltung (eine

Zweigleitung) anzulegen und in diese ein Amperemeter zu bringen, um diese Messung bequem auszuführen. Es sei also E in **Fig. 20** ein galvanisches Element, das den Strom durch seinen Kreis $E a b$ treibt, und man wolle den *Spannungsunterschied* an den beiden Stellen a und b messen. Dann schaltet man, *parallel* zu $a b$, ein Amperemeter G ein, das großen Widerstand besitzt, etwa 100 Ohm. Vermöge des Spannungsunterschiedes von a und b wird der Strom sowohl durch $a b$ als auch durch G getrieben, und es ist dieser Spannungsunterschied (in Volt) gleich der vom Amperemeter angegebenen Stromstärke mal dem Widerstand (hier 100). Also das Hundertfache der abgelesenen Ampere ist gleich der Zahl der Volt, die zwischen a und b herrschen. Selbstverständlich wird der Spannungsunterschied zwischen a und b etwas geändert, wenn man das Galvanometer G parallel schaltet. Aber wenn der Widerstand dieses Galvanometers groß ist gegen den Widerstand von $a b$, so ist die Änderung sehr klein.

Natürlich richtet man zweckmäßig auch hier die Skala des Amperemeters so ein, daß man sie gleich in Volt einteilt. Es ist dann also ein *Voltmeter*. **Fig. 21** zeigt ein Voltmeter, das genau so eingerichtet ist wie das oben S. 11 beschriebene Amperemeter.

Fig. 19

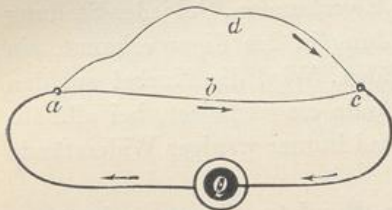


Fig. 20

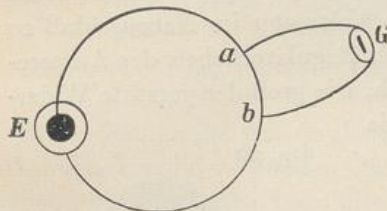
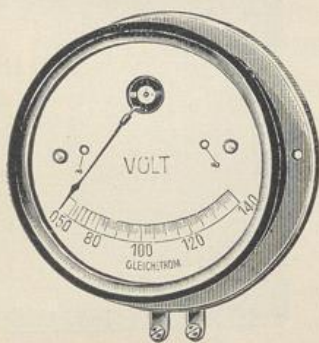


Fig. 21



ERSTES KAPITEL

Die praktische Benutzung der elektrischen Ströme erfordert eine Reihe von Einrichtungen und Apparaten, die wir hier zunächst besprechen wollen.

Um die Stromstärke, die einen Stromkreis durchfließt, leicht auf einen passenden Wert zu bringen, wie er gerade für den gewünschten Zweck angemessen erscheint, hat man ein einfaches Mittel dadurch, daß man in den Stromkreis noch außer den eigentlichen Apparaten Drähte einschaltet, deren Widerstand man beliebig ändern kann. Solche *Regulierwiderstände*, wie man sie nennt, werden, wenn es sich um größere Stromstärken handelt, häufig in einer Weise ausgeführt, die aus **Fig. 22** zu erkennen ist.

Eine Reihe von Spiralen aus Konstantan oder Nickelindraht ist in einem Rahmen befestigt. Der Anfang der ersten Spule geht in einen Kontaktknopf 1, ihr Ende und zugleich der Anfang der zweiten Spule in einen Knopf 2 aus und so fort. Alle diese Widerstände sind metallisch hintereinander verbunden. Auf diesen Knöpfen läßt sich eine starke Messingfeder durch die Kurbel M verschieben. Der eine Pol der Leitung ist mit der isolierten Klemme A und durch diese mit dem Drehpunkt K der Kurbel, also mit der Schleiffeder der Kurbel M, der andere Pol der Leitung ist mit der Klemme E verbunden. Bei jeder Stellung der Kurbel ist nun, wie man aus der Verbindung in der Figur erkennt, ein anderer Widerstand in den Stromkreis eingeführt. Wird die Kurbel auf den Anfangsknopf 1 gestellt, so sind alle Widerstände eingeschaltet, bei allmählichem Hineinschieben der Kurbel nach E zu sind immer weniger Widerstände in dem Stromkreis.

Einen solchen Apparat nennt man auch einen *Regulator* (Stromregulator). Die Verbindung einer Stromquelle mit einem Regulator, einem Amperemeter und einem Voltmeter ist in **Fig. 23** gezeichnet. Das Amperemeter und der Regulator liegen in dem Hauptstromkreis, das Voltmeter im Nebenschluß zu demselben. Liest man bei beliebiger Stellung des Regulatorhebels das Amperemeter und das Voltmeter ab, so weiß man auch, wie groß der gesamte Widerstand im äußeren Stromkreis ist. Denn es ist die

$$\text{Anzahl der Ohm} = \frac{\text{Anzahl der Volt}}{\text{Anzahl der Ampere}}$$

Die Regulierwiderstände werden jetzt häufig in der Form der **Fig. 24** ausgeführt und als *Schieberwiderstände* bezeichnet. Bei diesen ist ein blanker Konstantandraht auf Schiefer aufgewickelt, und ein fest federnd anliegender Schieber S, der auf einer Metallstange a a gleitet, kann längs des Drahtes verschoben werden. Der Draht ist mit der Klemmschraube k_1 k_2 verbunden, während die Stange a a in ihre Stütze in der Nähe von k_1 isoliert eingeführt, dagegen mit der Klemme k_2 metallisch verbunden ist. Schiebt man den

Fig. 22

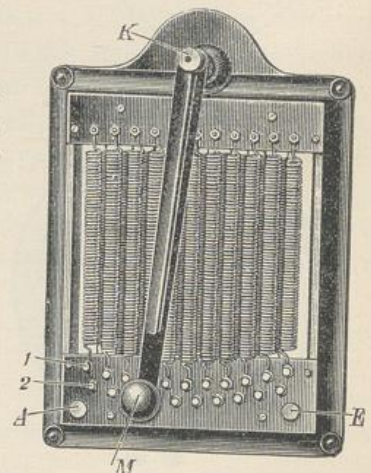


Fig. 23

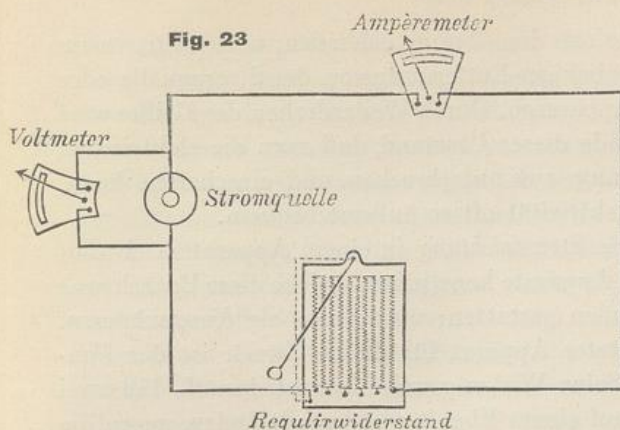


Fig. 24

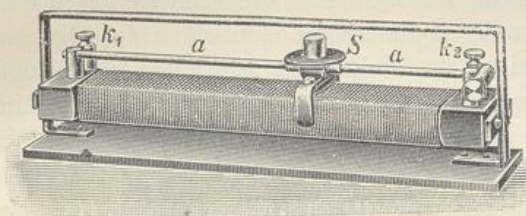
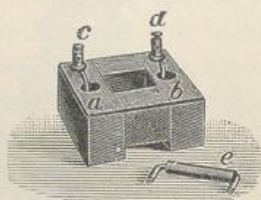


Fig. 25



Schieber von k_1 nach k_2 hin, so geht der Strom von der Klemme k_1 durch, immer mehr von den Drahtwindungen bis zum Schieber und von diesem durch a zur Klemme k_2 . Es wird also dadurch immer mehr Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet.

Um den Strom in einem Stromkreis rasch zu unterbrechen, ohne langwierige Prozeduren, braucht man nur an einer Stelle die Leitung zu unterbrechen. Der Hebel unseres Regulators (Fig. 22), wenn er ganz herausgedreht wird, bewirkt z. B. sofort Unterbrechung. In anderen Fällen benutzt man dazu einfache Vorrichtungen. Der einfachste Unterbrecher besteht, wie Fig. 25 zeigt, aus einem kleinen Brett aus Holz oder Paraffin, in welches zwei Vertiefungen (a und b) gebohrt sind, die mit Quecksilber gefüllt werden.

In die Quecksilbernäpfe tauchen Drähte ein, die mit den Klemmschrauben c und d verbunden sind. Ein mit einem Stück Kautschukschlauch umgebener Kupferbügel e kann mit seinen Enden in die Quecksilbernäpfe getaucht oder aus ihnen herausgenommen werden. Führt man also die Leitung von dem einen Pol der Stromquelle nach c und von dem anderen Pol nach d , so wird der Strom durch Einsetzen des Bügels geschlossen, durch Herausnehmen geöffnet. In anderen Fällen, namentlich bei der praktischen Benutzung der Elektrizität für Beleuchtung und ähnliche Zwecke, wendet man *Ausschalter* von der Form an, wie sie Fig. 26 geöffnet zeigt. Hier sieht man ein an dem Griff befestigtes ebenes Metallstück S , das beim Drehen des Griffes entweder auf den beiden federnden Metalldrähten F , von denen einer in der Figur sichtbar ist, aufliegt oder frei in der Luft sich befindet. Die Federn sind mit den beiden Leitungsdrähten verbunden. Durch Drehen des Griffes bewirkt man also abwechselnd Kontakt oder Unterbrechung. Die ganze Kontaktvorrichtung befindet sich in einer Hülle von Holz, Porzellan oder Metall. Durch eine bloße Drehung

ERSTES KAPITEL

des Griffes kann man daher sofort den Strom schließen, und zwar, wenn die Leitung lang genug ist, in beliebiger Entfernung von der Stromquelle oder irgendwelchen eingeschalteten Apparaten. Durch Weiterdrehen des Griffes wird der Strom wieder geöffnet. Gerade dieser Umstand, daß man die elektrischen Ströme von beliebiger Entfernung aus unterbrechen und einschalten kann, macht die Anwendungen der Elektrizität oft so äußerst bequem.

Ferner ist es oft erwünscht, die Stromrichtung in einem Apparat rasch umkehren zu können. Man hat dazu Apparate konstruiert, welche diese Umkehrung durch eine Bewegung vorzunehmen gestatten; man nennt sie *Kommutatoren*. Ein einfacher und häufig benutzter Apparat für diesen Zweck ist der *Foucaultsche Kommutator*, **Fig. 27**. Seine Wirkungsweise beruht darauf, daß zwei Metallwülste e und d, die sich auf einem Ebonitzylinder c befinden, gegen die Metallbleche l und k gedrückt werden, und zwar entweder e gegen l und d gegen k oder, durch eine Drehung des Zylinders, umgekehrt e gegen k und d gegen l. Die metallische Achse des Zylinders ist nämlich in der Mitte unterbrochen, und ein Teil steht mit d, der andere mit e in leitender Verbindung. Die Wirkung des Kommutators ist sonst aus der Figur leicht verständlich. Liegt der Zylinder, wie in der Figur gezeichnet ist, so geht der positive Strom

von g durch das metallische Lager nach dem Wulst e, dann durch l und i und durch den Draht r von i nach h, dann durch k zu d und durch die Achse zu f. Wird der Zylinder aber umgelegt, so geht der Strom von g durch e nach k und h, dann durch den Draht r von h nach i und dann durch l, d und durch die Achse nach f und zum Element zurück.

Im Draht r hat also der Strom das eine Mal die entgegengesetzte Richtung wie das andere Mal.

Ist der Zylinder so gestellt, daß e und d gerade sich oben und unten befinden, also nicht gegen k und l drücken, so ist der Strom ganz unterbrochen, da der Zylinder nicht leitend ist.

Nachdem wir nunmehr das

Fig. 26

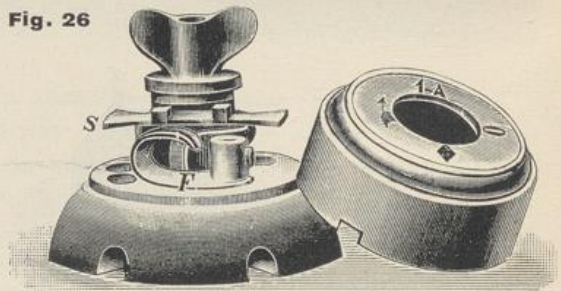
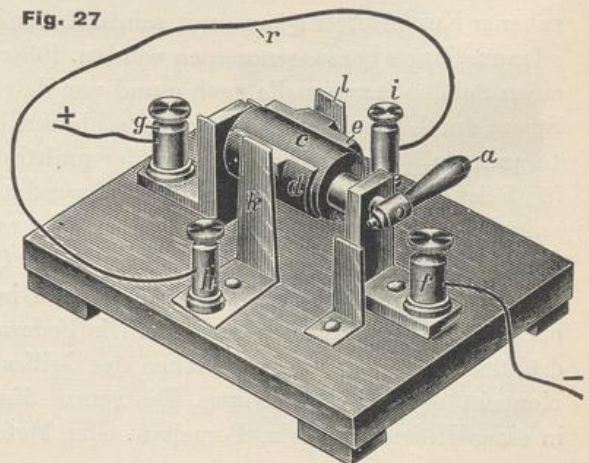


Fig. 27



DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

Hauptgesetz des elektrischen Stromes, das Ohmsche Gesetz, kennen, das bei *jedem* elektrischen Strom, mag er herkommen, wo er wolle, gilt, und nachdem uns die drei Hauptbegriffe Stromstärke, Spannung und Widerstand geläufig geworden sind, müssen wir nun versuchen, uns auch ein etwas deutlicheres Bild davon zu machen, was eigentlich ein elektrischer Strom ist. Nach vielen unvollkommenen Erklärungsversuchen ist die Anschauung jetzt allgemein akzeptiert worden, daß die Elektrizität ein besonderer Stoff sei, der ebenso ursprünglicher und unabhängiger Natur ist wie etwa der Wasserstoff und der Sauerstoff oder irgend ein anderer chemischer Stoff. Dieser Stoff ist aber ebenso in kleinste Teilchen, in *Atome* geteilt, wie nach den Lehren der Chemie alle Stoffe geteilt sind. Die Atome der Elektrizität bezeichnet man als *Elektronen* und unterscheidet zwei Arten von ihnen, positive und negative. Man bezeichnet jetzt die positiven Elektronen gewöhnlich als *Protonen* zum Unterschied von den negativen, die man allein als *Elektronen* oder umständlicher als negative Elektronen bezeichnet. Man hat viele Gründe, anzunehmen, daß die positiven Elektronen, die Protonen, immer fest mit den gewöhnlichen Atomen der Metalle verbunden sind, während die negativen Elektronen sich in den Drähten frei vorfinden und sich frei bewegen können. Die negativen Elektronen sind viel kleiner, etwa 10 000 mal kleiner (im Durchmesser) als die Atome irgend eines anderen Stoffes. Ein elektrischer Strom in einem Draht besteht nun nach unserer jetzigen Vorstellung in einer Bewegung der negativen Elektronen in dem Metalle. Man braucht sich aber nicht vorzustellen, daß ein Elektron nun etwa durch den ganzen Metalldraht eines Stromkreises hindurchläuft, etwa wie Wasser in einer Röhre. Vielmehr muß man annehmen, daß die Elektronen zwischen den Atomen des Metalls im allgemeinen nach allen Richtungen hin und her fliegen, und daß sie nur, wenn eine elektromotorische Kraft wirkt, im Mittel eine kleine Zunahme ihrer Bewegung in der Richtung des Stromes bekommen. Ein jedes Elektron wird also in einem Strom nur eine ganz kleine Fortbewegung ausführen, sich vielleicht noch nicht einmal um $\frac{1}{1000}$ mm fortbewegen, aber die Wirkung der elektromotorischen Kraft wird doch von Schicht zu Schicht übertragen und bewirkt im ganzen eine strömungsartige Bewegung der Elektronen. Die *Stärke* eines Stromes ist dann umso größer, je mehr Elektronen pro Sekunde durch einen Querschnitt des Drahtes strömen. Den Widerstand der verschiedenen Metalle kann man sich dann ganz einfach so erklären, daß er auf dem größeren oder geringeren Spielraum beruht, den die Atome des Körpers zwischen sich der Bewegung der Elektronen freilassen.

Aus dieser Auffassung eines elektrischen Stromes aber ergibt sich folgendes: Wenn an den Enden eines Drahtstückes ein Spannungsunterschied herrscht, so fließt durch dieses Drahtstück dauernd ein Strom, d. h. es gehen in jeder Sekunde eine gewisse Anzahl Elektronen von der höheren Spannung zur niederen durch jeden Querschnitt des Drahtes. Das ist ganz so, wie wenn in einem Fluß ein Höhenunterschied zwischen zwei Stellen besteht. Dann fließt dauernd das Wasser von der höheren Stelle zur niederen; es geht in jeder

ERSTES KAPITEL

Sekunde eine gewisse Menge Wasser von der höheren Stelle zur niederen. So wie ein solcher Wasserstrom einen gewissen *Effekt* besitzt, d. h. in jeder Sekunde eine Arbeit leisten kann, die gleich dem Höhenunterschied mal der pro Sekunde fließenden Wassermenge ist, so besitzt auch jeder elektrische Strom in einem Drahtstück einen Effekt, welcher gleich dem Spannungsunterschied an den Enden des Drahtstückes mal der Stromstärke ist. Dieser Effekt, also die pro Sekunde von dem Strom geleistete Arbeit, wird also in seinen Einheiten durch das Produkt aus den Volt und den Ampere gemessen. Man bezeichnet das Produkt

$$1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Ampere} = 1 \text{ Watt},$$

so daß also der Effekt eines Stromes in Watt ausgedrückt wird. Damit ein Strom diese Arbeit dauernd leisten kann, muß ihm dauernd Energie in mindestens demselben Betrage zugeführt werden. Diese Energie wird bei unseren galvanischen Elementen dadurch geliefert, daß in denselben dauernd, solange der Strom fließt, chemische Prozesse ablaufen, welche Energie nach außen, an den Strom, abgeben.

Daß in einem elektrischen Strom elektrische Teilchen sich bewegen, verknüpft die besprochenen Stromerscheinungen mit denjenigen Vorgängen, welche lange Zeit allein als elektrische Tatsachen bekannt waren, nämlich mit den Erscheinungen der sogenannten Reibungselektrizität oder besser statischen Elektrizität. Während die Elektrizität in dem Schließungskreis einer geschlossenen Batterie in strömender Bewegung ist, ist sie auf den Polen einer ungeschlossenen Batterie in Ruhe, im Gleichgewicht. Auf dem einen Pol befindet sich positive, auf dem anderen negative Elektrizität, die infolge der chemischen Vorgänge in der Batterie getrennt auftreten.

Wir sagen: die beiden Pole sind *elektrisch geladen*, der eine positiv, der andere negativ, oder: sie enthalten eine gewisse *Elektrizitätsmenge*, der eine eine positive, der andere eine negative.

Man kann aber die Elektronen beider Art außer durch chemische Wirkungen auch trennen, und das ist bereits seit dem Altertum bekannt, indem man zwei verschiedene Isolatoren aneinander *reibt*, z. B. eine Glasstange mit Leder, oder eine Ebonitstange mit Pelz. Dadurch werden die beiden geriebenen Körper elektrisch, der eine wird positiv, der andere negativ elektrisch. Man kann das zunächst durch ein knisterndes Geräusch beim Reiben erkennen. Dieses wird durch die minimalen Fünkchen hervorgebracht, die zwischen den nahe beieinander befindlichen, entgegengesetzt geladenen Körpern überspringen. Man sagt, man habe Elektrizität durch Reibung erzeugt. Richtiger ist es, zu sagen, man habe die beiden Elektrizitäten durch Reibung getrennt. Denn nach unserer Anschauung, die sich auf die Gesamtheit unserer Erfahrungen stützt, sind die beiden Elektrizitäten, die Elektronen beider Art, schon von vornherein in den Körpern vorhanden, durch das Reiben werden sie nur getrennt. An dem Bernstein (Elektron) ist diese Erzeugung von Elektrizität durch Reibung zuerst erkannt worden, und daher rührt der Name dieses ganzen Gebietes der Physik. Man kann, was eine sehr merkwürdige Eigenschaft der Elektrizität ist, durch

DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

bloße Berührung mit einem elektrischen Körper auch einen anderen, unelektrischen elektrisieren oder, wie man es nennt, *laden*. Bei Isolatoren gelingt das zunächst ohne weiteres. Bei Metallen kommt noch hinzu, daß ja die Elektrizität in einem Metall sich frei bewegen kann, so daß, wenn ein Metallkörper an einem Punkte elektrisiert wird, er sofort längs seiner ganzen Oberfläche elektrisch wird. Ist nun der Leiter sehr ausgedehnt, so muß sich natürlich der zugeführte Betrag der Elektrizitätsmenge auf eine große Fläche verteilen, die Ladung an jeder Stelle ist dann gering. Und ist der Leiter gar in Verbindung mit der Erde, die selbst ein Leiter ist, so muß sich die Ladung auf die ganze Erdoberfläche, auf eine so überaus große Fläche verteilen, daß sie an jeder Stelle verschwindend klein, also unmerkbar ist. Man drückt das so aus, daß man sagt, *die Elektrizität ist zur Erde abgeleitet*.

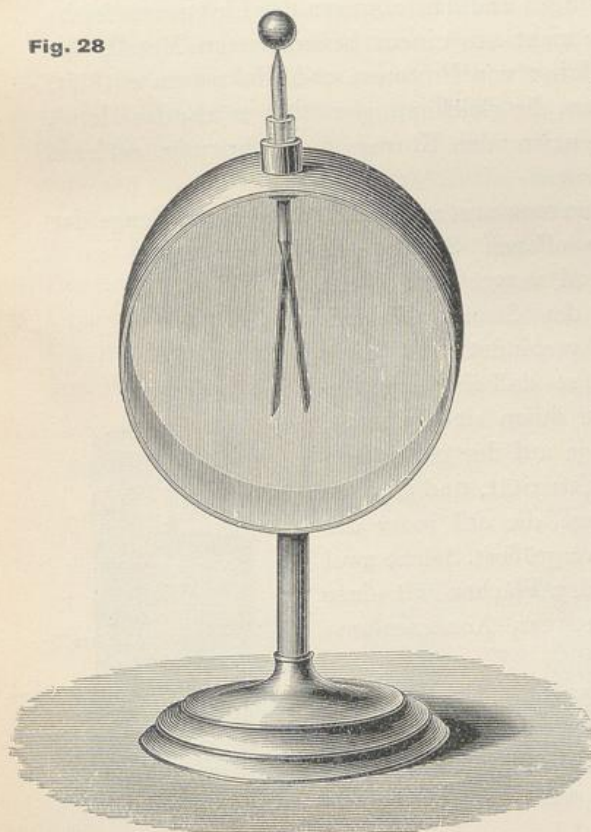
Befinden sich zwei elektrisierte Körper in der Nähe voneinander, so üben sie scheinbar Kräfte aufeinander aus, und wenn sie beweglich sind, so folgen sie diesen Kräften und bewegen sich. Die Gesetze dieser Kräfte sind schon seit langer Zeit bekannt. *Zwei ungleichnamig elektrisierte Körper ziehen sich an, zwei gleichnamig elektrisierte Körper stoßen sich ab*.

Man hänge an einem Gestell zwei Holundermarkkugeln nebeneinander auf. Berührt man beide Kugeln mit einem elektrisch gemachten Glasstab, so werden

dadurch beide in gleicher Weise elektrisch, und diese beiden in gleicher Weise elektrisierten Kugeln stoßen sich ab und beharren bei dieser Abstoßung. Auch werden beide von dem Glasstab abgestoßen.

Berührt man dagegen das eine mit einem geriebenen (positiv elektrischen) Glasstab, das andere mit einem geriebenen (negativ elektrischen) Siegellackstab, so ziehen sich die beiden Kugeln kräftig an.

Man kann umgekehrt diese beobachtbaren Kräfte dazu benutzen, um die elektrische Ladung von Körpern zu erkennen und eventuell auch ihren Betrag zu messen. Der einfachste Apparat für diesen Zweck ist das sogenannte *Goldblattelektroskop* **Fig. 28**. Man nimmt zwei leichte Streifen von Blattaluminium (früher nahm



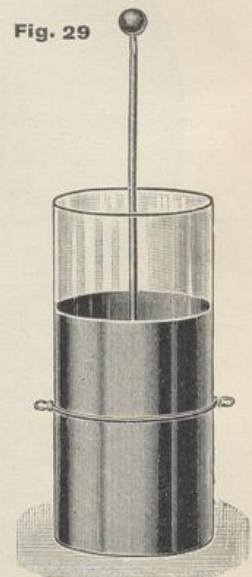
ERSTES KAPITEL

man Blattgold, daher der Name), befestigt diese an einem metallenen Stäbchen, das an seinem anderen Ende eine metallische Kugel, einen Knopf, trägt, und steckt das Stäbchen mit den Streifen *isoliert*, durch Paraffin oder Bernstein, in ein Gehäuse mit Glaswänden. Sobald der Knopf des Apparates mit einem elektrischen Körper berührt wird, verbreitet sich diese Elektrizität über das Stäbchen, und die Streifen von Blattaluminium, da diese ja Leiter sind, und die beiden leichten Streifen stoßen einander ab, da sie ja gleichnamig elektrisiert sind. Es zeigt sich also die Elektrizität eines Körpers, mit dem man den Knopf berührt, durch die Divergenz der Goldblättchen an.

Die Ladung eines elektrisierten Körpers, die ihm solche eigentümliche Eigenschaften verleiht, bringt nun, und das ist eine neue Tatsache, auch in den Körpern in der Umgebung Elektrisierung hervor. Ist z. B. eine Glaskugel im Raume frei aufgestellt und ist in dieser Kugel etwa durch Reibung Elektrizität erzeugt worden, so findet man, daß in der Nähe dieser Kugel ein Stück Metall ebenfalls elektrisch geworden ist. Man bezeichnet diese Elektrizität, die auf Körpern in der Nähe eines elektrisierten Körpers sich entwickelt, als *Influenz-elektrizität*. Bei der Influenz treten aber immer beide Arten von Elektrizität gleichzeitig in dem influenzierten Körper auf; in der Nähe des influenzierenden Körpers die ungleichnamige, entfernt von ihm die gleichnamige. Diese Influenzwirkung läßt sich aus den Anziehungen und Abstoßungen der Elektronen leicht begreifen. Ein geladener Körper zieht aus einem benachbarten Metall, das in sich immer eine ungeheure Menge von Protonen und Elektronen enthält, die ungleichnamigen Elektronen an, die gleichnamigen stößt er ab; das Metall muß daher in der Nähe des influenzierenden Körpers ungleichnamig, entfernt gleichnamig elektrisiert werden.

Vermittels der Influenzwirkung kann man nun auch die Ladungen, die Menge der Elektronen, die man von einer offenen Stromquelle an ihren Polen erhält, bedeutend vergrößern. Wenn man nämlich jeden der Pole der Stromquelle mit einer großen leitenden Fläche verbindet und diese Flächen nahe aneinander bringt, so daß eine enge isolierende Zwischenschicht zwischen ihnen sich befindet, dann influenzieren die Ladungen je auf der gegenüberliegenden Fläche noch Influenzelektrizität, und infolgedessen wird die Elektrizitätsmenge, die auf jeder der Flächen sich befindet, bedeutend vergrößert. Solche zwei nahe aneinander stehenden leitenden Flächen mit einer isolierenden Zwischenschicht nennt man *Kondensatoren* oder *Ansammlungsapparate*.

Eine zweckmäßige und seit langer Zeit viel benutzte Form für einen solchen Kondensator ist die der *Leidener Flasche*, deren Prinzip nach dem Gesagten sofort zu übersehen ist. Sie besteht (Fig. 29) aus einer Flasche aus



DER ELEKTRISCHE STROM UND SEINE GESETZE

Glas. Dieses Glas ist außen und innen bis zu etwa zwei Dritteln seiner Höhe mit Stanniolpapier, einem leitenden Körper, beklebt. Das Glas ist das isolierende Material, welches man als das *Dielektrikum* bezeichnet. Die beiden Stanniolflächen heißen die *Belegungen* der Flasche. Diese werden also mit den Polen des Elementes oder einer anderen Stromquelle verbunden.

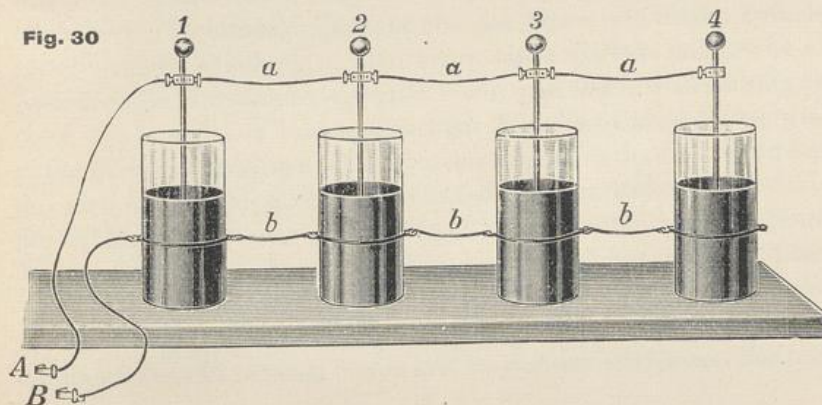
Um diese Verbindung leicht herzustellen, wird in die Glasflasche ein Metallstab mit einem Knopf gesteckt. Der Metallstab berührt durch federnde Füße die innere Stanniolplatte, die *innere Belegung*. Die *äußere Belegung*, die äußere Stanniolplatte, wird mit einem blanken Draht mit Öse umgeben. Der eine Pol der Stromquelle wird durch einen Draht mit dem Knopf des Metallstabes, also dadurch mit der inneren Belegung verbunden. Die äußere Belegung wird gewöhnlich zur Erde abgeleitet, indem man sie einfach mit der Hand umfaßt. Durch die Stromquelle wird dann die Flasche, wie man sagt, *geladen*.

Je größer die beiden Belegungen einer solchen Flasche oder allgemein eines Kondensators sind und je näher sie aneinander stehen, also je dünner das Dielektrikum ist, umso mehr Elektrizität kann sich bei gleicher Stromquelle auf jeder der Platten ansammeln, umso größer ist, wie man sagt, die *Kapazität* der Flasche.

Um die Kapazität möglichst groß zu machen, muß man das Glas sehr dünn — wobei man aber praktisch bald zu einer Grenze kommt — und die Belegungen sehr groß machen. Das letztere kann man aber einfacher erreichen, wenn man, wie in **Fig. 30**, eine Reihe von Leidener Flaschen nimmt und alle inneren Belegungen durch die Drähte *a* miteinander verbindet und ebenso alle äußeren durch die Drähte *b*. Alle inneren Stanniolplatten bilden dann zusammen eine sehr große Stanniolplatte, ebenso alle äußeren. Eine solche Reihe miteinander verbundener Flaschen nennt man eine *Leidener Batterie*. Durch A und B wird die Batterie mit der Stromquelle verbunden.

Die Ladung, die eine solche Batterie enthält, ist natürlich unter sonst gleichen Umständen umso größer, je mehr Flaschen sie enthält.

Um nun eine solche geladene Flasche oder eine Batterie zu *entladen*, muß man ihre Belegungen in leitende Verbindung bringen, etwa indem man einen Draht



ERSTES KAPITEL

an der inneren Belegung befestigt und ihn zur äußeren Belegung führt. Tut man dies aber, so springt schon ein Funke über, bevor die Verbindung noch hergestellt ist. Der Funke, der dann überspringt, ist ein laut klatschender und glänzender, weil eben auf den beiden Belegungen große Mengen von Elektronen angesammelt sind.

Die Ladung eines Kondensators ist umso größer, je größer der Spannungsunterschied seiner Belegungen und je größer seine Kapazität ist. Man mißt die Kapazität eines Kondensators direkt dadurch, daß man die auf ihm vorhandene Ladung dividiert durch den Spannungsunterschied seiner Belegungen. Als Einheit für die Kapazität nimmt man einen Kondensator, der bei einem Spannungsunterschied von 1 Volt die Einheit der Ladung, die man 1 Coulomb nennt, besitzen würde, und nennt diese Einheit 1 *Farad*. Sie ist für die meisten Zwecke viel zu groß. Deswegen braucht man gewöhnlich den millionsten Teil von ihr, 1 *Mikrofarad*, als praktische Einheit für die Kapazität.

ZWEITES KAPITEL

DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES UND IHRE ANWENDUNGEN

Was einen elektrischen Strom in einem Leiter so wesentlich unterscheidet von einem Strom gewöhnlicher Flüssigkeit, das ist die Eigenschaft, von der die erste Kunde durch *Oerstedts* Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel (oben S. 3) gewonnen wurde, die Eigenschaft, daß ein elektrischer Strom in seiner Nähe, *in seiner Umgebung* gewisse merkwürdige, und zwar magnetische, Wirkungen hervorbringt. Ein elektrischer Strom hat also nicht bloß Wirkungen in den Leitern, die er durchfließt, sondern auch Wirkungen in der Umgebung dieser Leiter. Solche Wirkungen besitzt ein Strom gewöhnlicher Flüssigkeit durchaus nicht, und das ist eine Tatsache, die den elektrischen Strom wesentlich von einem Wasserstrom unterscheidet. Seit nun *Oerstedt* die Ablenkung einer Magnetnadel als erste magnetische Wirkung eines elektrischen Stromes beobachtet hatte, hat sich die Reihe der magnetischen Wirkungen elektrischer Ströme außerordentlich erweitert. Die *Oerstedtsche* Beobachtung ist nur eine ganz spezielle aus einer großen, allgemeinen Klasse von Beziehungen zwischen dem galvanischen Strom und Magneten, die allmählich aufgedeckt wurden und die man unter dem Namen „*Elektromagnetismus*“ zusammenfaßt. Der elektrische Strom ist zunächst imstande, Magnete überhaupt zu erzeugen, unmagnetisches Eisen magnetisch zu machen.

Wenn man nämlich einen elektrischen Strom spiralförmig um einen unmagnetischen Stab weichen Eisens herumführt, so wird der Eisenstab magnetisch. Um den Versuch zweckmäßig auszuführen, umwickelt man einen Hohlzylinder von Holz mit einer Reihe von Windungen aus übersponnenem Draht, wie **Fig. 31** bei C zeigt. Die Enden dieser Drahtwindungen werden mit den Polen einer galvanischen Kette verbunden. Es fließt also der Strom um diesen Zylinder in lauter spiralförmigen Windungen. Man nennt einen solchen mit Draht umwickelten Zylinder eine *Magnetisierungsspule*. Wenn man nun in die Höhlung des Zylinders einen Stab A B aus unmagnetischem Eisen hineinbringt, so wird der Stab außerordentlich kräftig magnetisch, das eine Ende des Stabes wird ein Nordpol, das andere ein Südpol. Man erkennt das daran, daß an dem Stab jetzt z. B. ein Schlüsselbund oder eiserne Nägel kräftig haften bleiben. Sowie man den Strom unterbricht, hört der Magnetismus in dem weichen Eisen auf, das Schlüsselbund fällt wieder ab. Der Stab ist also nur durch die Wirkung des Stromes magnetisch geworden. Man nennt daher auch einen solchen Magneten, der durch den elektrischen Strom erst magnetisch wird, einen *Elektromagneten*.

ZWEITES KAPITEL

Jeder Magnetstab hat einen Nordpol und einen Südpol; es fragt sich also, welches Ende des Stabes A B wird hier ein Nordpol, welches ein Südpol? Die Beantwortung dieser Frage wird durch dieselbe *Ampèresche Schwimmerregel* gegeben, die wir schon oben angeführt haben:

Denkt man sich in dem Draht der Magnetisierungsspule in der Richtung des Stromes schwimmend, so daß man mit dem Gesicht dem Eisenstab zugewendet ist, so wird immer dasjenige Ende des Stabes ein Nordpol, welches zur linken Hand liegt. Es wird also bei einer bestimmten Richtung des Stromes das eine Ende des Stabes ein Nordpol, das andere ein Südpol. Kehrt man durch einen Kommutator die Richtung des Stromes in der Magnetisierungsspule um, so wird auch der Magnetismus in A B umgekehrt; dasjenige Ende, das vorher ein Nordpol war, wird jetzt ein Südpol und umgekehrt.

Viel kräftigere Elektromagnete erhält man, wenn man nicht einen geraden Eisenstab, sondern hufeisenartig geformtes Eisen mit Drahtwindungen umwickelt und den Strom herumsendet. In **Fig. 32** ist eine oft benutzte Anordnung gezeichnet, welche zur Hervorbringung sehr starker *Elektromagnete* dient. Zwei dicke Zylinder aus weichem Eisen stehen auf einem festen Tisch, auf welchem sie durch eine Querplatte von Eisen unten verbunden sind, so daß eine Art Hufeisen gebildet wird. Um jeden von den Eisenzylindern sind drei Magnetisierungsspulen $a^1 a^2 a^3$ und $b^1 b^2 b^3$ geschoben, durch welche der Strom hindurchgesendet werden kann. Die Spulen $a^1 a^2 a^3$ und $b^1 b^2 b^3$ werden nun so miteinander verbunden, daß der Strom in allen nach derselben Richtung fließt. Dann werden die beiden herausragenden Enden des Eisenzylinders entgegengesetzt magnetisch, der eine ein Nordpol, der andere ein Südpol.

Aus der Ampèreschen Schwimmerregel folgt, daß, wie es in **Fig. 33** gezeichnet ist, der Strom um einen Südpol, von oben gesehen, in der Richtung fließt, wie der Zeiger einer Uhr sich bewegt, um einen Nordpol entgegengesetzt dem Zeiger einer Uhr.

Sowie der Strom unterbrochen wird, hört der Magnetismus des Eisens

Fig. 31

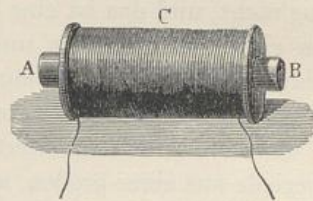
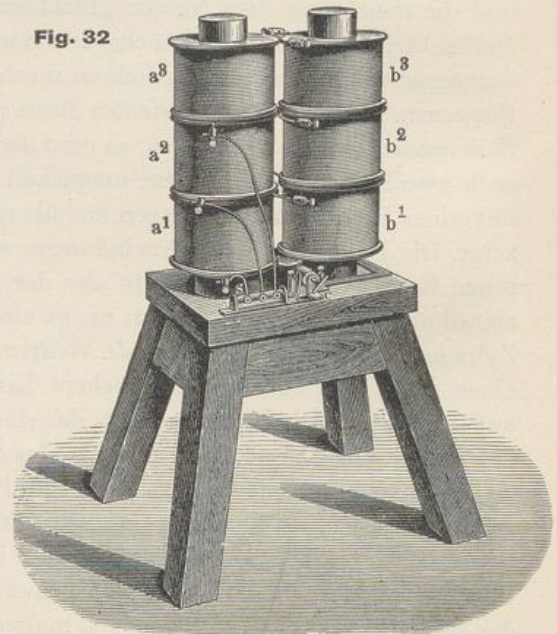


Fig. 32



DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

auf. Doch ist das nicht ganz streng richtig. Es dauert nämlich immer eine gewisse kleine, aber meßbare Zeit, bis der Magnetismus aus dem Eisenkern verschwunden ist. Man nimmt zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen an, daß in jedem, auch unmagnetischen, Eisenstücke die Moleküle stets von vornherein selbst magnetisch sind, daß sie aber alle ganz verschiedene Lagen und Richtungen haben und daß die Wirkung des Stromes darauf beruht, daß alle Moleküle des Eisens sich in dieselbe Richtung stellen. Ein Magnet ist demnach ein Stück Eisen, bei welchem alle Moleküle gleich gerichtet sind. Es wird weiter angenommen, daß bei gewöhnlichem weichem Eisen die Moleküle sich nahezu ohne weiteres in ihre neuen Lagen einstellen, daß dagegen beim Stahl es nicht leicht ist, diese Richtungsänderung hervorzubringen. Die Stahlmoleküle hängen so fest miteinander zusammen, daß jeder Richtungsänderung eine erhebliche Kraft entgegenwirkt, die man *Koerzitivkraft* nennt. Bei dem weichen Eisen dagegen ist die Koerzitivkraft sehr gering, fast verschwindend. Aber ganz ohne Koerzitivkraft ist selbst weiches Eisen nicht. Daher wird auch dieses nicht sofort in voller Stärke magnetisch, wenn der magnetisierende Strom geschlossen wird, sondern die volle Stärke entwickelt sich erst in einiger Zeit, die allerdings nur ein kleiner Bruchteil einer Sekunde ist. Ebenso wird auch weiches Eisen nicht sofort nach dem Aufhören des magnetisierenden Stromes ganz unmagnetisch, sondern es verliert seinen Magnetismus erst allmählich, wenn auch in sehr kurzer Zeit. Daraus folgt eine bemerkenswerte Tatsache. Wenn man den Strom, der um einen Eisenstab spiralförmig herumgeführt ist, allmählich verstärkt, so wird das Eisen entsprechend immer stärker magnetisch, und wenn man den Strom dann allmählich wieder abnehmen läßt, so wird es wieder schwächer magnetisch. Aber, und das ist das Neue, auf dem Hinweg, bei aufsteigendem (stärker werdendem) Strom, ist bei gleicher magnetisierender Stromstärke der erzeugte Magnetismus kleiner als auf dem Rückweg, bei absteigendem Strom. Es kommt das eben daher, daß bei aufsteigendem Strom sich die Koerzitivkraft der Magnetisierung entgegenstellt, bei absteigendem, schwächer werdendem Strom aber der Entmagnetisierung. Diese Erscheinung nennt man *Hysteresis* des Eisens (von ὁσπεῖν, hysterein, nachbleiben). Sie tritt bei vielen Anwendungen von Elektromagneten störend auf, und man muß mit dieser Eigenschaft selbst des weichsten Eisens in manchen Fällen rechnen. Man kann sich den Vorgang so vorstellen, als ob die Moleküle des Eisens bei ihrer Drehung, bei ihrer Richtungsänderung sich aneinander reiben und dadurch verhindert werden, der einwirkenden Kraft sofort zu folgen. Bei jeder Reibung aber, bei jedem Überwinden eines Widerstandes wird *Wärme* entwickelt. Es muß daher auch in weichem

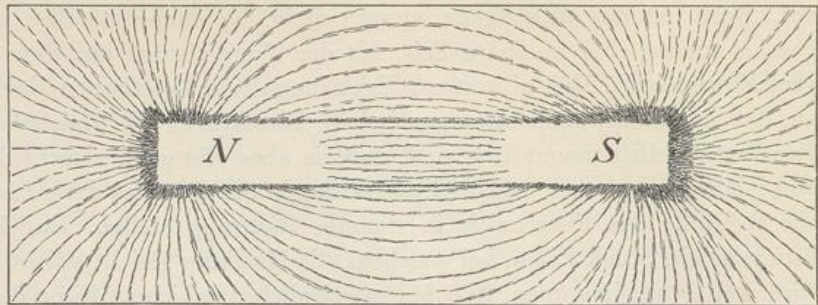
Eisen durch das Magnetisieren und Entmagnetisieren Wärme entwickelt werden. In der Tat, wenn, wie dies bei elektrischen Maschinen meistens geschieht, der magnetisierende Strom sehr rasch hintereinander verstärkt und dann wieder geschwächt wird, so daß der Magnetismus des Elektromagnets sich fort-

Fig. 33



ZWEITES KAPITEL

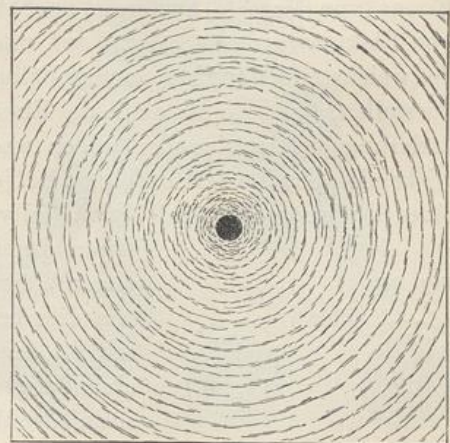
Fig. 34



während rasch hintereinander ändert, so wird infolge der Hysteresis jedesmal eine kleine Wärmemenge erzeugt, und diese kleinen Mengen summieren sich alle, so daß schließlich die Temperatur des Eisens ganz erheblich gesteigert wird, daß das Eisen sich sehr stark erhitzt. Es ist dies ein Übelstand, der bei den elektrischen Maschinen sehr störend auftritt und durch besondere Anordnungen beseitigt werden muß.

Die Tatsache, daß ein Strom magnetisierend auf weiches Eisen wirkt, zwingt notwendig zu der Annahme, daß ein Strom in seiner Umgebung magnetische Kräfte besitzt. Dies kann man auch beweisen. *Faraday* hat nämlich eine sehr hübsche und einfache Methode angegeben, durch welche man die magnetischen Kräfte, die in der Umgebung eines Magneten — welche man sein *magnetisches Feld* nennt — vorhanden sind, und ihre Richtung gewissermaßen augenfällig sichtbar machen kann. Wenn man nämlich einen Magneten, z. B. einen Magnetstab, auf den Tisch legt, über ihn ein Blatt Papier bringt und nun auf dieses Eisenfeilspäne streut, so ordnen sich diese Späne (wenn man das Papier, um die Reibung zu beseitigen, etwas klopft) in bestimmten geraden oder krummen Linien an, die man *magnetische Kraftlinien* nennt. **Fig. 34** stellt die so erhaltene Figur bei einem Magnetstab dar. Die Eisenfeilspäne werden nämlich durch die Wirkung des Magnetstabes selbst zu kleinen Magneten und ziehen sich gegenseitig an und ordnen sich so, daß sie sich immer in die Richtung der von dem Magneten ausgehenden magnetischen Kräfte einstellen. Man sieht in dieser Figur, daß von beiden Polen aus die Kraftlinien ausstrahlen und daß sie sich in mehr oder minder großem Bogen von dem einen Pol zum andern hinziehen. Man ist übereingekommen, als Richtung der Kraftlinien immer diejenige zu nehmen, die vom Nordpol ausgeht und von außen in den Südpol hineingeht. Mit einem Blick übersieht man so die Richtung der Kraftlinien an

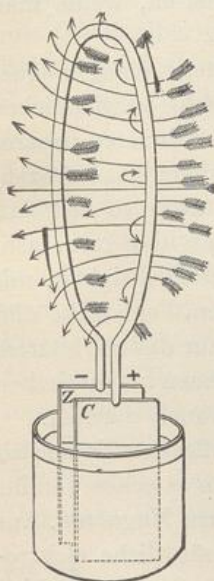
Fig. 35



DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

jeder Stelle in der Nähe der Magneten, und aus der Dichtigkeit, mit der die Eisenfeilspäne sich an den verschiedenen Stellen anhäufen, kann man auch auf die Größe der magnetischen Kraft an diesen Stellen schließen. Je dichter die Kraftlinien beieinander liegen, umso größer ist die magnetische Kraft. Diese Faradaysche Methode kann man nun aber auch anwenden, um zu sehen, ob ein *Strom* in seiner Umgebung magnetische Kräfte besitzt, und zu erfahren, welche Richtung in diesem Falle die magnetischen Kräfte haben. Zu dem Zweck steckt man einen geraden Draht, durch welchen man einen starken Strom sendet, senkrecht durch ein Papierblatt hindurch und streut nun Eisen-

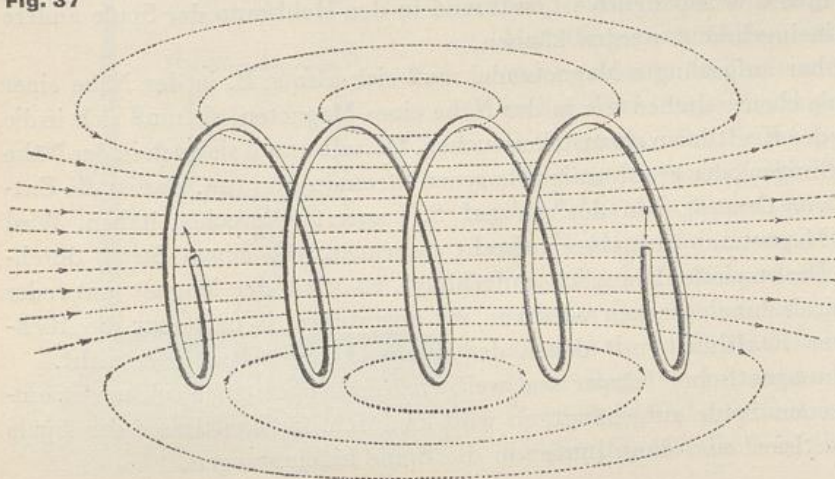
Fig. 36



feilspäne auf das Papierblatt. Es ordnen sich dann diese Späne so an, wie es **Fig. 35** zeigt. Sie schließen sich nämlich zu Kreisen um den stromführenden Draht herum (dessen Durchstoßungspunkt mit dem Blatt schwarz gezeichnet ist) zusammen. Das beweist uns also, daß die Kraftlinien, die in der Nähe eines geradlinigen Stromes vorhanden sind, *Kreise* um diesen Strom herum sind. Nimmt man nun nicht einen geradlinigen Strom, sondern einen gebogenen Stromdraht, eine sogenannte *Stromschleife*, wie in **Fig. 36**, und sendet durch sie (etwa von dem gezeichneten Element Z C her) einen Strom, so haben um jeden Teil des Drahtes herum die Kraftlinien die Richtung der kleinen Pfeile, sind also überall senkrecht zum Strom, und diese setzen sich so zusammen, wie es die großen Pfeile zeigen, d. h. die Kraftlinien gehen durch die Ebene der Stromschleife im allgemeinen senkrecht hindurch.

Nehmen wir daher weiter eine Drahtspule, wie **Fig. 37**, so gehen aus demselben Grunde die Kraftlinien im wesentlichen parallel der Achse der Spirale hindurch. Eine solche stromdurchflossene Drahtspule nennt man auch ein *Solenoid*.

Fig. 37



ZWEITES KAPITEL

Je mehr Windungen die Spule pro 1 cm Länge hat und je stärker der Strom ist, der durch sie fließt, umso größer ist die *magnetische Kraft* im Inneren derselben. Statt des Wortes magnetische Kraft gebraucht man auch das ganz gleichbedeutende Wort *Feldstärke*. Die Feldstärke im Inneren eines Solenoids ist also proportional dem Produkt aus der Stromstärke und der Zahl der Windungen und umgekehrt proportional der Länge der Spule. Drückt man die Stromstärke in Ampere aus, so bezeichnet man das Produkt aus der Zahl der Windungen des Solenoids und der Stromstärke als die *Zahl der Amperewindungen* und kann also sagen, die Feldstärke im Inneren eines Solenoids ist umso größer, je größer die Zahl der Amperewindungen und je kürzer das Solenoid ist. Man erhält die Größe der Feldstärke selbst in den gebräuchlichen Einheiten, wenn man die Zahl der Amperewindungen noch mit $\frac{5}{4}$ multipliziert.

Die magnetische Kraft oder die Feldstärke, die an einer Stelle eines magnetischen Feldes herrscht, stellt man zweckmäßig in einer sehr anschaulichen Weise ebenfalls durch die Kraftlinien dar. Herrscht z. B. im Inneren unseres Solenoids die Feldstärke 200, so zieht man durch das Innere eine Anzahl von *Kraftlinien*, in der Richtung der Achse der Spule, und zwar so viel, daß auf jedes Quadratcentimeter gerade 200 kommen. Dann kann man mit einem Blick aus der Zahl der Kraftlinien pro 1 qcm, also aus der Dichtigkeit, mit welcher die Kraftlinien gezeichnet sind, die Feldstärke ersehen. Feldstärke und Zahl der Kraftlinien pro 1 qcm bedeuten also ganz dasselbe, nur daß die letztere Einführung ein übersichtliches Bild von den im Feld vorhandenen magnetischen Kräften gibt. Wir werden von dieser Darstellung öfters Gebrauch machen.

Der Anblick der **Fig. 37** zeigt uns, daß eine solche stromdurchflossene Spule sich nach außen ganz so verhalten muß wie ein Magnetstab. Denn es gehen von ihr nach außen magnetische Kraftlinien aus, ganz so wie bei einem Magneten. Aus dieser Analogie des Verhaltens lassen sich nun in der Tat sämtliche elektromagnetischen Wirkungen einer Spule leicht erklären. Nur der eine Unterschied herrscht zwischen einer Stromspule und einem Magneten, daß bei dem letzteren eben das Innere unzugänglich ist, während in den Hohlraum der Spule andere Körper hineingebracht werden können.

Eine drehbar aufgehängte Magnetnadel muß sich also z. B. in der Nähe einer Stromspule ebenso drehen wie in der Nähe eines Magneten, sie muß sich in die Richtung der Kraftlinien einzustellen suchen. Dasselbe muß sie auch in der Nähe eines gradlinigen oder kreisförmig gebogenen Stromdrahtes tun. Das ist die Entdeckung von *Oerstedt*, von der wir auf S. 3 zuerst gesprochen haben. Wird ferner ein Magnetstab über einer aufrecht stehenden, von einem Strom durchflossenen Drahtspirale beweglich aufgehängt, so wird der Magnet entweder in die Spirale hineingezogen oder von ihr abgestoßen, je nachdem die Richtung seiner Kraftlinien mit denen der Spule übereinstimmt oder nicht.

Ist ein unmagnetischer Körper von weichem Eisen über einer solchen stromdurchflossenen Spule aufgehängt, so wird er durch die Kraftlinien der Spule erst magnetisiert und dann immer in die Spule hineingezogen.

DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

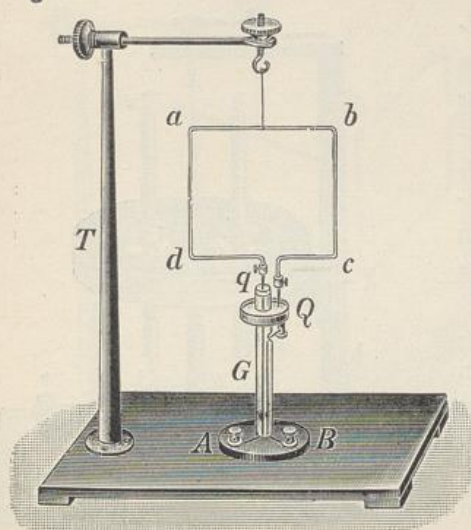
Daraus erklärt sich die Wirkung, die wir oben (S. 11) zur Konstruktion von Amperemetern benutzt haben.

Umgekehrt muß aber auch, wenn der Stromleiter beweglich und der Magnet fest ist, der Stromleiter sich bewegen, und zwar ebenfalls so, daß die Richtung seiner Kraftlinien, die ja senkrecht zu seiner Ebene stehen, parallel der Richtung der Achse des Magneten wird. Um dies experimentell nachzuweisen, ist die erste Aufgabe, einen Stromkreis herzustellen, von dem einzelne Teile frei beweglich sind. Dies wurde von Ampère erreicht durch das nach ihm benannte *Ampèresche Gestell*. In einer einfachen, neueren Konstruktion ist dasselbe in **Fig. 38** dargestellt. Eine Messingsäule *G* trägt oben ein Ebonitgefäß *Q*, innerhalb dessen ein zweites Ebonitgefäß *q* sich befindet. Beide Ebonitgefäße sind mit Quecksilber gefüllt, und das innere Gefäß ist durch einen in der Säule *G* isoliert geführten Draht mit der Klemmschraube *A*, das äußere, ringförmige, durch einen Draht mit der Klemmschraube *B* verbunden. Ein Drahtviereck *a b c d*, das, um es leichter drehbar zu machen, mittels eines Fadens an einem Stativ *T* aufgehängt ist, taucht mit einer Endspitze in das eine Quecksilbergefäß *q*, mit der anderen in das andere *Q*. Der Strom geht von *A* über *q*, *d*, *a*, *b*, *c* nach *Q* und dann nach *B*. Der bewegliche Stromkreis *a b c d* kann sich also um diese Spitzen beliebig drehen, wenn er unter dem Einfluß von Kräften steht. Sowie man einen Magneten in die Nähe eines solchen drehbaren Stromkreises bringt, stellt sich der Stromkreis in der Tat in eine bestimmte Lage gegen den Magneten, und zwar immer so, daß die Ebene des Stromkreises senkrecht steht gegen die Achse des Magneten, daß also die Achse des Magneten und die Kraftlinien des Stromkreises in einer Linie liegen.

Die Richtung dieser Bewegung einzelner Stromteile unter der Einwirkung eines Magneten (in einem magnetischen Feld) läßt sich am einfachsten aus einer

Regel (die aus der Schwimmerregel abgeleitet ist) entnehmen, bei welcher man die drei Finger der linken Hand: den Daumen, den Zeigefinger und den Mittelfinger, zu Hilfe nimmt, durch welche man ja drei aufeinander senkrechte Richtungen markieren kann. Wenn man den Zeigefinger in die Richtung der magnetischen Kraftlinien des Feldes bringt, den Mittelfinger in die Richtung des Stromes in dem beweglichen Drahtstück, so gibt die Richtung des Daumens immer die Richtung an, nach der das Drahtstück sich bewegt. Diese Regel nennt man die *Linke-Hand-Regel*. Dabei nimmt man immer an (S. 36), daß die Kraftlinien eines

Fig. 38



ZWEITES KAPITEL

Magneten vom *Nordpol* ausgehen und, durch die Luft sich ausbreitend, in den *Südpol* hineingehen.

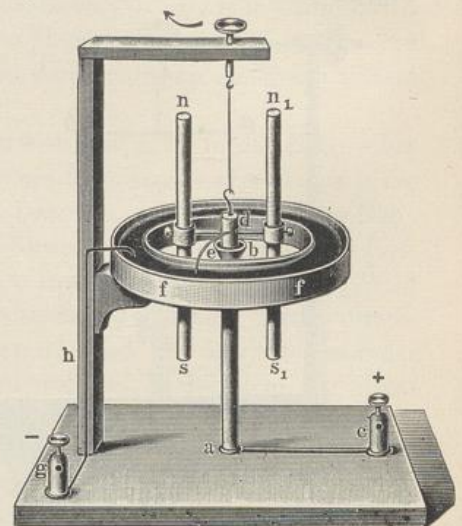
Man kann aber auch durch eine geschickte Kombination von Magneten und Strömen, wie *Faraday* gezeigt hat, es dahin bringen, daß ein Magnet dauernd um einen elektrischen Strom herumrotiert, daß man eine *kontinuierliche Rotation* von Magneten um einen Strom erhält. Diese von *Faraday* ersonnene Anordnung sieht man in **Fig. 39**. Es sind hier die beiden Magnetstäbe $n\ s$ und $n_1\ s_1$, welche rotieren. Der galvanische Strom wird durch die Klemme c eingeführt und steigt in dem Metallstab $a\ b$ auf. Ein Metallstück d , an welchem die Magnete befestigt sind, und das an einem Faden aufgehängt ist, taucht in das Schälchen mit Quecksilber, welches das Ende von b bildet. Dieses Metallstück d trägt zugleich den Draht e , welcher in die mit Quecksilber gefüllte Rinne $f\ f$ taucht. Es fließt also der Strom von c durch $a\ b$ in das drehbare Metallstück d und von diesem durch den Draht e in das Quecksilber bei f , von wo aus er durch den Draht h zur Klemme g und von da zum Element zurückgeführt wird. Der Stromteil $d\ e\ f$ ist also mit den Metallstäben beweglich, und in der Tat fängt das Magnetpaar, sowie der Strom fließt, an, sich zu drehen, und dreht sich so lange, bis der Strom unterbrochen wird.

Man kann sich durch Anwendung der Ampèreschen Schwimmerregel überzeugen, daß die Magnete sich drehen müssen, und auch einsehen, nach welcher Richtung die Rotation stattfinden muß. Denkt man sich nämlich den positiven Strom z. B. in der Richtung $a\ b$ fließend, so steht also der Ampèresche Schwimmer in $a\ b$ aufrecht, und wenn er den Magneten $n\ s$ ansieht, so muß dessen Südpol (der näher an dem Strom $a\ b$ ist als der Nordpol) nach hinten (zur rechten Hand des Schwimmers), wenn er aber $n_1\ s_1$ ansieht, so muß dessen Südpol nach vorn aus der Ebene der Figur abgelenkt werden, die Ablenkung der Südpole muß also bei beiden nach entgegengesetzten Richtungen gehen.

Da die beiden Magnete starr miteinander verbunden sind und sich nur um den Aufhängefaden drehen können, so rotieren sie also bei unserer Annahme in demselben Sinne, wie der Uhrzeiger sich dreht. Kehrt man den Strom im Draht $a\ b$ um, so rotiert das Magnetpaar im entgegengesetzten Sinne. Man kann auch *umgekehrt* ein Stück eines Stromleiters in kontinuierliche Rotation um einen Magneten bringen.

Die magnetischen Wirkungen eines Solenoids und ebenso die jedes einfachen Stromkreises sind derartig, als ob der Stromkreis sich wie ein Magnet verhält, der durch den Stromkreis senkrecht zu seiner Ebene gesteckt ist. Aus diesem

Fig. 39



DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

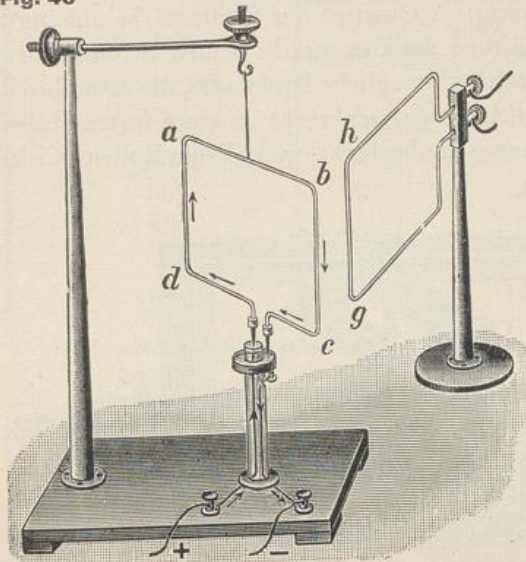
Grunde aber müssen auch zwei Drahtkreise, wenn sie von Strömen durchflossen sind, Kräfte aufeinander ausüben, und wenn einer von ihnen beweglich ist, muß er sich unter dem Einfluß dieser Kräfte bewegen. Denn durch die Ebenen jedes der Stromkreise gehen magnetische Kraftlinien senkrecht hindurch. Die beiden Stromkreise müssen sich also so einzustellen suchen, daß die Kraftlinien beider parallel werden. Man hat also dann zwischen zwei Strömen allein, ganz ohne Magnete, Bewegungen, also scheinbar anziehende und abstoßende Kräfte. Es war *Ampère*, welcher diese Einwirkung von galvanischen Strömen aufeinander untersuchte und aufklärte. Man nennt die Lehre von den mechanischen Wirkungen galvanischer Ströme aufeinander *Elektrodynamik*; sie ist nach unserer Auffassung nur ein spezieller Fall des Elektromagnetismus.

Um die Wirkungen von galvanischen Strömen aufeinander studieren zu können, mußte *Ampère* die Ströme, wenigstens teilweise, beweglich machen. Es wird also bei diesen Untersuchungen wieder das *Ampèresche Gestell* angewendet, das schon oben beschrieben wurde. Wenn man in **Fig. 40** durch das Drahtviereck im *Ampèreschen Gestell* (links in der Figur) einen Strom in der durch die Pfeile angegebenen Richtung hindurchsendet und diesem beweglichen Stromkreis den festen Stromkreis *gh* (rechts) nähert, so tritt folgendes ein: Fließt der positive Strom in *gh* von oben nach unten, also in gleicher Richtung wie in *bc*, so wird *bc* von *gh* angezogen. Fließt der Strom in *gh* von unten nach oben, also in entgegengesetzter Richtung wie in *bc*, so wird *bc* abgestoßen. Entsprechendes gilt für die Seite *ad* des beweglichen Stromkreises. Es ergibt sich daraus der Satz:

- *Zwei parallele gleichgerichtete Ströme ziehen einander an, zwei parallele in entgegengesetzter Richtung fließende Ströme stoßen einander ab.*

Dieses Gesetz ist übrigens eine direkte Folgerung aus der *Linken-Hand-Regel*. Um das einzusehen, betrachten wir in **Fig. 41**

Fig. 40



die beiden geradlinigen Stromstücke *AB* und *CD*, in denen die Ströme parallel nach oben fließen sollen. Um den Strom *AB* herum, der fest sein möge, sind die Kraftlinien gezeichnet, Kreise, die um ihn umgekehrt wie der Uhrzeiger herumgehen. An der Stelle *M* des beweglichen Stromes *CD* haben wir also von der linken Hand den Mittelfinger nach oben, den Zeigefinger nach hinten zu halten, und daher geht der Daumen, der die Richtung der Bewegung von *CD* angibt, nach *AB* hin, d. h. *CD* wird von *AB* angezogen. Sind die Stromleiter nicht

ZWEITES KAPITEL

parallel, so gilt aus demselben Grunde das Gesetz, daß sie sich parallel zu stellen suchen.

Man kann diese Wirkung zweier gekreuzt gegeneinander gestellten Ströme sehr gut an dem in **Fig. 42** gezeichneten Apparat sehen.

In demselben ist ein fester Rahmen A B mit einer Reihe von Drahtwindungen versehen, in welche ein Strom durch die Klemmschrauben f und g eingeführt wird. Innerhalb des festen Rahmens befindet sich ein beweglicher leichter Rahmen C D, der auch mit einer Lage von Drahtwindungen versehen ist. Auch in diese Drähte kann durch eine, in der Figur nicht gezeichnete, Vorrichtung ein Strom geführt werden. In der Figur sind die beiden Drahtkreise gekreuzt gezeichnet. Sie streben also danach, sich parallel und gleichgerichtet zu stellen, und in der Tat fängt der

innere Rahmen sich unter der Einwirkung der Ströme an zu drehen, bis die Drahtwindungen einander parallel stehen und die Ströme in ihnen gleichgerichtet sind. Wird der Strom in beiden Rahmen zugleich kommutiert, so ändert sich daher weder die Richtung noch die Größe der Kraft, mit der die bewegliche Drahtrolle sich der festen parallel zu stellen sucht.

Diese *elektrodynamische* Kraft, mit welcher ein beweglicher Stromkreis unter dem Einfluß eines festen gedreht wird, hängt ab von dem Produkt beider Stromstärken. Läßt man daher den festen und den beweglichen Stromkreis von demselben Strom durchfließen, so dreht sich der bewegliche Stromkreis um einen Winkel, der von dem Quadrat der Stromstärke abhängt. Er ändert sich nicht, wenn die Richtung des Stromes in beiden Stromkreisen zugleich wechselt. Mithin wird eine solche bewegliche Drahtrolle, die etwa durch eine Feder immer in ihre ursprüngliche Lage, senkrecht zu einer festen Rolle, gezogen wird, auch dann elektrodynamisch abgelenkt, wenn beide Rollen gleich-

Fig. 41

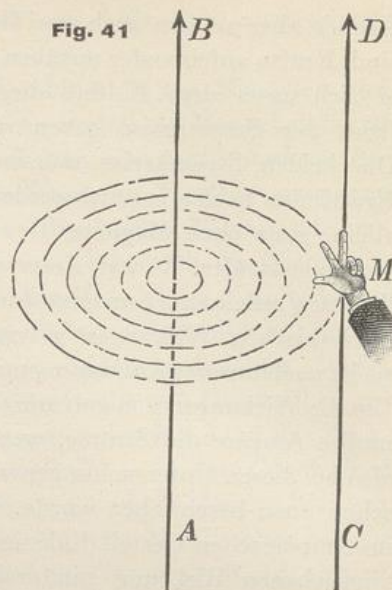
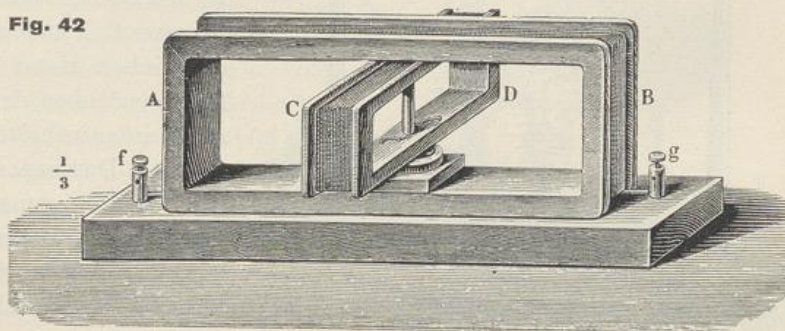


Fig. 42



DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

zeitig von Strömen wechselnder Richtung durchflossen werden, von sogenannten *Wechselströmen*, deren Erzeugung wir im nächsten Kapitel besprechen werden.

Wir gehen noch einmal zurück auf die Magnetisierung eines Eisenkernes im Innern eines Solenoids. Die Feldstärke im Innern eines Solenoids ist gleich der Zahl der Amperewindungen dividiert durch die Länge des Solenoids, und ebenso groß ist auch die Zahl der Kraftlinien, die pro Quadratcentimeter durch den Querschnitt des leeren Solenoids gehen.

Bringt man nun in das Solenoid einen Eisenstab, so wird dieser selbst magnetisch. Es wirkt dann also im Innern nicht nur die magnetische Kraft des Stromes, sondern auch noch die des Eisenkerns, die magnetische Kraft ist also durch das Hineinbringen des Eisenkerns gewachsen, und zwar sehr erheblich. Die Zahl der Kraftlinien, die man jetzt in der Spule, d. h. in dem Eisenkern, zeichnen muß, wird bedeutend größer, weil eben das magnetische Eisen selbst je nach der Stärke seines Magnetismus eine magnetische Kraft an jeder Stelle erzeugt oder, was dasselbe ist, mehr oder weniger Kraftlinien enthält und aussendet. Die verschiedenen Eisensorten unterscheiden sich sehr wesentlich darin, in welchem Verhältnis sie die Zahl der Kraftlinien des Solenoids vergrößern. So hat sich z. B. durch Experimente folgender Zusammenhang ergeben für die Zahl der Amperewindungen einer Magnetisierungsspule pro 1 cm Länge einerseits und für die Zahl der Kraftlinien pro Quadratcentimeter, die dadurch in den betreffenden Eisenkörpern entstehen, anderseits. Und zwar sind in der folgenden Tabelle enthalten erstens die Zahl der Kraftlinien in der leeren Spule, ferner die in drei Sorten von Eisen, die man als gehärteten Stahl, Dynamoblech, Gußeisen bezeichnet.

Zahl der Ampere- windungen (pro 1 cm)	Zahl der Kraftlinien pro 1 qcm			
	in der leeren Spule	gehärteter Stahl	Dynamo- blech	Gußeisen
5	6,25	—	12 500	—
10	12,5	100	14 000	—
20	25	2 200	15 000	6 200
30	37,5	3 400	15 600	7 000
50	62,5	6 200	16 000	8 100
100	125	10 500	17 200	10 000

Man sieht, daß die Zahl der Kraftlinien pro Quadratcentimeter, also die Stärke der Magnetisierung, bei gleicher Amperewindungszahl für Dynamoblech bedeutend größer ist als für Stahl und Gußeisen.

Man bezeichnet das Verhältnis, in welchem die Zahl der Kraftlinien der Spule nach Einbringung des Eisenkerns zu der Zahl der Kraftlinien vorher steht, als

ZWEITES KAPITEL

die magnetische Leitungsfähigkeit des betreffenden Eisens. Häufig braucht man auch dafür den Ausdruck *magnetische Permeabilität*.

Wir können aus unseren obigen Zahlen die magnetische Leitfähigkeit z. B. für das Dynamoblech berechnen. Dadurch erhalten wir folgende Werte:

Dynamoblech						
Zahl der Amperewindungen	5	10	20	30	50	100
Magnetische Leitfähigkeit	2000	1120	600	409	256	138

Man sieht, daß die magnetische Leitungsfähigkeit nicht eine unveränderliche Größe ist, wie die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle, sondern daß sie umso kleiner wird, je stärker die magnetisierenden Kräfte sind, die auf das Eisen wirken. Der Magnetismus, den Eisenkörper annehmen, wächst also nicht im selben Schritt mit der magnetisierenden Kraft, sondern viel langsamer und nähert sich einer Grenze, über die er nicht hinausgeht.

Man kann in demselben Sinne auch von der magnetischen Leitungsfähigkeit anderer Körper als des Eisens sprechen. Für diese, z. B. die Luft oder Kupfer, ist die Leitungsfähigkeit gleich 1, weil sie eben die Zahl der Kraftlinien nicht vermehren, wenn man sie in die Spule bringt. Nur Nickel und Kobalt haben etwas größere Permeabilitäten als 1.

Diese Ausdrucksweise, die zunächst etwas gezwungen aussieht, wird uns aber nun zu einer wichtigen neuen Auffassung der magnetischen Erscheinungen führen.

Wir wollen einen geschlossenen Eisenring nehmen und ihn ganz mit Draht umwickeln. Durch den Draht soll ein Strom von bestimmter Stärke fließen. Dann ist es die gesamte Zahl der Amperewindungen, welche die magnetischen Kraftlinien hervorbringt. Die Zahl der Kraftlinien, welche dann durch den ganzen Eisenring gehen, ist dabei umso größer, erstens je größer die Leitungsfähigkeit des Eisens ist, zweitens je größer der Querschnitt des Ringes ist, drittens je größer die gesamte Zahl der Amperewindungen (multipliziert mit $\frac{5}{4}$) ist, und viertens je kleiner die Länge des Ringes (in der Mittellinie gemessen) ist:

Zahl der Kraftlinien im Eisen

$$= \frac{\text{magn. Leitfähigkeit} \times \frac{5}{4} \cdot \text{Zahl der Amperewindungen} \times \text{Querschnitt}}{\text{Länge}}$$

Bezeichnen wir die gesamte Zahl der Amperewindungen (wieder mit $\frac{5}{4}$ multipliziert) unseres Ringes, welche ja den Magnetismus erst erzeugt, als die *magnetomotorische Kraft*, und bezeichnen wir eine Größe, welche von der Leitungs-

DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

fähigkeit, dem Querschnitt und der Länge des Ringes abhängt, als den *magnetischen Widerstand* des Ringes, so zwar, daß der

$$\text{magnetische Widerstand} = \frac{\text{Länge}}{\text{magnetische Leitfähigkeit} \times \text{Querschnitt}}$$

so können wir sagen: Die Zahl der Kraftlinien in unserem Ring ist gleich der magnetomotorischen Kraft dividiert durch den magnetischen Widerstand:

$$\text{Zahl der Kraftlinien} = \frac{\text{magnetomotorische Kraft}}{\text{magnetischer Widerstand}}$$

Dieses Gesetz hat dieselbe Form wie das Ohmsche Gesetz. Was im Ohmschen Gesetz die Stromstärke ist, das ist hier bei dem magnetischen Gesetz die Zahl der Kraftlinien. Was dort die elektromotorische Kraft ist, ist hier die magnetomotorische Kraft, nämlich die Zahl der Amperewindungen, und was dort der elektrische Widerstand eines Drahtes ist, ist hier der magnetische Widerstand eines Ringes. Es ist der

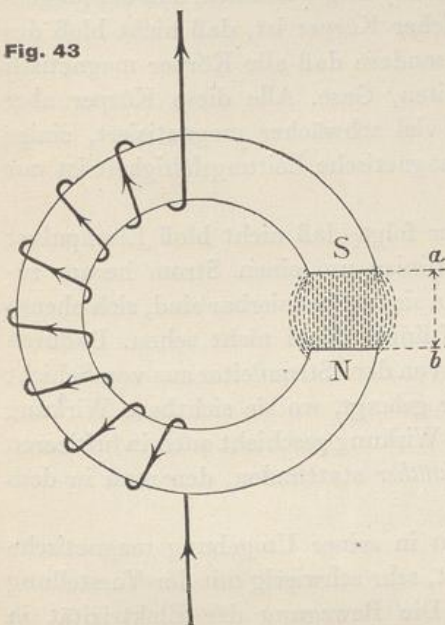
$$\text{magnetische Widerstand} = \frac{\text{Länge}}{\text{Querschnitt} \times \text{magnet. Leitungsfähigkeit}}$$

Ganz ebenso ist ja der

$$\text{elektrische Widerstand} = \frac{\text{Länge}}{\text{Querschnitt} \times \text{elektr. Leitungsfähigkeit}}$$

Zunächst gilt dieses Gesetz, welches man das *Ohmsche Gesetz für den Magnetismus* nennt, nur für einen geschlossenen Eisenring, weil nur bei diesem die Kraft-

Fig. 43



linien ganz in Eisen verlaufen. Man kann aber mit großer Genauigkeit dasselbe Gesetz auch auf nahezu geschlossene magnetische Kreise anwenden, wenn man nur für den magnetischen Widerstand jedesmal die richtigen Werte annimmt. Betrachten wir z. B. in **Fig. 43** den Eisenring, welcher an der Stelle S N aufgeschnitten ist, so daß dort eine Luftschicht sich befindet und daß der Ring dort zwei freie Pole hat.

Die Kraftlinien verlaufen in der Luftschicht, wie es die Figur zeigt, im wesentlichen geradlinig zwischen N und S und biegen sich nur wenig nach außen. Sie tun das umso weniger, je kleiner die Luftschicht ist. Wir können nun für diesen Fall den magnetischen

ZWEITES KAPITEL

Widerstand berechnen, wenn wir diesen aus zwei Teilen zusammensetzen. Es ist nämlich der ganze magnetische Widerstand = magnetischer Widerstand des Eisens + magnetischer Widerstand der Luft.

Wir wollen mit bestimmten Zahlen rechnen. Es sei der Querschnitt des Ringes 5 qcm, die Länge des ganzen Ringes (d. h. die Länge der Mittellinie) 60 cm, die Länge der Luftschicht sei 1 cm. Die Leitungsfähigkeit des Eisens sei 1000. Wenn dann der Ring ohne Unterbrechung wäre, so wäre sein magnetischer Widerstand

$$= \frac{60}{5 \cdot 1000} = 0,012.$$

Da er unterbrochen ist, so ist sein magnetischer Widerstand

$$= \frac{59}{5 \cdot 1000} + \frac{1}{5} = 0,0118 + 0,2 = 0,2118.$$

Man sieht, daß der magnetische Widerstand infolge der Unterbrechung durch die Luftschicht um etwa das 17,7fache gewachsen ist, so daß die Zahl der Kraftlinien im zweiten Fall um das 17,7fache abgenommen hat gegenüber der im ersten Fall.

Dieses Ohmsche Gesetz für den Magnetismus wird bei der Berechnung von Dynamomaschinen, wo man es immer mit nahezu geschlossenen magnetischen Kreisen zu tun hat, allgemein angewendet.

Daß die Luft und daß andere Körper bei diesen magnetischen Wirkungen mit in Betracht gezogen werden müssen, selbst eine Rolle dabei spielen, wissen wir durch Entdeckungen von *Faraday*. Faraday zeigte nämlich, daß der Magnetismus eine *allgemeine* Eigenschaft sämtlicher Körper ist, daß nicht bloß das Eisen, wie man zunächst glauben sollte, sondern daß alle Körper magnetisch werden können, feste Körper, Flüssigkeiten, Gase. Alle diese Körper aber werden unter gleichen Umständen sehr viel schwächer magnetisiert, einige tausendmal weniger als das Eisen, ihre magnetische Leitungsfähigkeit ist nur äußerst wenig von eins verschieden.

Aus dieser Entdeckung von Faraday aber folgt, daß nicht bloß Eisenpulver sich zu ringförmigen magnetischen Kraftlinien um einen Strom herum zusammenschließt, sondern daß alle Stoffe, da sie magnetisierbar sind, sich ebenso verhalten müssen, nur daß wir die Kraftlinien dabei nicht sehen. Dadurch pflanzt sich aber die magnetische Wirkung von dem Stromleiter aus von Schicht zu Schicht weiter, bis sie an Eisenkörper gelangt, wo sie sichtbare Wirkung hervorbringt. Und diese Fortpflanzung der Wirkung geschieht auch in luftleeren Räumen, sie muß also auch in dem *Lichtäther* stattfinden, den man in dem leeren Raum annimmt.

Die Tatsache, daß ein elektrischer Strom in seiner Umgebung magnetische Kräfte ausübt, ist, wie oben S. 33 erwähnt, sehr schwierig mit der Vorstellung eines *wirklichen Stromes* zu vereinigen. Die Bewegung der Elektrizität in

DIE MAGNETISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Drähten haben wir wohl als eine Art Strömung der Elektronen auffassen können, aber nun müssen wir fragen, wie kann ein solcher Strom Wirkungen in der Umgebung zeigen? Bei einem Wasserstrom finden wir nur Wirkungen in der Strombahn selbst, in dem Rohr, durch das er fließt, aber nicht in der Umgebung. Gerade dieser Umstand hat lange Zeit einer einheitlichen Auffassung der Elektrizität im Wege gestanden. Diese Fernwirkungen eines Stromes kann man sich nun aber dadurch erklären, daß man annimmt, die Elektronen, die in einem Stromdraht sich bewegen, haben einen ganz besonderen Zusammenhang, eine enge Verknüpfung mit dem Lichtäther. Wo ein Elektron sich befindet, ob es ruht oder sich bewegt, da wirkt es auf den umgebenden Äther ein, indem es diesen in einen besonderen Zustand versetzt. Dieser veränderte Zustand des Äthers pflanzt sich nun in diesem rasch von Schicht zu Schicht fort, und dieser veränderte Zustand des Äthers wirkt wieder auf die Elektronen in den einzelnen Stoffen und bringt so die magnetischen Erscheinungen hervor. Während also der elektrische Strom selbst eine Erscheinung ist, die auf der Bewegung der Elektronen beruht, sind seine magnetischen Wirkungen, nach unseren jetzigen Vorstellungen, Vorgänge im Äther, die durch die Elektronen veranlaßt werden. Den Magnetismus des Eisens (und der anderen Körper) selbst aber können wir uns dadurch leicht erklären, daß wir annehmen, um jedes Eisenmolekül rotiere ein Elektron, wie der Mond um die Erde. Denn ein rotierendes Elektron verhält sich genau so wie ein elektrischer Strom, der in einem Kreise fließt, und von einem solchen wissen wir ja, daß er magnetische Kraftlinien besitzt, die senkrecht zu seiner Ebene stehen. Ein solches rotierendes Elektron macht also aus dem Eisenmolekül einen kleinen Magneten, dessen Achse senkrecht zu der Kreisbahn des Elektrons steht.

DRITTES KAPITEL

DIE INDUKTIONS- ERSCHEINUNGEN

Durch die Oerstedtsche Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel war es naturgemäß viel leichter geworden als früher, zu untersuchen, ob man elektrische Ströme nicht auch auf andere Weise erzeugen könne als durch galvanische Elemente. Und in der Tat wurden noch andere Methoden allmählich erfunden, eine zufällig, die andere aber durch planmäßig angestellte Versuche. Im Jahre 1823 bemerkte nämlich *Seebeck*, daß man auch durch *Wärme* elektrische Ströme erzeugen kann. Er fand, daß wenn man zwei *verschiedene* Metalle mit ihren beiden Enden aneinander lötet oder überhaupt nur fest miteinander verbindet und wenn man die eine von diesen Lötstellen auf höhere oder tiefere Temperatur bringt als die andere (durch Erwärmen oder Abkühlen), daß man dann in diesem geschlossenen Kreis auch wieder einen elektrischen Strom erhält. Man nennt diese durch Temperaturdifferenzen hervorgerufenen elektrischen Ströme *Thermoströme*. Sie haben eine sehr geringe elektromotorische Kraft und liefern kleine Stromstärken. Sie werden im allgemeinen in Verbindung mit empfindlichen Galvanometern nur dazu benutzt, gerade die Temperaturdifferenz, durch die sie hervorgebracht werden, zu messen, und man kann durch sie sehr hohe und sehr tiefe Temperaturen bestimmen, für welche unsere Thermometer nicht ausreichen. Für die Zwecke dieses Buches ist eine genauere Darlegung der Verhältnisse dieser Thermoströme nicht notwendig.

Von der allergrößten Bedeutung aber für die wissenschaftliche Untersuchung und die praktische Benutzung der elektrischen Ströme sind die Entdeckungen geworden, die die Wissenschaft dem Genie von *Michael Faraday* verdankt. Faraday, ursprünglich ein Buchbindergeselle, hat mit dem größten Scharfsinn und mit dem feinsten Ahnungsvermögen für die Geheimnisse der Natur eine große Anzahl der bedeutendsten Entdeckungen auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre gemacht, und er hat auch insbesondere die so überaus wichtigen und interessanten Erscheinungen der Erzeugung von elektrischen Strömen durch *Induktion*, die wir jetzt besprechen wollen, nicht nur gefunden, sondern auch fast vollständig erforscht. Man muß in den Originalberichten Faradays nachlesen, wie viele mühevollen und schwierige Versuche fehlschlagen, wie endlich nach einer großen Reihe von vielfach variierten Experimenten sich eine Spur der Wirkung zeigte, welche er suchte, und wie er dann diese Spur verfolgte und ausbeutete, um einen richtigen Begriff von Faradays Genie zu bekommen. Jetzt, wo diese Erscheinungen genau bekannt sind, ist es nicht mehr nötig, den mühevollen, stufenweisen Weg zu gehen, den Faraday einschlagen mußte,

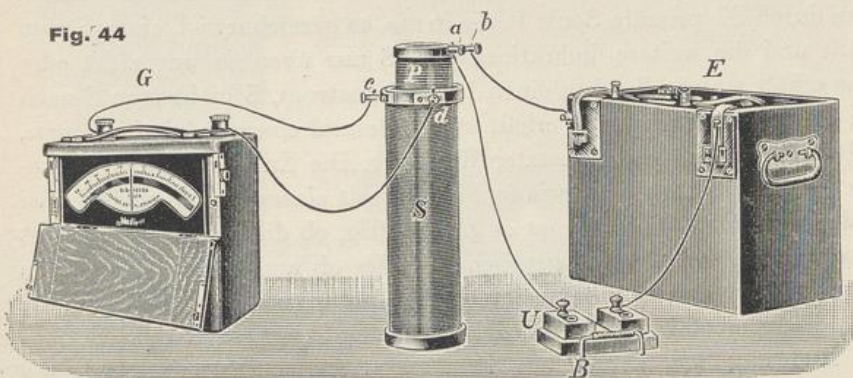
DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

jetzt können wir bald mitten in die Erscheinungen hineingreifen und von vornherein diejenigen Bedingungen annehmen, die sich als vorteilhaft zur Erzeugung dieser sogenannten *Induktionsströme* erwiesen haben.

● *Immer wenn ein elektrischer Strom in einem Stromkreis geöffnet oder geschlossen wird, entsteht in einem in der Nähe befindlichen geschlossenen Leiter ein momentaner elektrischer Strom.*

Die beiden Leiterkreise sind also ganz voneinander getrennt, es existiert gar keine leitende Verbindung zwischen ihnen, und doch entsteht durch das Öffnen oder Schließen eines von einem Strome durchflossenen Leiters in einem eben noch ganz stromlosen, geschlossenen Drahtkreis ein momentaner galvanischer Strom. Diese Wirkung, welche Faraday entdeckt hat, bezeichnet man nach ihm als *Induktion*, genauer als *Elektroinduktion*. Um diese Erscheinung kräftig hervorzurufen, ist es notwendig, daß die beiden Stromkreise sich sehr nahe aneinander befinden. Man nimmt deshalb am besten zwei Hohlzylinder von Holz und wickelt auf jeden von ihnen einen Draht spiralförmig auf. Den engeren Zylinder stellt man in die Höhlung des weiteren hinein. So hat man zwei getrennte Drähte, die einander sehr nahe sind. In **Fig. 44** sind diese beiden Zylinder mit P und S bezeichnet. Die Enden des Drahtes auf dem weiten Zylinder S sind nach zwei Klemmschrauben c und d geführt, und diese werden durch Drähte mit dem Galvanometer G verbunden. Die Enden des Drahtes auf dem inneren Zylinder sind nach den Klemmschrauben a und b geführt, und von diesen aus gehen Drähte zu einer Batterie E, die sich hier in einem Kasten befindet. In den einen Draht ist aber noch ein Unterbrecher U eingeschaltet, wie er oben S. 25 Fig. 25 beschrieben wurde. Man hat so zwei geschlossene Leiterkreise; in dem inneren fließt fortwährend ein Strom, wenn der Unterbrecher U geschlossen, d. h. der Bügel B in die Quecksilbernäpfchen eingetaucht ist, in dem äußeren nicht. Sowie man aber nun den Strom in dem inneren Drahtkreis unterbricht, indem man den Bügel B, wie es in der Figur gezeichnet ist, aus den Quecksilbernäpfchen herausnimmt, wird die Nadel des Galvanometers für einen Moment abgelenkt, kehrt aber sofort wieder zurück. Sowie man den Strom in der inneren Spule wieder schließt, durch Eintauchen des

Fig. 44



DRITTES KAPITEL

Bügels B, wird die Nadel wieder abgelenkt, und zwar nach der entgegengesetzten Seite, aber ebenfalls nur einen Moment, und kehrt auch sofort wieder zurück. Es wird also in der Tat durch die Öffnung oder Schließung des Stromes in P ein momentaner Strom in dem Leiter S erregt, in dem Leiter, welcher gar keine Verbindung mit P hat, welcher nur in der Nähe von P sich befindet. Man nennt diese momentanen Ströme, wie erwähnt, *Induktionsströme* und kann also sagen: Beim Öffnen und Schließen des Stromes in P wird in S ein momentaner Strom *induziert*. Man nennt die Spule P die *induzierende* oder *primäre Spule*, die Spule S die *induzierte* oder *Induktionsspule*, häufig auch die *sekundäre Spule*. Wenn der Strom in der primären Spule dauernd fließt, also geschlossen bleibt, so findet keine Induktion statt, das Galvanometer der sekundären Spule bleibt in Ruhe. Nur die *Veränderung* des primären Stromes, sein Entstehen oder Vergehen, bringt Induktionswirkungen hervor.

Wenn man aber die durch die momentanen Induktionsströme hervorgebrachten Ausschläge der Nadel des Galvanoskops betrachtet, so findet man, wie schon erwähnt, daß ein Unterschied in der Richtung des Ausschlages stattfindet, je nachdem der induzierende Strom geöffnet oder geschlossen wird. Wird der induzierende Strom geöffnet, so geht die Nadel nach der einen Seite, wird er geschlossen, so geht sie nach der anderen Seite. Daraus und aus der genauen Anwendung der Ampèreschen Schwimmerregel (S. 34) schließen wir, daß der induzierte Strom, der durch *Schließen* entsteht, der *Schließungsstrom*, in *entgegengesetzter Richtung* durch die Induktionsspule läuft wie der induzierende Strom durch die primäre Spule, daß dagegen der Induktionsstrom, der durch *Öffnen* entsteht, der *Öffnungsstrom*, *dieselbe Richtung* hat wie der Strom in der induzierenden Spule.

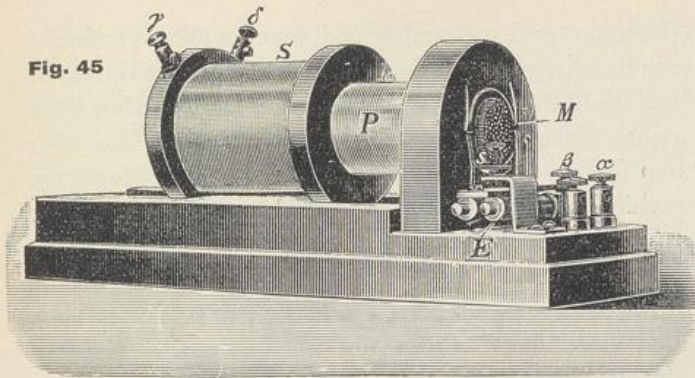
Man bezeichnet den induzierenden Strom, also den in der Spule P, auch oft als den *primären Strom*, den induzierten als *sekundären Strom* und kann also sagen:

● *Der Induktionsstrom hat beim Schließen des primären Stromes die entgegengesetzte, beim Öffnen desselben die gleiche Richtung wie der primäre Strom.*

Die induzierende Wirkung eines Stromes auf einen Drahtkreis geht aber noch weiter. *Es ist nur nötig, einen elektrischen Strom gegen eine Drahtspule irgendwie zu verschieben, um in letzterer einen momentanen Induktionsstrom zu bekommen.*

Wenn man durch die primäre Spule P, die in **Fig. 45** gezeichnet ist, einen Strom fließen läßt und die weitere Induktionsspule S nur über sie weg zieht oder schiebt, so erhält man in S schon einen Induktionsstrom. Schiebt man S nach der einen oder anderen Seite, so erhält man jedesmal einen Induktionsstrom, aber beide Male von entgegengesetzter Richtung. Die Enden γ und δ der sekundären Spule verbindet man, wie in **Fig. 44**, mit einem Galvanometer. Bei dieser Näherung und Entfernung ist es gleichgültig, ob die primäre Spule fest und die sekundäre, induzierte, beweglich ist, oder ob umgekehrt die primäre Spule beweglich und die sekundäre fest ist. *Nähert man die primäre und die induzierte Spule einander, so fließt der Induktionsstrom in S in entgegengesetzter Richtung wie der Strom in P, also ebenso wie beim Schließen*

Fig. 45

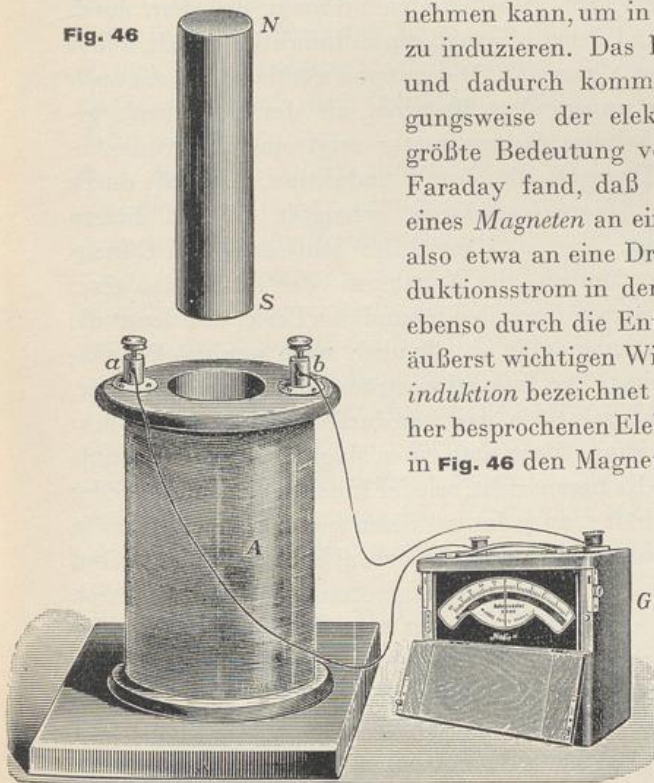


des Stromes. Entfernt man dagegen P von S, so hat der Induktionsstrom in S dieselbe Richtung wie der Strom in P. Beim Entfernen hat also der Induktionsstrom dieselbe Richtung wie beim Öffnen.

Die große Übereinstimmung der Eigenschaften einer stromdurchflossenen Drahtspule mit denen eines Magnetstabes lassen es nun voraussehen, daß man bei den obigen Versuchen statt der primären Stromspule einfach einen Magnetstab nehmen kann, um in der sekundären Spule Ströme zu induzieren. Das hat *Faraday* sofort erkannt, und dadurch kommen wir zu derjenigen Erzeugungsweise der elektrischen Ströme, welche die größte Bedeutung von allen erlangt hat.

Faraday fand, daß auch durch die Annäherung eines *Magneten* an einen geschlossenen Drahtkreis, also etwa an eine Drahtspule, ein momentaner Induktionsstrom in der Drahtspule erzeugt wird und ebenso durch die Entfernung des Magneten. Diese äußerst wichtigen Wirkungen werden als *Magnetoinduktion* bezeichnet zum Unterschied von der vorher besprochenen Elektroinduktion. Wenn man also in Fig. 46 den Magnetstab N S in die Drahtspule A,

Fig. 46



DRITTES KAPITEL

deren Enden durch ein Galvanometer G verbunden sind, hineinstößt, so entsteht in der Spule ein momentaner Induktionsstrom, der die Magnetnadel des Galvanometers zum Ausschlag bringt. Zieht man den Magneten aus der Drahtspule wieder heraus, so erhält man wieder einen momentanen Induktionsstrom, der aber nach der entgegengesetzten Richtung fließt. Man kann dabei den Magneten ganz in die Spule hineinschieben, man braucht das aber nicht zu tun. Jede Annäherung, jede Entfernung eines Magneten in bezug auf die Drahtspule bringt einen Induktionsstrom hervor. Die Richtung der Induktionsströme ist entgegengesetzt bei der Annäherung und bei der Entfernung, sie ist auch entgegengesetzt, wenn man statt des Südpols des Magneten den Nordpol nähert. Bezeichnen wir also die Stromrichtung in der Spule A, wenn ihr z. B. ein Nordpol genähert wird, mit +, so haben wir folgendes Schema für die Stromrichtungen:

	Nordpol	
Annäherung,	Entfernung	
+	—	
	Südpol	
Annäherung,	Entfernung	
—	+	

Auf einen wesentlichen Unterschied zwischen den Strömen, die man durch galvanische Elemente erhält, und denen, die man durch Induktion erhält, haben wir schon wiederholt aufmerksam gemacht. Die ersteren nämlich sind *dauernde* Ströme. Sie bleiben so lange unverändert bestehen, als der Stromkreis geschlossen bleibt. Ein eingeschaltetes Galvanometer zeigt eine dauernde Ablenkung der Magnetnadel. Dagegen die durch Induktion, sowohl durch Elektroinduktion wie durch Magnetoinduktion, erzeugten Ströme dauern zunächst nur einen Moment an. *Nur im Moment* des Schließens und Öffnens des primären Stromes, nur im Moment des Annäherns oder Entfernens eines Magneten fließt der Induktionsstrom durch den sekundären Leiter und lenkt die Drahtspule des Galvanometers momentan ab, die aber, nach wenigen Schwingungen wieder zur Ruhe kommt. Die Induktionsströme sind kurz dauernde, *momentane Ströme*. Man sieht aber sofort ein, daß man durch das Mittel der Induktion leicht folgendes erreichen kann. Wenn man einen Magnetstab in eine Spule hineinschiebt, dann gleich wieder herauszieht, wieder hineinschiebt und wieder herauszieht und so fort, so erhält man jedesmal einen momentanen Strom in der geschlossenen Leitung, die einzelnen kurzen Ströme aber haben abwechselnd entgegengesetzte Richtung. Folgen diese entgegengesetzten Ströme sehr rasch aufeinander, viele Male in einer Sekunde, so nennt man sie *Wechselströme*, der Stromkreis wird dann von Wechselströmen durchflossen. Im Gegensatz dazu nennt man die Ströme, die immer nach derselben Richtung fließen, *Gleichströme*. Unser Galvanometer wird aber durch Wechselströme, wie man leicht erkennt, gar nicht beeinflusst. Der erste Strom will z. B. die Drehspule nach

DIE INDUKTIONSPHÄNOMENE

rechts ablenken, der zweite, gleich starke, aber entgegengesetzte Strom sucht sie nach links abzulenken. Die Drehspule bleibt daher, wie Buridans Esel zwischen zwei Heubündeln, in Ruhe. Es gibt jedoch Apparate, die durch Wechselströme beeinflußt werden, nämlich hauptsächlich die Telephone, und mit diesen werden wir solche Ströme untersuchen können.

Daß wir es bei den Induktionsströmen mit zwei verschiedenen Arten von Induktion, der Magnetoinduktion und der Elektroinduktion, zu tun haben, ist nur scheinbar. Die primären Ströme bei der Elektroinduktion üben ja ebenfalls magnetische Kräfte aus wie die Magnete, und *in beiden Fällen sind es die magnetischen Kräfte*, welche die Induktion hervorbringen. Daher kommt es, daß man die Gesetze der Induktionsströme am einfachsten und übersichtlichsten aufstellen und aussprechen kann, wenn man in jedem Falle die Richtung und die Zahl der wirkenden *magnetischen Kraftlinien* (S. 38) zu Hilfe nimmt.

Immer wenn die Zahl der Kraftlinien (oben S. 38), die durch einen geschlossenen Drahtkreis hindurchgehen, sich ändert, entsteht in dem Drahtkreis eine elektromotorische Kraft der Induktion, die in dem Drahtkreis einen Induktionsstrom hervorbringt. Wenn solche Kraftlinien von einem Magneten ausgehen, so hat man es mit der Magnetoinduktion zu tun, wenn sie aber von einer stromdurchflossenen (primären) Spule ausgehen, so hat man Elektroinduktion. In beiden Fällen ist es aber nur die *Änderung* der Zahl der Kraftlinien in dem induzierten Kreis, die den Induktionsstrom zur Folge hat. Je rascher diese Änderung erfolgt, umso größer ist die entstehende elektromotorische Kraft der Induktion. Daraus folgen die Hauptgesetze der Induktionsströme.

● I. *Je größer die Kraftlinienzahl ist, die pro Sekunde in die von einem Draht umschlossene Fläche hineintritt oder aus ihr austritt, je größer also, wie wir es nennen wollen, der Kraftlinienfluß durch die Fläche ist, umso größer ist die erzeugte elektromotorische Kraft der Induktion.* Und dabei bringen austretende Kraftlinien immer einen Strom im Uhrzeigersinne hervor, wenn man den Drahtkreis in der Richtung der Kraftlinien ansieht, eintretende einen solchen im entgegengesetzten Sinne. Bleibt die vom Stromkreis umfaßte Kraftlinienzahl bei der Bewegung unverändert, so wird auch keine elektromotorische Kraft induziert.

Aus diesem allgemeinen Gesetz folgt zunächst: II. *Je stärker der induzierende Magnet oder der induzierende Strom ist, umso größer ist bei sonst gleichen Verhältnissen die elektromotorische Kraft in der induzierten Spule.* Denn in der Nähe eines stärkeren Magneten oder Stromes sind mehr Kraftlinien pro Quadratcentimeter vorhanden als bei schwächerem Magnete oder Strom.

Ferner folgt daraus: III. *Je rascher der primäre Strom oder Magnet in seiner Stärke oder in seiner Lage verändert wird, umso größer ist der Kraftlinienfluß, umso größer ist also auch die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes.* Je rascher, also auch je plötzlicher die Unterbrechungen eines primären Stromes stattfinden, umso größer wird die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes.

DRITTES KAPITEL

Und endlich folgt: IV. *Je größer die Anzahl der Windungen der induzierten Spule ist, umso größer wird die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes.* Denn jede Windung umfaßt eine Anzahl Kraftlinien, und die gesamte Zahl der Kraftlinien, die pro Sekunde ein- oder austreten, ist daher umso größer, je mehr Windungen die Spule hat.

Die elektromotorische Kraft der Induktionsströme wird natürlich ebenso in Volt ausgedrückt wie die elektromotorische Kraft von galvanischen Elementen. Und zwar ist die Einheit 1 Volt gerade so gewählt, daß sie bei der Induktion entsteht, wenn 100 Millionen (10^8) Kraftlinien pro Sekunde in die Fläche eines Stromkreises eintreten oder aus ihr austreten. Treten sie in 1 tausendstel Sekunde ein oder aus, so werden durch sie 1000 Volt erzeugt.

Mit den beiden bisher besprochenen Arten der Induktion, der Magnetoinduktion und Elektroinduktion, sind aber die Induktionserscheinungen noch nicht erschöpft. Es gibt noch eine dritte, besonders wichtige und interessante Art von Induktion, die ebenfalls von *Faraday* entdeckt wurde, nämlich die *Selbstinduktion*.

Ganz ebenso nämlich, wie ein in einer Drahtrolle fließender elektrischer Strom bei seinem Entstehen und Verschwinden in einer *in seiner Nähe* befindlichen Drahtrolle Induktionsströme erzeugt, ganz ebenso erzeugt er auch *in seiner eigenen Bahn* derartige Ströme. Da nämlich Induktion immer entsteht, wenn Kraftlinien in einen Leiterkreis eindringen oder aus ihm herausgehen, so durchsetzen auch die eigenen Kraftlinien des Stromkreises selbst, bei ihrem Entstehen oder Verschwinden, diesen Kreis und erzeugen dadurch Induktionsströme in ihm selbst. Am einfachsten läßt sich diese Tatsache einsehen, wenn man eben eine Drahtrolle, ein Solenoid, nimmt und den Strom durch dasselbe hindurchsendet. Es fließt dann der Strom durch lauter parallel neben- oder übereinander liegende Windungen. In dem Moment nun, wo der Strom unterbrochen wird, verschwinden die Kraftlinien, sie ziehen sich durch die von den Windungen umfaßte Fläche zurück und erzeugen Induktion. Umgekehrt breiten sich beim Schließen des Stromes die Kraftlinien durch die von den Windungen umfaßte Fläche aus und erzeugen ebenfalls Induktion. Man nennt diese Induktionsströme in der eigenen Bahn eines Stromes *Extrastrome*. Beim *Schließen* eines Stromes fließt der erzeugte Extrastrom in entgegengesetzter Richtung durch die Spule wie der ihn erzeugende primäre Strom. Der beim Schließen entstehende Extrastrom schwächt also den primären Strom. Beim *Öffnen* dagegen, wenn der Strom in einer Leitung unterbrochen wird, sucht der entstehende Öffnungsextrastrom in derselben Richtung zu fließen wie der ursprüngliche Strom. Dieser Unterschied zwischen dem Öffnungs- und dem Schließungsextrastrom hat wichtige Wirkungen, von denen wir gleich sprechen werden.

Die Größe der elektromotorischen Kraft der Extrastrome hängt natürlich auch wieder davon ab, wie rasch der primäre Strom geöffnet oder geschlossen wird.

DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

Außerdem hängt sie ab von der geometrischen Form des Stromkreises, der Stromspule, nämlich von der Anzahl ihrer Drahtwindungen, von der Größe der Fläche, welche diese umschließen, und von der Länge der Spule. Diese von der geometrischen Form der Spule abhängige Größe nennt man ihre Selbstinduktivität (oder auch ihr Selbstpotential). Je größer diese ist, umso größer ist unter sonst gleichen Umständen die elektromotorische Kraft der Extrastrome. Man hat für die Selbstinduktivität eine Einheit gewählt, welche man 1 Henry nennt. Wird nämlich in einer Stromspule, die 1 Henry Selbstpotential besitzt, die Stromstärke pro Sekunde um 1 Ampere geändert, so hat der erzeugte Extrastrom die elektromotorische Kraft 1 Volt. Den tausendsten Teil von 1 Henry nennt man 1 Millihenry, und die Instrumentenfabriken stellen Spulen her, die 1 Henry oder 1, 5, 10 Millihenry usw. Selbstinduktion besitzen. Will man die Extrastrome in einer Rolle sehr klein machen, so wickelt man die Rolle so, daß man den Draht in der Mitte umbiegt und die beiden Hälften gleichzeitig nebeneinander wickelt. Dann fließen in zwei nebeneinander liegenden Drähten die Ströme immer in entgegengesetzter Richtung, ihre Induktionswirkungen heben sich also auf. Man nennt eine solche Spule *bifilar gewickelt*.

Umgekehrt kann man auch eine Rolle von sehr großer Selbstinduktivität herstellen, auch wenn sie nur wenige Windungen enthält, wenn man in sie einen Eisenkern hineinschiebt, weil dieser die Kraftlinienzahl und daher die Induktionswirkungen sehr verstärkt. Man bezeichnet eine Spule mit geringem Widerstand, aber großer Selbstinduktion als *Drosselspule*.

Da der Extrastrom, der beim Schließen eines Stromes entsteht, diesem Strom entgegengesetzt gerichtet ist, so kommt ein Strom, der geschlossen wird, nicht sofort auf seine volle Stärke, die durch das Ohmsche Gesetz gegeben ist, sondern erst allmählich, nämlich erst dann, wenn der Schließungsextrastrom abgelaufen ist. Dagegen bei der Öffnung eines Stromes findet der Öffnungsextrastrom gar keine geschlossene Bahn mehr vor, er kann also gar nicht entstehen, die Induktion zeigt sich vielmehr daher nur dadurch an, daß die Enden der geöffneten Spule einen großen Spannungsunterschied zeigen, durch welchen zwischen ihnen ein Funke, der sogenannte *Öffnungsfunke*, entsteht. Allgemein ist deshalb die elektromotorische Kraft, die Spannung des Öffnungsextrastromes, erheblich größer als die des Schließungsextrastromes, weil bei dem letzteren eben die Geschwindigkeit, mit der die Zahl der Kraftlinien sich ändert, der Kraftlinienfluß, kleiner ist als beim Öffnungsextrastrom. Und aus demselben Grunde haben auch bei der Elektroinduktion die in der sekundären Rolle entstehenden Öffnungsströme erheblich höhere Spannung als die Schließungsströme.

Die Faradaysche Entdeckung der Induktionsströme hat nun zu den allerwichtigsten Anwendungen geführt, von denen hier zunächst diejenigen besprochen werden sollen, welche auf der Elektroinduktion beruhen.

Da nach dem oben S. 54 angegebenen Gesetz IV die elektromotorische Kraft

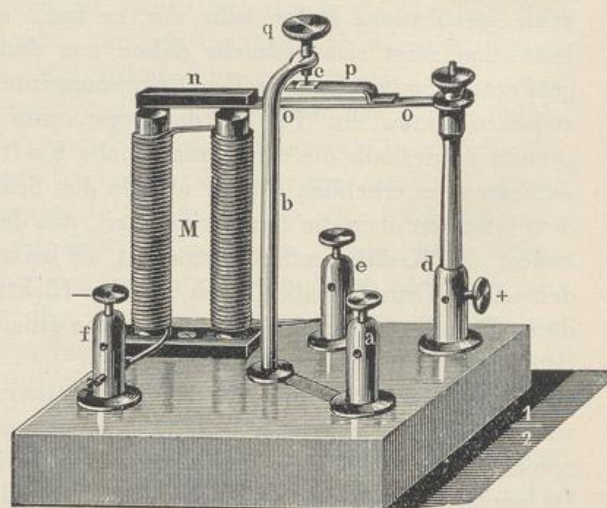
DRITTES KAPITEL

in einer induzierten sekundären Rolle umso größer ist, je mehr Windungen die Rolle besitzt, so hat man es in der Hand, einfach dadurch, daß man der sekundären Spule eine große Anzahl von Windungen gibt, in dieser sehr hohe elektromotorische Kräfte, solche von Zehntausenden und Hunderttausenden von Volt, zu erzeugen. Wenn die sekundäre Rolle ungeschlossen, offen, ist, so haben ihre Enden eben diese sehr hohe Spannung von Hunderttausenden von Volt, und diese zeigen sich dadurch, daß kräftige Funken zwischen diesen Enden überspringen. Man nennt derartig konstruierte Apparate *Induktionsapparate* oder *Funkeninduktoren*. Sie bestehen aus einer primären und einer sekundären Spule, welche letztere sehr viele Windungen besitzt. Fig. 45 auf S. 51 zeigt eine einfache Form eines Induktionsapparates.

Wenn man den primären Strom nicht bloß einmal unterbrechen und wieder schließen will, sondern sehr rasch hintereinander Schließungen und Öffnungen desselben vornehmen will, so kann man sich dazu verschiedener Anordnungen bedienen. Das einfachste Mittel dazu, das allerdings nur angewendet werden kann, wenn der primäre Strom eine geringe Stärke hat (unter 1 Ampere), hat ein Frankfurter Arzt, Dr. Neef, erfunden, indem er eine Anordnung angab, bei welcher durch einen Elektromagneten eine *schwingende* Bewegung einer Feder erzeugt wird. Dieser Apparat wird nach ihm als *Neef'scher Hammer* bezeichnet. Führt man, wie in Fig. 47, einen Strom in Windungen um einen hufeisenförmig gestalteten Eisenkern M herum, so wird dieser magnetisch und zieht ein über ihm befindliches Eisenstück n, das man den *Anker* nennt, an. Dieser Anker aber ist an einem federnden Stück Stahl o o befestigt, und dieser trägt eine andere Feder p, welche von einer Spitze c berührt wird. Der eine Pol eines Elements wird mit einer Klemme f verbunden, und der Strom geht von da durch die Windungen des Elektromagneten M und dann zur Klemme e. Zwischen e und d

wird irgend ein elektrischer Apparat oder ein Draht eingeschaltet, so daß der Strom dann von d nach o in die Feder p gelangt, an welcher die Platinspitze c anliegt. Durch diese Spitze geht er dann in die Metallsäule b zur Klemme a und von dieser zum Element zurück. Wenn der Strom um den Elektromagneten fließt, wird dieser magnetisch und zieht den Anker n an. Dadurch wird aber die Feder p von der Platinspitze c weggezogen. Dadurch ist aber der Strom

Fig. 47



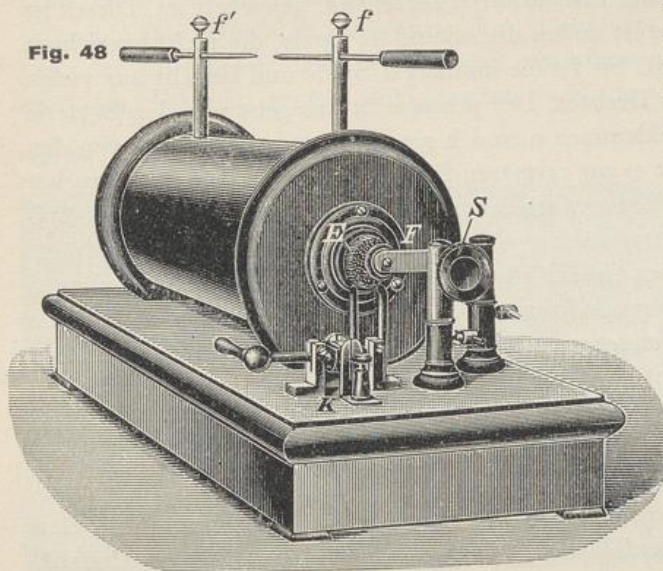
DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

unterbrochen, folglich auch der Elektromagnet nicht mehr magnetisch. Infolgedessen wird n durch die Feder o o wieder in die Höhe geschleunigt und die Verbindung mit c wiederhergestellt, und nun beginnt das Spiel von neuem. Es findet also durch diesen Apparat von selbst eine fortwährende Schließung und Unterbrechung des Stromes statt und dadurch zugleich eine hin und her schwingende Bewegung des Ankers.

Ein solcher Hammer bewirkt nun bei einem Induktionsapparat rasch aufeinanderfolgende selbsttätige Öffnungen und Schließungen des primären Stromes. Man nennt ihn hier den *Unterbrecher*. An dem Apparat Fig. 45 auf S. 51 ist ein solcher Unterbrecher bei E angebracht. Um bei den Induktionsapparaten die Spannung der entstehenden Induktionsströme zu vergrößern, bringt man immer in die primäre Spule noch ein Bündel von weichen Eisendrähten hinein, wie es Fig. 45 bei M zeigt. Dieses bewirkt nämlich, daß die Induktionen nicht bloß von dem entstehenden und vergehenden Strom, sondern auch von dem entstehenden und vergehenden Magnetismus der Eisendrähte erzeugt und dadurch stärker werden.

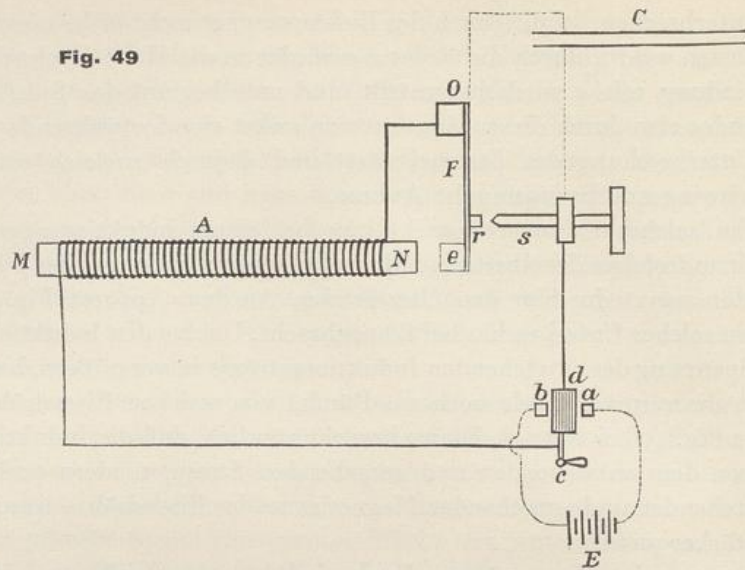
Fig. 48 zeigt einen größeren Funkeninduktor. Man sieht ganz innen den Eisenkern E etwas nach außen hervorragend. Um diesen ist zunächst die primäre Spule, dann, von der primären ganz isoliert, nach außen hin die sekundäre Spule gewickelt. Die beiden Spulen sind außen und seitlich von einer Ebonithülle bedeckt. Die Enden der sekundären Spule gehen in die Metallklemmen f und f' aus, welche die *Pole* des Induktionsapparates genannt werden. Zwei verschiebbare Metallstangen mit Ebonitgriffen, welche durch f und f' gesteckt sind, erlauben die Enden der sekundären Rolle einander zu nähern oder voneinander zu entfernen. Die Unterbrechung des primären Stromes geschieht durch einen Federunterbrecher F . Der Federunterbrecher ist ein Neef'scher Hammer, bei welchem

Fig. 48



der Eisenkern der primären Spule selbst als Elektromagnet dient. Bei der Trennung der Feder des Hammers von der Spitze entstehen aber Funken zwischen ihnen, welche die Wirksamkeit des Apparates schwächen. Um diese Schwächung zu beseitigen, verbindet man die Feder einerseits, die Spitze andererseits mit je einer großen Fläche von Stanniolpapier, während beide Flächen durch

Fig. 49

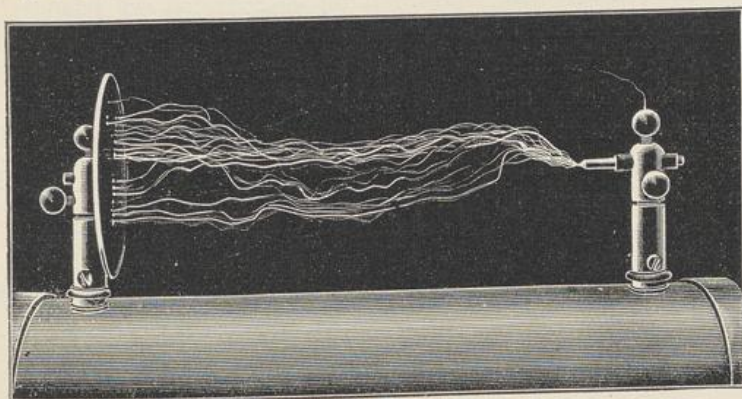


paraffiniertes Papier getrennt sind. Dieser Apparat ist ein *Kondensator* (S. 30) und liegt in dem Fußbrett des Induktors. Seine Wirkung beruht darauf, daß die sonst in dem Funken sich ausgleichenden Elektronen hier auf große Flächen verteilt sind, die dadurch, daß sie nahe beieinander stehen, einen geringeren Spannungsunterschied zwischen sich bewirken. Dadurch wird auch der Spannungsunterschied zwischen Spitze und Feder geringer, so daß die Funken zwischen ihnen schwächer werden oder ganz aufhören. Das Schema des ganzen Induktionsapparates ist in **Fig. 49** gezeichnet. Man sieht in dieser eine Drahtspule aus dickem Draht, A, die über einen Eisenkern M N, aus einem Bündel Eisendrähten bestehend, gewickelt ist. Dieses ist die primäre Spule. Um sie ist außen die sekundäre Spule, die nicht gezeichnet ist, isoliert herumgewickelt. Sie ist die induzierte Spule und besteht aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes. Der primäre Strom geht von der Batterie E zunächst zu den Mittelklemmen a und b eines Kommutators, und von den Endklemmen c und d geht er zur primären Spule, aber durch den Unterbrecher hindurch. Dieser besteht hier einfach aus einer Feder F, die an einem Fuß O befestigt ist und die ein Eisenstück e gerade dem Eisenkern N gegenüber trägt. Auf der anderen Seite trägt sie ein Platinstück r, welches gegen die Spitze s, die verstellbar ist, sich anlegen oder von ihr sich fortbewegen kann. Zwischen s und r ist der erwähnte Kondensator C parallel geschaltet, indem s sowohl wie O mit je einer von zwei getrennten großen Metallflächen verbunden sind. Solche Induktionsapparate liefern nun außerordentlich hohe Spannungen, allerdings, wie man leicht übersieht, zunächst Spannungen nach abwechselnd verschiedener Richtung. Denn da die Induktionsstöße beim Schließen die entgegengesetzte Richtung haben wie beim Öffnen, so werden hierbei an den Polen Spannungsunterschiede ebenfalls von verschiedener Richtung hervorgebracht,

DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

d. h. bald ist die Spannung an f (Fig. 48) höher als an f' , bald umgekehrt. Wir wissen jedoch (S. 55), daß die beim *Öffnen* des primären Stromes entstehenden Induktionsspannungen viel höher sind als die beim Schließen, so daß also doch im wesentlichen nur die Induktionsströme durch *Öffnen* zur Wirksamkeit kommen und daher dauernd der eine der Pole eine höhere Spannung erreicht als der andere. Bei diesen hohen Spannungen zeigt sich nun sehr auffallend die Erscheinung, daß zwischen den Polen glänzende, klatschende *elektrische Funken* überspringen. Wir können hier leicht, je nach der Größe der Funkeninduktion, Funken von 1 cm, ja von 10, von 50 cm und sogar von über 1 m Länge erhalten. Der Anblick eines solchen Funkenstromes zwischen den Polen eines Induktionsapparates ist durch **Fig. 50** gegeben. Durch die hohe Spannung wird die isolierende Luftschicht durchbrochen, und in dem Funken findet ein Ausgleich der Spannungen statt. Je stärker der Spannungsunterschied zwischen den Enden der sekundären Rolle, also zwischen den Polen des Induktionsapparates, ist, umso weiter können die Polenden (die Enden der Metallstangen von f und f' in Fig. 48) voneinander entfernt werden, ohne den Funkenübergang aufhören zu lassen. Es ist daher umgekehrt die Größe des Abstandes, in dem gerade noch Funken übergehen, die sogenannte *Schlagweite*, ein Maß und ein Kennzeichen für die Größe des erzeugten Spannungsunterschiedes, den man kurz die *Spannung* des Induktors nennt. Deswegen klassifiziert man die Induktionsapparate nach dieser Schlagweite und spricht von Apparaten mit 5, 10, 15 cm usw. Schlagweite. Schlagweiten bis 25 cm lassen sich durch verhältnismäßig kleine und einfache Apparate erzeugen. Es kommt immer auf die Zahl der Umwindungen der sekundären Rolle an. Einen ungefähren Anhalt über die Abhängigkeit der Schlagweite von der sekundären Windungszahl erhält man durch die Angabe, daß zur Erzeugung von je 10 cm Schlagweite immer zirka 10 000 bis 15 000 Windungen auf die sekundäre Spule aufgebracht werden müssen. Diese Angabe ist aber nur eine ungefähre, die Stärke des primären Stromes, die Zahl der Unterbrechungen pro Sekunde beeinflussen natürlich diese Angabe erheblich. Bei sehr großen Schlagweiten, von 100 cm und mehr, macht die

Fig. 50



DRITTES KAPITEL

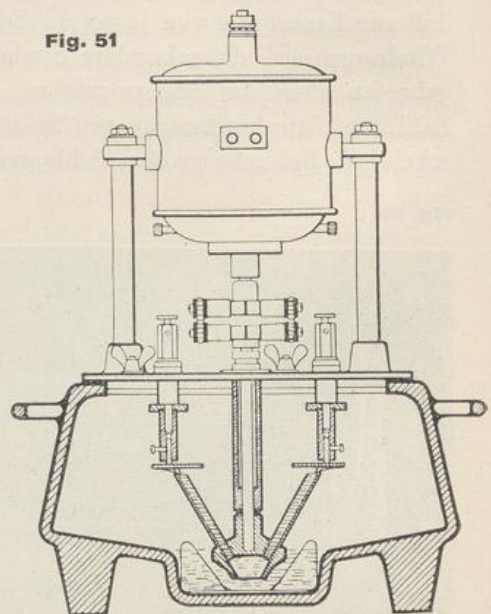
Herstellung genügender Isolation gegen die hohen Spannungen große Schwierigkeiten. Doch werden solche großen Apparate jetzt in tadelloser Ausführung von verschiedenen Fabriken erzeugt.

Bei den großen Induktionsapparaten werden Unterbrecher benutzt, die für starke Ströme und für Spannungen von 100 oder 200 Volt eingerichtet sind, während der Federunterbrecher nur für höchstens 10 Volt geeignet ist. Sehr vorzügliche Unterbrecher für starke Ströme sind die sogenannten *Gasunterbrecher*, bei denen durch einen Quecksilberstrahl, der aus einer Düse oder Rinne ausströmt und bei dem durch einen Motor diese Düse oder Rinne im Kreise herumgedreht wird, abwechselnd Kontakt gemacht und unterbrochen wird.

Fig. 51 zeigt einen solchen Apparat, den *Konstantunterbrecher* der Siemens-Reiniger-Veifawerke. Oben ist ein Elektromotor, in welchen der Strom einer Zentrale eingeführt wird. Der Motor dreht sich und mit ihm die nach unten führende Röhre, welche in Quecksilber eintaucht und durch die Zentrifugalkraft dasselbe in die seitlichen Rinnen steigen läßt, aus denen es ausströmt, wobei es abwechselnd die darüber gezeichneten Metallplatten trifft und dadurch Kontakt macht oder nicht trifft und dadurch den Strom unterbricht, der durch die beiden sichtbaren, auf dem unteren Teil sitzenden Klemmen den Kontaktplatten zugeführt wird. Die Apparate heißen Gasunterbrecher, weil sie, um die Oxydation des Quecksilbers zu vermeiden, mit Leichtgas gefüllt sind.

Wenn man sich die Wirkung eines Funkeninduktors näher überlegt, so sieht man, daß man in die primäre Spule einen Strom von etwa 100 Volt Spannung, aber ziemlich großer Stärke, hineingibt und daß man aus der sekundären Spule Ströme von vielen tausenden Volt Spannung, aber von entsprechend geringerer Stärke herausbekommt. Der Funkeninduktor ist nach dieser Betrachtung ein *Transformator*, er transformiert starke Ströme von geringer Spannung in Ströme von sehr hoher Spannung, aber entsprechend geringerer Stärke. Denn da man Energie nicht gewinnen kann, sondern durch Unvollkommenheiten nur verlieren, so kann der Effekt des sekundären Stromes höchstens gleich dem des primären Stromes sein. Gewinnt man also viel höhere Spannung im sekundären Leiter, so muß die Stromstärke in ihm entsprechend geringer sein.

Fig. 51



VIERTES KAPITEL

DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

Wenn man auch prinzipiell auf verschiedene Weise, durch chemische Prozesse, durch Wärme, durch Bewegung (Induktion) elektrische Ströme von jeder gewünschten hohen Spannung und von beliebig großer Stromstärke erzeugen kann, so hat sich doch von diesen Methoden die eine, nämlich die Erzeugung von Strömen durch Induktion, als die bei weitem zweckmäßigste erwiesen, wenn es sich darum handelt, auf einfache Weise *starke* Ströme von beliebig hoher Spannung hervorzubringen. Die elektrischen Ströme, die heutzutage in jeder Stadt, fast in jedem Dorf zu den vielfältigsten Zwecken benutzt werden, werden allgemein durch Induktion, d. h. durch die Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie gewonnen, und zwar vermittels Induktion durch Magnete, durch *Magnetoinduktion*.

Sobald man, das ist ja die Entdeckung von *Faraday*, einen Drahtkreis, am besten eine Drahtspule, in der Nähe eines Magneten irgendwie bewegt, so werden in dem Drahtkreis, in der Drahtspule momentane Induktionsströme erregt. Vorteilhaft ist es, in die Spule noch einen Kern von weichem Eisen zu bringen, da dieser in der Nähe des Magneten selbst magnetisch wird. Die Veränderung der Stärke des Magnetismus im Eisenkern erzeugt dann selbst ebenfalls in der umgebenden Drahtspule kräftige Induktionsströme.

Welche Form man den Drahtspulen mit ihren Eisenkernen gibt, ist zunächst gleichgültig. Man kann flache Eisenkerne mit Draht umwickeln, man kann lange Eisenzylinder entweder der Quere nach oder der Länge nach mit Drahtwindungen umgeben, man kann endlich eiserne Ringe ganz mit Draht umwinden; in jedem Falle werden Induktionsströme entstehen, wenn diese Spulen mit ihren Kernen in der Nähe von Magneten bewegt werden. Nur wird natürlich je nach der Anordnung die Induktion bald stärker, bald schwächer sein. Im allgemeinen wird man selbstverständlich darauf sehen müssen, daß der zu induzierende Draht sich in möglichst starken magnetischen Feldern bewegt. Man gibt den Spulen immer eine rotierende Bewegung. Wenn sich dabei eine Spule abwechselnd zu einem Nordpol und dann zu einem Südpol hin bewegt, so entstehen natürlich zunächst immer Ströme wechselnder Richtung, *Wechselströme*.

Solche Maschinen, die durch Bewegung von Drahtspulen gegen Magnete (oder umgekehrt) Ströme erzeugen, nennt man *magnetelektrische Maschinen*. Um die Drahtspulen bequem vor abwechselnden Polen vorbeizubewegen, sind die Magnete immer Hufeisenmagnete. Man nennt den Hufeisenmagneten, welcher die Ströme induziert, den *induzierenden Magneten* oder auch den *Feldmagneten*,

VIERTES KAPITEL

die Drahtspulen mit ihren Eisenkernen bezeichnet man als *Induktor* oder *Anker*.

Man kann diese Maschinen so konstruieren, daß man den Feldmagneten rotieren und den Anker feststehen läßt. Das hat sogar Vorteile aus dem Grunde, weil es dadurch ohne Schwierigkeit möglich ist, die Ströme aus den Drahtspulen des feststehenden Ankers in einen äußeren Stromkreis zu leiten.

Will man umgekehrt, wie es durchgängig geschieht, den Magneten feststehen lassen und die Spulen bewegen, so muß man eine Einrichtung treffen, daß man von den Enden der beweglichen Spulen den Strom für den äußeren Stromkreis, der sich ja nicht mitbewegt, auch während der Bewegung abnehmen kann. Dies erreicht man dadurch, daß man die Drahtenden der Spulen des Ankers an die Drehungsachse führt, auf die Achse zwei Metallringe aufschiebt, die voneinander und von der Achse isoliert sind, und jedes Ende des Spulendrahtes mit einem dieser Ringe verbindet. Diese beiden Ringe bilden also die beiden Enden der Spule, sie rotieren mit der Spule mit. Auf diesen Ringen läßt man je eine feststehende Bürste aus Kupferdraht oder auch aus Kohle schleifen und verbindet diese Bürste mit dem äußeren Schließungskreis. Dadurch wird der Strom aus dem Anker in den äußeren Schließungskreis geführt.

In jedem Fall werden die Spulen des Ankers, wenn sie sich abwechselnd vor einem Nordpol und dann vor einem Südpol bewegen, von *Wechselströmen* durchflossen, und wenn man in der genannten Weise die freien Enden der ganzen Spule an metallische Ringe auf der Achse führt, an die man durch Bürsten den äußeren Stromkreis anlegt, so wird auch der äußere Stromkreis von Wechselströmen durchflossen.

Man kann aber, wie zuerst ein Italiener, *Pacinotti*, zeigte, auch eine Anordnung treffen, bei welcher, obwohl die Spulen selbst Wechselströme enthalten, der äußere Stromkreis nicht von Wechselströmen, sondern von gleichgerichteten Strömen durchflossen wird. Dieses wurde von Pacinotti dadurch erreicht, daß er als Eisenkern einen geschlossenen eisernen Ring nahm und diesen vollständig mit Draht umwickelte und diesen Ring zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten rotieren ließ. Ein solcher Induktor, den man gewöhnlich den *Grammeschen Ring* nennt, weil er durch *Gramme* erst allgemein bekannt wurde, wird praktisch so ausgeführt, wie es **Fig. 52** zeigt. Die Umwicklung des Ringes besteht aus einer großen Anzahl von einzelnen Drahtspulen. Das Ende einer Spule und der Anfang der folgenden werden an die Drehungsachse geführt und dort zusammen in Kupferstreifen *c c* eingelötet. Die Kupferstreifen sitzen alle voneinander isoliert auf der Achse und drehen sich mit dieser. Man bezeichnet diesen wichtigen Teil der Maschine als *Kommutator* oder *Kollektor* (*Stromsammelr*). Es sind also auf dem Kollektor ebenso viele Kupferstreifen vorhanden wie einzelne Spulen, und die Spulen sind alle hintereinander verbunden, so daß sie eine vollständige gleichlaufende Umwicklung des Eisenringes bilden. Auf dem Kollektor schleifen nun an bestimmten Stellen *P* und *P*₁ zwei Bürsten *B* und *B*₁, welche von ihnen den Strom abnehmen und in die äußere Leitung

DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

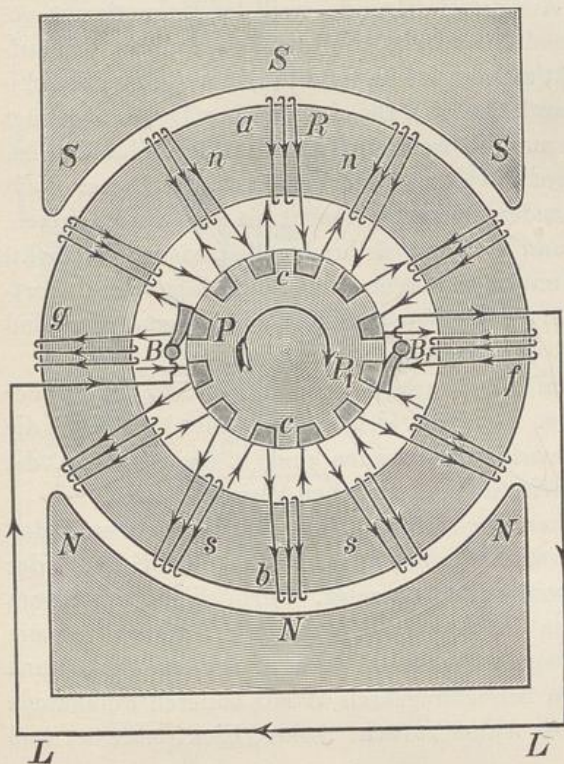
L L senden. Oberhalb und unterhalb des Ringes befinden sich die Pole des Feldmagneten, etwa oben der Südpol S, unten der Nordpol N. Die Richtung der in einem Draht durch Bewegung in einem Magnetfeld entstehenden Induktionsströme ist durch die *Rechte-Hand-Regel* bestimmt. Man hält den Zeigefinger der rechten Hand in die Richtung der Kraftlinien, den Daumen in die Richtung der Bewegung, dann gibt der Mittelfinger die Richtung des entstehenden Induktionsstromes. Durch Anwendung dieser Regel sieht man, daß alle Spulen des Ringes, die gerade in der oberen Hälfte sich befinden, Induktionsströme von einer und zwar alle von derselben Richtung, und die in der unteren Hälfte Ströme von der entgegengesetzten Richtung liefern müssen. In unserer Figur fließen, von vorn gesehen, oben die Ströme von hinten nach vorn, unten dagegen von vorn nach hinten. Zu der einen Bürste B_1 fließt also dauernd, wie die Pfeile der Figur zeigen, von oben und unten der Strom hin, von der anderen B fließt er nach oben und unten fort. Legt man an diese Bürsten die äußere Leitung L L an, so fließt in dieser der Strom stets von B_1 nach B, bleibt also tatsächlich stets gleichgerichtet.

Bei dem Grammeschen Ring berühren also die Bürsten nicht immer *dieselben* Drahtenden, sondern im Gegenteil *jedesmal andere*. Bei der Rotation des Ringes kommen immer andere und andere Kupferstreifen, also die Enden von anderen

und anderen Spulen an die Bürsten. Diese letzteren nehmen also der Reihe nach von den *aufeinanderfolgenden* Spulen den Strom ab, und daher kommt es, daß sie immer einen Strom von gleicher Richtung aussenden, weil eben jede Spule, sobald sie in dieselbe Lage in bezug auf die Magnetpole kommt, gleich induziert wird.

Ein wesentliches Moment zur Vervollkommenheit der Maschinen besteht aber in folgendem. Die Feldmagnete einer Maschine bildet man natürlich zweckmäßig als *Elektromagnete* aus, weil diese viel kräftiger sind, viel stärkere magnetische Felder erzeugen als Stahlmagnete. Aber hier trat nun sofort folgende wichtige Frage auf:

Fig. 52



VIERTES KAPITEL

Um die Feldmagnete zu bilden, wenn sie Elektromagnete sein sollen, braucht man einen Strom, der eben um die Eisenkerne der Feldmagnete herumfließt. Muß man diesen Strom aus irgendeiner Quelle nehmen, z. B. aus einer Batterie, oder kann man den Strom, der im Anker entsteht, selbst zur Magnetisierung der Feldmagnete benutzen?

Die Stellung dieser Frage war eine bedeutende und prinzipiell höchst wichtige Tat. Und der Fortschritt, der in der Stellung und Lösung dieser Frage liegt, ist eine der bedeutendsten Errungenschaften, welche die Technik dem Genie von Werner Siemens zu danken hat, der im Jahre 1867 diese Frage aufwarf und zugleich löste. Siemens sagte sich, daß es gewiß nicht nötig sei, die Elektromagnete durch einen fremden Strom, etwa von einer Batterie, erregen zu lassen, sondern daß man diese durch den Strom der Maschine selbst erregen lassen könne. Wenn einmal in einem Anker ein Strom erzeugt sei, so braucht man diesen ja bloß in Windungen um die Eisenkerne der Feldmagnete passend herumzuführen, um diese zu starken Magneten zu machen. Dies ist das berühmte *Dynamoprinzip* von Siemens, und nach diesem Prinzip, entweder in direkter oder in modifizierter Anwendung, werden sämtliche elektrischen Maschinen gebaut. Es ist bei diesen Maschinen von vornherein gar kein eigentlicher Magnet vorhanden; der schwache Magnetismus, der in jedem Eisenkern vorhanden ist, leitet die Wirkung ein, und erst durch den Gang der Maschine werden die Magnete erzeugt und beeinflussen dann in der erheblichsten Weise die Wirksamkeit der Maschine. Aus diesem Grunde, weil der Magnetismus gewissermaßen nur als Zwischenprodukt auftritt, um die Verwandlung der aufgewendeten Arbeit in Elektrizität zu vermitteln, nannte Siemens diese Maschinen *Dynamomaschinen* (von dynamis, Arbeit). Bei einer solchen Dynamo genügt der schwache Magnetismus, der auch in weichem Eisen immer vorhanden ist, um zuerst einen schwachen Strom in dem Anker zu erzeugen. Dieser fließt nun um die Eisenkerne in passender Richtung, macht sie also zu Magneten, allerdings zunächst schwachen, und wird nun dadurch selbst wieder verstärkt. So verstärkt der Strom fortwährend den Magnetismus, der Magnetismus fortwährend den Strom, bis schließlich die Magnete zum Maximum magnetisiert sind und so die höchste Wirksamkeit der Maschine erreicht ist.

Die Dynamomaschinen gestatten aber auch gewisse Modifikationen in der Anwendung des Dynamoprinzips. Es lassen sich nämlich die drei Teile, die bei jeder arbeitenden Dynamomaschine vorhanden sind, 1. der Anker, 2. die Magnete, 3. der äußere Stromkreis, in verschiedener Weise schalten.

Zunächst kann man den Anker der Maschine, die Feldmagnete und den äußeren Schließungskreis *hintereinander schalten*, so daß also das Schema der Dynamomaschine so aussieht, wie es **Fig. 53** zeigt. Darin fließt der Strom der Reihe nach von den Drähten des Ankers R durch die Bürste a um die Windungen der beiden Elektromagnetschenkel M herum zur einen Polklemme K₂, von dieser durch den äußeren Schließungskreis W zur anderen Polklemme K₁ und durch die Bürste b in den Anker zurück. Anker, Elektromagnet und

DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

Fig. 53

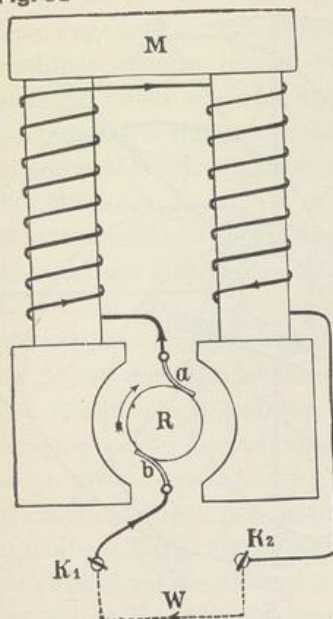
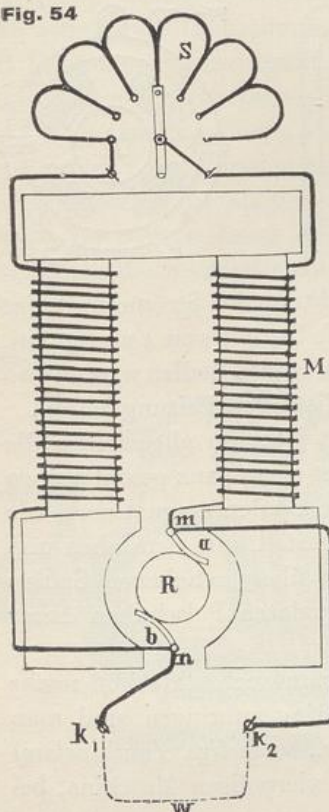


Fig. 54



GRAETZ FÜR ALLE 5

äußerer Schließungsdraht bilden also einen einzigen unverzweigten Stromkreis. Solche Maschinen nennt man *Hauptstrommaschinen*.

Man kann aber auch den Strom, der von dem Anker kommt, direkt in die äußere Leitung führen und um die Magnete herum nur einen Zweigstrom senden. Eine solche Anordnung zeigt das Schema in **Fig. 54**. Hier teilt sich der Strom, der durch die Bürsten a und b aus dem Anker R kommt, bei m und n und geht zum Teil zu den Polklemmen k_2 und k_1 und von diesen durch den äußeren Schließungskreis w, zum Teil aber geht er um die Magnete M. Man bezeichnet Maschinen mit dieser Anordnung als *Nebenschlußmaschinen*. In die Magnetbewicklung wird gewöhnlich noch ein variabler Widerstand S (ein Regulierwiderstand) eingeschaltet, um die Stärke des Magnetstroms beliebig zu verändern. Seine Einrichtung ist aus der Figur selbst klar und ist auch auf S. 24 beschrieben. Durch Regulieren des Widerstandes der Magnetbewicklung kann man, wie wir gleich besprechen werden, die Leistung der Maschine regulieren. Gerade aus diesem Grunde werden Nebenschlußmaschinen jetzt meistens, in mehr als 90 Proz. aller Fälle, angewendet.

Eine dritte Schaltung, die in manchen Fällen mit Vorteil angewendet wird, ist die sogenannte *gemischte Schaltung* oder *Compound-schaltung*. Diese besteht darin, daß man die Magnete sowohl durch den Hauptstrom als durch einen Zweigstrom erregen läßt. So gebaute Maschinen nennt man *Compoundmaschinen*. Sie werden aber nur in wenigen ganz bestimmten Fällen benutzt.

Der Grammesche Ringanker ist übrigens heute nur noch ein historischer Apparat. Der Anker der Dynamomaschinen wird jetzt durchgängig als sogenannter *Trommelanker* gebildet. Dabei liegen die Drähte auf einem eisernen Zylinder, parallel der Drehungsachse, und werden auf der Vorderfläche des Zylinders zu den einzelnen Lamellen des Kommutators geführt und durch

VIERTES KAPITEL

diese passend zusammengeschaltet. **Fig. 55** zeigt die Verbindungen der Drähte. Es ist dabei angenommen, daß auf den Zylinder 8 Drähte (oder Drahtspulen) gelegt sind, so daß der Kollektor auch 8 Segmente a bis h enthält. Der Draht 1 geht z. B. auf der Vorderfläche des Zylinders von a zum Punkt 1, dann über den Zylinder und auf der Rückfläche (wie die punktierte Linie es anzeigt) schrägnach unten und kommt auf der Vorderfläche an den Punkt 1. Dieser wird nun durch die gebogene Verbindung mit dem nächsten Kollektorsegment b verbunden, von dem der Draht 2 ausgeht. Dieser gelangt ebenso nach 2', wird zu c geführt, von dem aus Draht 3 weitergeht usw. Dreht sich der Zylinder mit den Drähten im Sinne des Uhrzeigers und ist oben ein Nordpol, unten ein

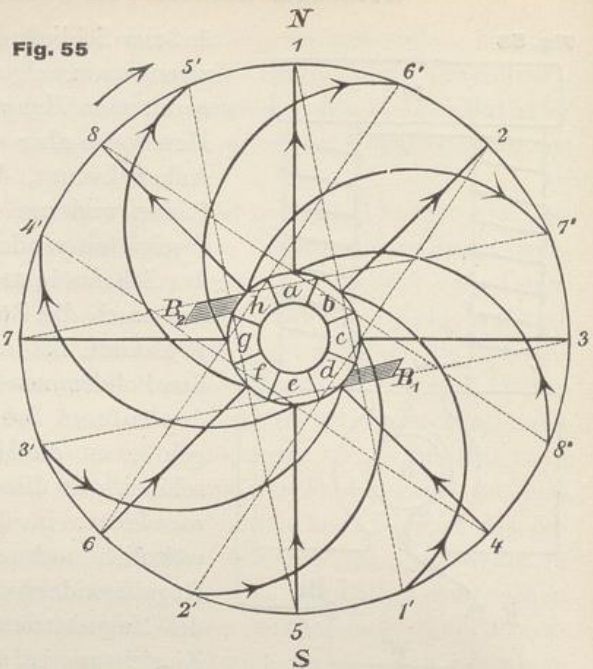
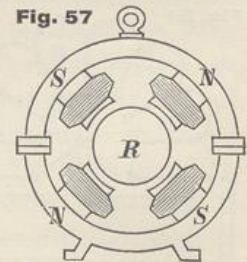


Fig. 56



Fig. 57



Südpol, so geben die Pfeile an den Drähten die Richtung der Ströme nach der Rechten-Hand-Regel an. Zum Segment d fließen die Ströme von 4 und 3' hin, von Segment h fließen sie nach 8 und 7' fort. An diesen beiden Stellen werden also die Bürsten B_1 und B_2 angelegt, welche die Ströme in die äußere Leitung führen. Die äußere Form der Maschinen aller Fabriken ist jetzt im allgemeinen die gleiche geworden. Das Eisen der Feldmagnete bildet einen ganz geschlossenen Kreis um den Anker und wird durch aufgeschobene Spulen magnetisiert, wie es **Fig. 56** zeigt. Man sieht ein geschlossenes Eisengestell, von dem oben und unten Eisenkerne nach innen gehen, die durch die übergeschobenen Spulen magnetisiert werden. Zwischen den passend abgerundeten Polschuhen dieser Magnetkerne befindet sich der Anker R.

Bei dieser Ringform des Magnetgestells kann man nun auch statt *bloß zweier Magnetpole eine beliebige gerade Anzahl* auf dem Ring anbringen, und man unterscheidet danach vierpolige, sechspolige usw., *vielpolige (multipolare) Maschinen*. **Fig. 57** gibt das Schema einer solchen vierpoligen Maschine, bei

DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

welcher die vier abwechselnden Nord- und Südpole auf einem Ringgestell aus Eisen angebracht sind und den innen liegenden Anker induzieren. Größere Maschinen werden immer vielpolig ausgeführt. Zwischen je zwei entgegengesetzten Polen schleifen Bürsten auf dem Kollektor, so daß eine sechspolige Maschine sechs Bürsten enthält. Die einander entsprechenden Bürsten können hintereinander oder parallel verbunden werden.

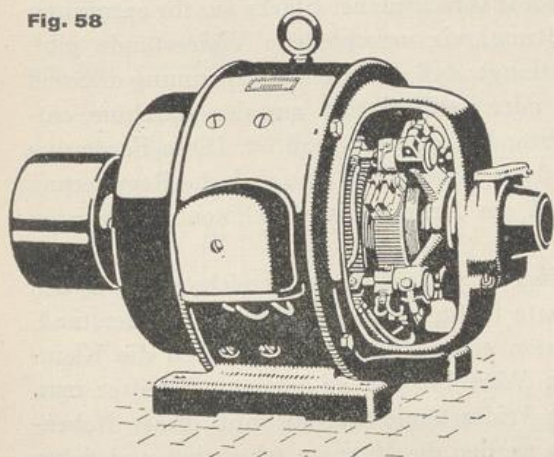
Eine Maschine dieser Art zeigt **Fig. 58**. Es ist das eine Maschine der Siemens-Schuckertwerke (SSW) in Berlin, die vier Magnetschenkel und einen Trommelanker besitzt. Der Trommelanker ist breit, auf dem eisernen Ring sitzen vier Magnetpole, der Kommutator enthält also vier Bürstenreihen, von denen jede aus zwei Bürsten besteht.

Der Anker der Dynamomaschine wird gewöhnlich von einer Dampfmaschine oder Gasmaschine gedreht, und zwar in der Weise, daß ein Riemen vom Schwungrad der Dampfmaschine auf eine Riemenscheibe der Dynamomaschine gelegt wird. Dieser Antrieb wird namentlich deswegen oft gewählt, weil die Dynamomaschinen gewöhnlich sehr viel rascher rotieren müssen als die Dampfmaschinen. Bei größeren Maschinen mit vielen Polen wird die Dynamomaschine auch direkt auf die Achse der Dampfmaschine gesetzt und rotiert dabei langsam. Eine solche Kombination nennt man eine *Dampfdynamo*. Die größeren Dynamomaschinen werden auch vielfach von *Dampfturbinen* angetrieben, welche an sich sehr große Umdrehungszahlen haben. Man setzt auch dabei gewöhnlich die Dynamomaschine direkt auf die Achse der Turbine und nennt eine solche Kombination *Turbodynamo*.

In den Dynamomaschinen wird also durch die Drehung des Ankers eine elektromotorische Kraft (Spannung) erzeugt, welche einen Strom sowohl durch die Ankerdrähte selbst als um die Magnete und durch den äußeren Stromkreis treibt. Die Größe dieser elektromotorischen Kraft hängt nun direkt ab von der Stärke des magnetischen Feldes; je stärker dieses ist, desto größer ist auch

die elektromotorische Kraft. Die Stärke des Magnetfeldes hängt aber davon ab, wie der Eisenkern des Ankers gegen die Pole der Magnete liegt. Je näher der Anker an diesen ist, umso stärker ist das Feld, umso größer ist die Spannung der entstehenden Induktionsströme. Ferner hängt die Spannung ab von der Drehungsgeschwindigkeit des Ankers. Je rascher der Anker sich dreht, umso größer ist die erzeugte elektromotorische Kraft. Bei sonst gleichbleibenden

Fig. 58



VIERTES KAPITEL

Verhältnissen wächst die elektromotorische Kraft einer solchen Maschine direkt mit der Tourenzahl des Ankers (Zahl der Umdrehungen in einer Minute). Endlich hängt die elektromotorische Kraft noch wesentlich ab von der Zahl der Drähte, die auf dem Eisenkern des Ankers liegen. Die elektromotorische Kraft wächst direkt mit der Zahl dieser Drähte. Ein Anker, der mit 1000 Drähten versehen ist, gibt unter sonst gleichen Umständen eine doppelt so große elektromotorische Kraft wie ein Anker, der nur mit 500 Windungen belegt ist.

Man hat es daher im allgemeinen bei einer Maschine von bestimmter Form (bestimmtem Typus) in der Hand, durch die Zahl der Ankerwindungen und durch die Tourenzahl, die man verändern kann, jede beliebige elektromotorische Kraft (Spannung) zu erzeugen.

Die elektromotorische Kraft der Maschine treibt den Strom durch den ganzen äußeren und inneren Stromkreis. Ein Teil dieser elektromotorischen Kraft dient dazu, den inneren, der andere den äußeren Widerstand zu überwinden. An den Klemmen der Maschine, an welche der äußere Widerstand angelegt wird, herrscht also eine Spannung, welche kleiner ist als die gesamte elektromotorische Kraft, weil sie den Strom eben nur noch durch den äußeren Widerstand zu treiben braucht. Diese Spannung, die besonders wichtig ist, nennt man allgemein und bezeichnenderweise die *Klemmenspannung* der Maschine. Erinnern wir uns an den Begriff des *Spannungsverlustes*, den wir früher (S. 22) eingeführt haben. Danach ist die elektromotorische Kraft gleich dem Spannungsverlust auf dem ganzen Wege, also gleich dem Spannungsverlust im inneren und dem Spannungsverlust im äußeren Stromkreis zusammen. Die Klemmenspannung dagegen hat den Strom nur durch den äußeren Stromkreis zu treiben. Sie ist also gleich dem Spannungsverlust im *äußeren* Stromkreis allein.

Man mißt die Klemmenspannung einer Maschine in Volt, indem man an die Klemmen dauernd ein Voltmeter (S. 23) im Nebenschluß zum äußeren Stromkreis anlegt. Die Klemmenspannung ist im allgemeinen bei einer Maschine nicht immer dieselbe, wenn man Ströme verschiedener Stärke aus ihr entnimmt, d. h. wenn man dem äußeren Stromkreis verschiedene Widerstände gibt. Es wird aber sehr häufig gerade verlangt, daß die Klemmenspannung dauernd dieselbe bleibt, ob man nun viel oder wenig Strom aus der Maschine entnimmt, d. h. ob der äußere Widerstand klein oder groß ist. Diese Forderung läßt sich sehr leicht bei *Nebenschlußmaschinen* durch eine einfache Regulierung erfüllen, und gerade deswegen sind die Nebenschlußmaschinen am meisten in Gebrauch.

Man braucht nämlich nur, wie es in Fig. 54 (auf S. 65) gezeichnet ist, in den Zweigstrom, welcher um die Magnete fließt, einen regulierbaren Widerstand, den sogenannten *Nebenschlußregulator*, einzuschalten, um dadurch die Klemmenspannung auf jeden beliebigen Wert bringen zu können. Schaltet man nämlich in die Magnetbewicklung Widerstände ein, so wird dieser Nebenstrom schwächer, und infolgedessen werden die Magnete schwächer und daher

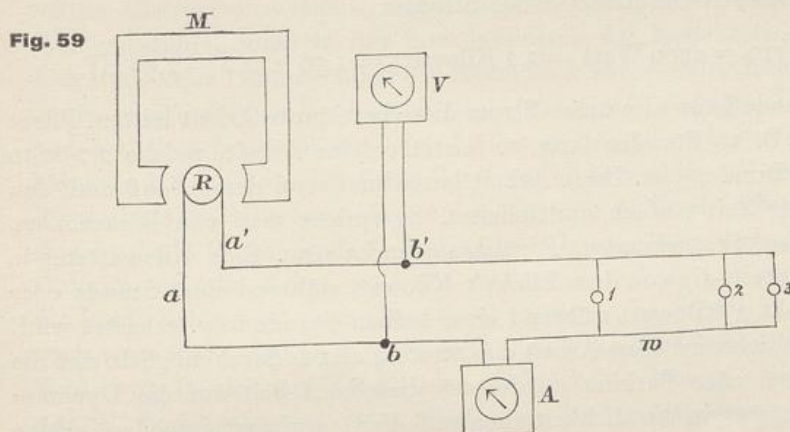
DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

auch die Klemmenspannung der Maschine kleiner. Schaltet man Widerstände aus dem Regulator, also aus dem Nebenstrom aus, so wird dieser letztere stärker und daher auch die Klemmenspannung der Maschine. So kann man durch einfaches Ein- und Ausschalten von Widerständen die Klemmenspannung der Maschine verändern, oder man kann sie auch, wenn man will, immer auf dieselbe Größe bringen, die man an einem Voltmeter erkennt.

Um die Stromstärke im äußeren Stromkreis zu messen, wird natürlich in diesen ein Amperemeter eingeschaltet.

Die Verbindung einer Dynamomaschine mit dem Voltmeter, dem Amperemeter und dem äußeren Stromkreis ist in **Fig. 59** gezeichnet. Von dem Anker R der Maschine M gehen zwei Drähte aus, a b und a' b' , welche die Hauptleitungen für die dazwischenschaltenden Apparate 1, 2, 3 usw. bilden. In den einen dieser Drähte wird das Amperemeter A eingeschaltet. Das Voltmeter V dagegen wird zwischen die beiden Drähte gelegt, indem das eine Ende b an den einen, das andere Ende b' an den andern Draht der Hauptleitung angeschlossen wird. Bei der wirklichen Benutzung der Dynamomaschinen sind allerdings diese Apparate noch nicht ausreichend. Vielmehr werden dann noch Ausschalter und Sicherungen mit einzuschalten sein, von denen wir aber erst im folgenden sprechen werden.

Die Dynamomaschinen liefern die elektrischen Ströme auf Kosten der Arbeit, welche man aufwenden muß, um den Anker vor den Magnetpolen zu drehen. Wenn nämlich die Dynamomaschine durch den äußeren Widerstand geschlossen ist und also ein Strom im Anker und in dem äußeren Widerstand zirkuliert, so entsteht infolge der elektromagnetischen Kräfte zwischen den Magneten und dem Strom im Anker eine Widerstandskraft, welche der Bewegung des Ankers Widerstand leistet. Es stemmt sich eine Kraft der Bewegung des Ankers entgegen, und wir müssen daher fortwährend von neuem Arbeit aufwenden, diese widerstehende Kraft zu überwinden. Es wird also direkt mechanische Arbeit mittels dieser Dynamomaschinen in Elektrizität verwandelt. Die mechanische



VIERTES KAPITEL

Arbeit oder, wie wir besser sagen, die *mechanische Energie verwandelt sich in elektrische Energie*.

Das Maß für die elektrische Energie ist aber, wie wir oben S. 28 gesehen haben, nicht etwa die Stromstärke allein, sondern es ist das Produkt aus der Stromstärke und der Spannung des Stromes. In jedem Moment, solange der Strom fließt, besitzt er eine gewisse Energie, in jedem Moment kann er also eine Arbeit leisten, er besitzt also einen *Effekt*, worunter man die *pro Sekunde geleistete Arbeit* versteht. Einen Effekt mißt man mechanisch in *Pferdestärken*. Ein Pferd kann nämlich, wie man als Mittelwert annimmt, in jeder Sekunde 75 kg 1 m hoch heben, also eine Arbeit von 75 mkg leisten. Ein Wasserfall, bei dem in jeder Sekunde 1000 kg Wasser 30 m tief herunterfallen, kann also in jeder Sekunde 30 000 mkg Arbeit leisten, d. h. er hat einen Effekt von 400 Pferdekraften.

Der Effekt eines Stromes in irgend einem Stück eines Leiters wird also gemessen durch das Produkt aus seiner Stärke und dem Spannungsunterschied an den Enden dieses Leiterstücks. Drückt man die Stromstärken in Ampere und die Spannungen in Volt aus, so ist der Effekt eines Stromes ausgedrückt in *Volt-Ampere* oder *Watt*. Der ganze Effekt in einem Stromleiter ist also gleich

$$\text{Spannungsunterschied seiner Enden (in Volt)} \times \text{Stromstärke (in Ampere)} \\ \text{(Benennung: Watt).}$$

Für große Effekte nimmt man als Einheit 1 Kilowatt, welches gleich 1000 Watt ist, so daß ein Strom auch den Effekt hat

$$\frac{\text{Zahl der Volt} \times \text{Zahl der Ampere}}{1000} \text{ Kilowatt}$$

Nun sind 736 Watt gleich einer Pferdekraft (1 HP), folglich ist 1 Kilowatt gleich 1,36 Pferdekraften, und daher ist auch der Effekt eines Stromes leicht in Pferdekraften (HP) auszudrücken. Fließt also ein Strom mit der Stromstärke 20 Ampere durch einen Leiter, an dessen Enden der Spannungsunterschied 110 Volt ist, so ist der elektrische Effekt dieses Stromes

$$20 \times 110 = 2200 \text{ Watt} = 2,2 \text{ Kilowatt} = 1,36 \times 2,2 = 2,99 \text{ HP.}$$

In jeder Sekunde kann also unser Strom diese bestimmte Arbeit leisten. Fließt der Strom z. B. 10 Stunden lang, so leistet er eine Arbeit, welche $2,2 \times 10$ (Kilowatt \times Stunden) ist. Diese Arbeit bezeichnet man derart, daß man den Effekt mit der Zeit einfach multipliziert. So spricht man von *Wattstunden*, *Kilowattstunden*, *Wattsekunden*, *Pferdekraftstunden* usw. Eine Kilowattstunde ist also die Arbeit, die von dem Effekt 1 Kilowatt während einer Stunde oder von dem Effekt 2 Kilowatt während einer halben Stunde usw. geleistet wird. Selbstverständlich wird diese Arbeit des Stromes erst dadurch möglich, daß die Dampfmaschine oder Turbine mindestens dieselbe Arbeit auf die Dynamomaschine überträgt, in Wirklichkeit aber muß die Dampfmaschine oder Turbine

DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

natürlich mehr Arbeit leisten, weil sie noch die Reibung der Maschine und die sonstigen schädlichen Widerstände zu überwinden hat.

Wichtig ist besonders der *Effekt im ganzen äußeren Stromkreis* einer Dynamomaschine. Gerade die Vorgänge im *äußeren* Stromkreis, z. B. das Brennen von Lampen oder das Treiben von elektrischen Motoren oder galvanoplastische Vorgänge, sind es ja, welche die nützliche Arbeit der Dynamomaschinen ausmachen.

Da die Spannung an den Enden des äußeren Stromkreises die Klemmspannung ist, so gibt die Klemmspannung einer Maschine, in Volt ausgedrückt, multipliziert mit der Stromstärke im äußeren Stromkreis in Ampere, den *äußeren Effekt* in Watt oder, wenn man die Zahl der Watt durch 1000 dividiert, in Kilowatt. Außer diesem äußeren, *nutzbaren* Effekt verbraucht aber jede Maschine noch einen bestimmten Effekt in ihrem Innern bloß dadurch, daß der Strom im Anker und um die Magnete herumfließt. Es ist die Aufgabe einer jeden Maschinenkonstruktion, diesen Effekt im Innern möglichst klein zu machen, damit der Hauptteil der aufgewendeten Arbeit im äußeren Stromkreis wirklich nutzbar verwendet werden kann. Das Verhältnis des äußeren Effekts zum gesamten (im Innern der Maschine und im äußeren Stromkreis zusammen) entwickelten Effekt nennt man den *elektrischen Wirkungsgrad* der Maschine und drückt ihn in Prozenten aus. Dieser beträgt bei den größten Maschinen bis zu 96 Proz., wenn die Maschinen, wie man sagt, *voll belastet* sind, d. h. wenn die Stromstärke im äußeren Kreis so groß ist, wie sie bei der betreffenden Maschine sein soll. Das Verhältnis des Effektes im äußeren Stromkreis zu dem gesamten von der Antriebsmaschine auf die Dynamomaschine übertragenen mechanischen Effekt (welcher größer ist als der gesamtelektrische Effekt, weil ja noch die Arbeit zur Überwindung der mechanischen Widerstände, der Reibung usw. in ihm enthalten ist) bezeichnet man als den *Wirkungsgrad* der Maschine. Er beträgt bei kleinen Maschinen 75—80 Proz., bei großen steigt er bis zu 95 Proz.

Unsere bisherigen Betrachtungen bezogen sich alle auf Dynamomaschinen, welche Gleichströme liefern, auf *Gleichstromdynamos*. Man erhält solche, wie oben angeführt, dadurch, daß man vermittels des Kollektors die Ströme aus dem Ring- oder Trommelanker der Reihe nach von verschiedenen Spulen, nicht immer von derselben Spule, abnimmt. Wenn man dagegen direkt von einer und derselben Spule dauernd den Strom in die äußere Leitung sendet, so erhält man bei der Rotation dieser Spule vor abwechselnden Magnetpolen immer Wechselströme. Man kann das an der Fig. 52 S. 63 direkt sehen. Verfolgt man eine Spule, z. B. die Spule a, die in der Figur gerade oben steht, bei ihrer Rotation um die Achse, so sieht man, daß auf der oberen Hälfte, wenn die Spule sich von B nach oben bis B_1 bewegt, der Strom in ihr von hinten nach vorn fließt, daß er dagegen in ihr von vorn nach hinten fließt, wenn die Spule von B_1 sich auf der unteren Hälfte bei B bewegt. An den Stellen B und B_1 findet also bei jeder Spule eine Richtungsänderung ihres Stromes

VIERTES KAPITEL

statt. Verbindet man also, wie es in **Fig. 60** gezeichnet ist, das eine Ende einer Spule mit einem metallischen Ring a auf der Achse, und das Ende der diametral gegenüberliegenden Spule mit einem anderen Ring b auf der Achse, der aber von a isoliert sein muß, so haben diese metallischen Ringe immer entgegengesetzte Spannung, also einen Spannungsunterschied, und wenn man die beiden Ringe durch einen Draht verbindet, so fließt in diesem ein Strom. Aber der Spannungsunterschied der beiden Pole ist ein wechselnder, bald ist der Ring a positiv und b negativ, nach einer halben Umdrehung ist a negativ und b positiv. Der Spannungsunterschied der beiden Ringe — den man kurz die Spannung des Wechselstromes nennt — verläuft so, wie es **Fig. 61** zeigt. Die Spannung nimmt von a an, wo sie Null ist, bei der Rotation der Spulen erst positive Werte an, die bei b, wo sie β ist, ein Maximum besitzt, dann nimmt die positive Spannung ab bis c, wo sie Null wird; beim Weiterdrehen wird die Spannung negativ bis zu einem Maximum $d\delta$ bei d, und diese negative Spannung nimmt wieder ab bis e, wo der Vorgang von neuem beginnt. Man bezeichnet die Zeit, welche verfließt von der Stelle a bis zur Stelle e als die *Periode* des Wechselstroms. Sie ist in **Fig. 60** gleich der Zeit, in welcher der Grammesche Ring eine vollständige Umdrehung gemacht hat.

Man denkt sich in **Fig. 61** die Strecke zwischen a und e in 360 Grade eingeteilt und bezeichnet jeden Grad und die zugehörige Spannung als eine *Phase* der Spannung.

Verbindet man nun die beiden metallischen Ringe a und b unserer Maschine **Fig. 60** durch eine Leitung, so fließt in dieser ein Wechselstrom, dessen Stärke auch durch eine solche Kurve wie in **Fig. 61** dargestellt wird. Auch der Strom fängt bei Null an, erreicht ein Maximum nach einer Richtung, wird wieder Null, fließt dann in entgegengesetzter Richtung, erreicht ein Maximum und wird dann wieder Null, wonach der Vorgang von neuem beginnt. Die Periode für den Strom ist natürlich genau dieselbe wie für die Spannung.

Da also Spannung und Strom wechselnde Werte annehmen, so muß man eine Festsetzung treffen, was man unter der Stromstärke und der Spannung

Fig. 60

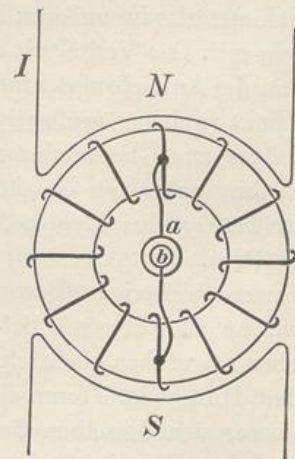
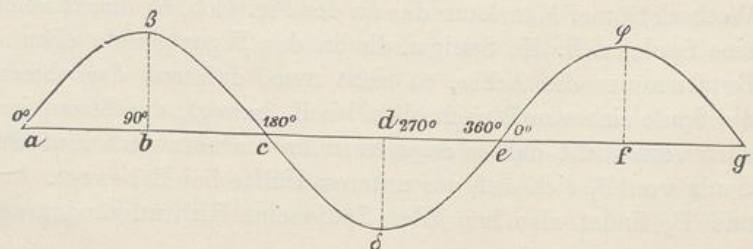


Fig. 61



DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

eines Wechselstroms versteht. Man ist übereingekommen, bei einem Strom oder einer Spannung, die durch eine Kurve wie in **Fig. 61** dargestellt werden, unter der Spannung des Wechselstroms zu verstehen die maximale Spannung (also die Spannung $b\beta$ in **Fig. 61**) multipliziert mit 0,7, und ebenso ist die Stromstärke des Wechselstroms gleich 0,7 mal der maximalen Stromstärke. Die Amperemeter und Voltmeter für Gleichstrom, welche auf dem Hineinziehen eines Eisenkerns in eine Drahtspule beruhen, messen auch die Stromstärke und Spannung von Wechselströmen. Nur muß die Skala derselben für Wechselströme besonders eingeteilt sein.

Die Wechselströme spielen eine überaus bedeutende Rolle in der Technik, und zwar deswegen, weil man bei ihnen sehr hohe Spannungen leicht erzeugen kann, was bei Gleichstrommaschinen deswegen nicht möglich ist, weil bei diesen die hohen Spannungen am Kollektor sich in Funken ausgleichen. Gleichstrommaschinen werden höchstens für 1000 oder 2000 Volt Spannung gebaut, während man Wechselstrommaschinen für viele Zehntausende von Volt konstruieren kann. Wir werden besprechen, daß die Fortleitung elektrischer Ströme umso billiger ist, je höher die Spannung derselben ist.

Aus diesem Grunde werden Wechselstrommaschinen vielfach gebaut und sogar zum Teil solche von kolossalen Dimensionen. Ja, es werden die elektrischen Zentralen in den größeren Städten und die Überlandzentralen meistens überhaupt nur noch mit Wechselstrom (resp. dem bald zu erwähnenden Drehstrom) ausgeführt, eben wegen der sonst unerreichbaren Billigkeit dieses Systems.

Die *Wechselstrommaschinen* bestehen alle aus den induzierten Drahtspulen, die man zusammen auch hier als *Induktor* oder *Anker* oder *Armatur* bezeichnet, und den induzierenden Feldmagneten. Als Magnete werden nur Elektromagnete benutzt. Zur Magnetisierung der Feldmagnete braucht man bei jeder Wechselstrommaschine einen Gleichstrom. Dieser wird gewöhnlich von einer kleinen Gleichstrommaschine erzeugt, die entweder ganz getrennt von der Wechselstrommaschine ist oder die auf derselben Achse sitzt wie die Hauptmaschine für Wechselstrom. Während sich bei den Gleichstrommaschinen allgemein der Typus herausgebildet hat, daß die Feldmagnete ruhen und der Anker sich innerhalb eines feststehenden ringförmigen Gestells dreht, auf dem die Feldmagnete angebracht sind, ist bei den Wechselstrommaschinen gerade der umgekehrte Typus als vorteilhaft erkannt worden, nämlich daß die Feldmagnete rotieren und daß außen um sie herum der Anker feststehend angeordnet wird, so daß man von festen Klemmen den Strom vom Anker nach außen führen kann. Den feststehenden Teil einer Wechselstrommaschine nennt man den *Stator*, den gedrehten den *Rotor*. Meistenteils bilden also die Feldmagnete den Rotor und der Anker den Stator.

Um die Art der Konstruktionen von Wechselstrommaschinen zu erkennen, sollen die **Fig. 62–64** als Schema dienen. Der Anker besteht bei diesen aus einem feststehenden äußeren Ring von Eisen (R in **Fig. 62**), der die induzierten Drahtspulen trägt. Die Feldmagnete M sind sternförmig im Innern des

VIERTES KAPITEL

Ringes angeordnet, und dieser Magnetkranz wird durch eine Dampfmaschine gedreht, während der Anker festbleibt. Die Feldmagnete werden durch den Strom einer besonderen Gleichstrommaschine erregt. Die Pole der Feldmagnete sind abwechselnd nord- und süd magnetisch und tragen abgerundete Polschuhe, wo sie dem Ring gegenüberstehen. Der eiserne Ring selbst ist an seinem inneren Umfang mit einer Anzahl von Nuten versehen, und zwar sind dreimal soviel Nuten vorhanden als Magnetpole. Fig. 62 zeigt den Magnetkranz M und den Eisenring R mit seinen Nuten. Die Drahtwicklung des Ankers wird nun in die Nuten eingelegt, und zwar kann man mehrere Wechselstromkreise erhalten, je nach der Art, wie man die Nuten zur Wicklung benutzt.

Um einen *einzigsten*, sogenannten *einfachen* oder *einphasigen Wechselstrom* zu erhalten, legt man, wie Fig. 63 zeigt, Drähte in die Nuten 1 und 3 und verbindet diese wie in der Figur; die folgende Wicklung legt man in die Nuten 4 und 6 usw., läßt also die Nuten 2, 5, 8 usw. frei. Da die Wicklungen, deren drei mit a, b, c bezeichnet sind, in jedem Moment dieselbe Lage gegen die verschiedenen Magnetpole haben, so werden sie von den sich drehenden Magnetpolen in gleicher Weise induziert, aber natürlich entstehen in a und c Ströme, die entgegengesetzte Richtung haben wie die in b, weil gegen die ersteren sich gerade ein Nordpol, gegen die letzteren sich gerade ein Südpol bewegt. Wenn man daher die Spulen alle hintereinander schalten will, so hat man die Spule b entgegengesetzt zu verbinden, also das Ende von a mit dem Ende von b und den Anfang von b mit dem Anfang von c. Die freien Enden der ersten und der letzten Spule werden dann zu feststehenden Klemmen geführt, von denen man den Wechselstrom in den äußeren Stromkreis führen kann. Rotiert das Magnetrad, so wird die Richtung der Ströme im Anker immer umgekehrt, sobald ein Nordpol an die Stelle des früheren Südpols gelangt ist und umgekehrt. Die Periode des Wechselstroms ist also die Zeit, in welcher ein Pol des Magneten sich von der Spule a bis zu genau derselben Lage gegen die Spule c bewegt hat.

Man kann aber auch durch eine andere Benutzung der Nuten aus derselben Anordnung drei verschiedene Stromkreise bilden, deren jeder Wechselströme enthält, jedoch so, daß die Wechsel in der Richtung des Stromes nicht bei allen dreien in demselben Moment, sondern in aufeinanderfolgenden Zeiten geschehen. Ein solches System von drei Wechselströmen nennt man *dreiphasigen Wechsel-*

Fig. 62

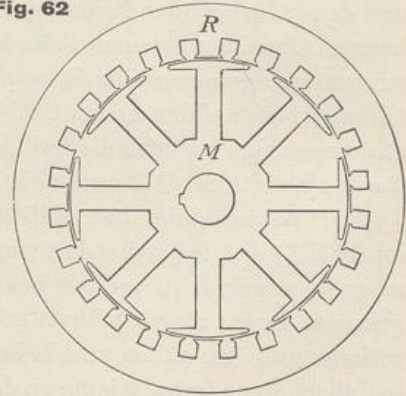


Fig. 63

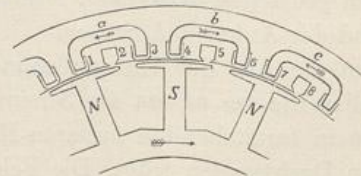


Fig. 64

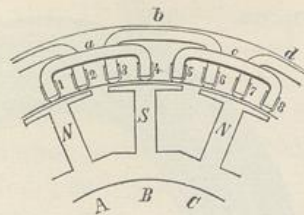
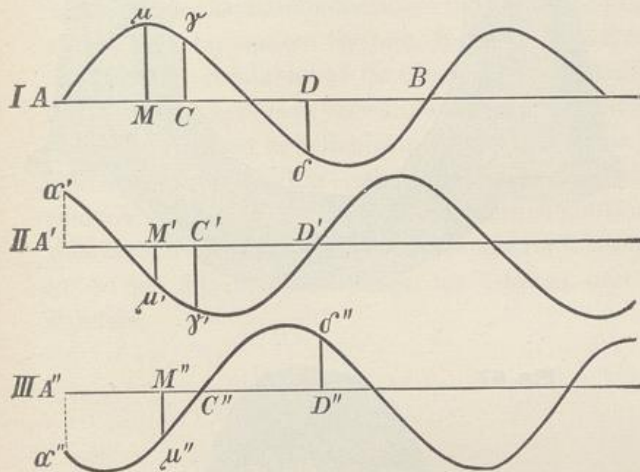


Fig. 65



etwa gerade seine größte Stärke nach der einen Richtung hat, so wird in Spule b und in Spule c gleichzeitig ein Strom induziert werden, der schwächer ist und in den beiden nach verschiedenen Richtungen geht. Bei der Rotation der Magnete entsteht nun in jeder Spule, z. B. in a, wieder derselbe Stromimpuls wie bei der in der Figur gezeichneten Lage, sobald der erste Nordpol links (A) sich nach rechts bewegt hat, bis in die Lage des nächsten Nordpols rechts (C). Dieselbe Lage wie a hat nun die Spule d usw. Kurz, wenn man die 1., 4., 7. . . . Spule miteinander verbindet, ebenso die 2., 5., 8. . . ., ferner die 3., 6., 9. . . ., so erhält man drei getrennte Stromleiter, in denen Wechselströme auftreten, die nicht gleichzeitig ihre größten und kleinsten Werte haben, sondern die, wie man es nennt, verschiedene *Phasen* besitzen. Jeder von den drei Strömen ist gegen den nächsten um 120° ($\frac{360^\circ}{3}$) in der Phase verschoben. Der gleich-

zeitige Zustand der drei Ströme ist durch Fig. 65 dargestellt. Wenn der Strom I gerade bei A von Null aufwärts geht, so hat der Strom II in demselben Moment die Stärke A a', die so groß ist wie die Stärke des Stromes I an derjenigen Stelle, die um 120° von A entfernt ist (nämlich bei C). Und der Strom III hat in demselben Moment die Stärke A'' a'', die so groß ist wie die Stärke von II an einer Stelle, die um 120° von A' entfernt ist (nämlich bei C') oder wie die Stärke von I an einer Stelle, die um 240° von A entfernt ist (nämlich bei D). Bei den

strom oder kurz *Drehstrom*. Um aus der Maschine Drehströme zu erhalten, macht man die Wicklung so, wie es in Fig. 64 angedeutet ist. Die erste Wicklung a wird in Nute 1 und 4 gelegt, die zweite b in 3 und 6, die dritte c in 5 und 8 usw.; es wird also keine Nute frei gelassen. Man sieht aus der Figur, daß in einem und demselben Moment die Spule a gerade über der Mitte zweier Magnetpole sich befindet, während die Spule b über den Anfängen, die Spule c über den Enden der Magnetpole steht. Wenn also in der Spule a der induzierte Wechselstrom

VIERTES KAPITEL

Drehstrommaschinen werden nun die drei Anfänge der drei Spulensysteme in der Maschine selbst miteinander verbunden, und die drei anderen Enden werden zu je einer festen Klemme geführt. Von diesen drei Klemmen gehen dann drei Leitungen aus, welche die *Drehströme* nach außen führen.

Die Abbildung eines ausgeführten Stators einer Drehstrommaschine der *Bergmann-Elektrizitätswerke* zeigt **Fig. 66**. Das ringförmige Gehäuse aus Eisen enthält auf seiner Innenseite die Spulen, welche in halbgeschlossene Nuten eingelegt und zweckmäßig isoliert sind. Der Rotor, der Magnetkranz, ist aus **Fig. 67** ersichtlich, und die ganze Maschine wird durch **Fig. 68** dargestellt. Das Gehäuse erhält noch Schutzschilde, um die Spulen vor Beschädigung zu schützen. An der ausgeführten Maschine (**Fig. 68**)

sieht man noch vorn auf derselben Achse eine kleine Gleichstrommaschine, die den Erregerstrom für die Magnete liefert.

Um die Spannung in den Wechsel- und Drehstrommaschinen zu ändern, reguliert man den Erregerstrom der Magnete. Indem man diesen stärker oder schwächer macht, wird auch die Spannung des Wechselstromes oder der Drehströme stärker oder schwächer.

Zur Messung der Spannung der Wechsel- und Drehströme sowie der Stromstärke in den Leitungen werden auch hier *Voltmeter* und *Amperemeter* direkt in der Nähe der Maschine angebracht. Und dabei hat man bei einfachem Wechselstrom, *Einphasenstrom*, ganz ebenso wie bei Gleichstrom, nur je ein Voltmeter und ein Amperemeter anzuwenden. Das Voltmeter wird zwischen die beiden Leitungen, die von der Maschine ausgehen, gelegt, das Amperemeter kommt direkt in die Leitung des Hauptstroms. Dagegen bei Drehstrom, wo man drei

Fig. 66

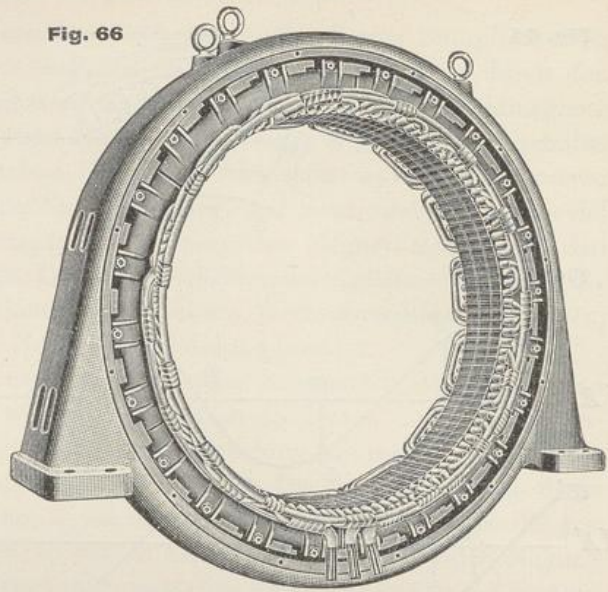
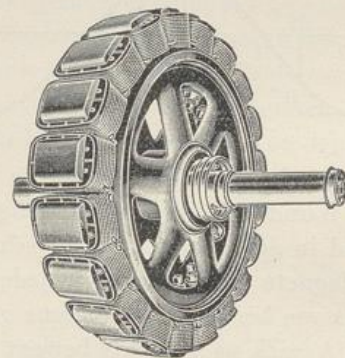


Fig. 67



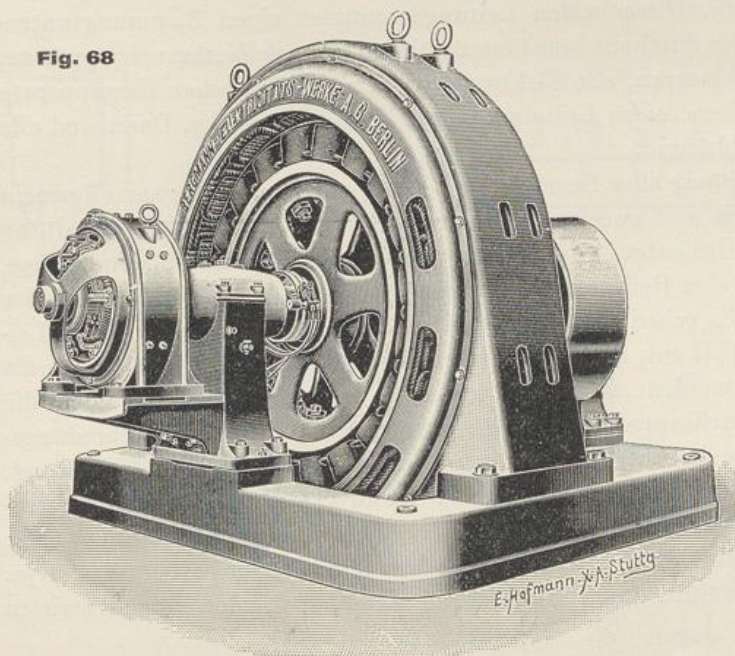
DYNAMOMASCHINEN FÜR GLEICHSTROM UND WECHSELSTROM

Leitungen hat, hat man die Spannung zwischen je zweien der drei Leitungen (1 und 2, 1 und 3, 2 und 3) zu messen und die Stromstärke in jedem Zweige. Für den letzteren Zweck hat man also drei Amperemeter, in jeden Leiter des Hauptstromes eines, einzuschalten. Für die Spannungsmessung hat man ebenso drei Voltmeter, und zwar je eines in den Nebenschluß zwischen die Klemmen 1 und 2, 1 und 3, 2 und 3 zu legen.

Obwohl Wechselströme nicht so einfach zu behandeln sind wie Gleichströme, steht doch die Technik des Wechselstroms der Technik des Gleichstroms ebenbürtig da. Die Dynamomaschinen für das eine System sind ebenso leistungsfähig wie die für das andere System. Beide Arten setzen heute 85 bis 95 Proz. der von Dampfmaschinen auf sie übertragenen Arbeit in elektrische Energie um.

Die Dynamomaschinen verwandeln also direkt mechanische Arbeit in elektrische Energie, und zwar in beliebigem Betrage. Man hat heutzutage vielfach Dynamomaschinen von solcher Größe, daß eine Maschine 10 000 Pferdekkräfte aufnehmen, also die Arbeit von 10 000 Pferden kontinuierlich in elektrische Energie verwandeln kann, ja es sind Wechselstrommaschinen gebaut worden, die bis zu 60 000 Pferdekkräfte Effekt aufnehmen und in elektrische Energie umwandeln.

Fig. 68



FÜNFTES KAPITEL

DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

Im Jahre 1880 ungefähr begann die Einführung der elektrischen Ströme zum allgemeinen Gebrauch, und seit dieser Zeit hat die Benutzung der Elektrizität einen riesenhaften Aufschwung genommen. Heute ist in jeder Stadt, ja fast in jedem Dorf die Elektrizität ein unentbehrlicher Faktor für eine große Anzahl von Bedürfnissen des menschlichen Lebens. Die Anforderungen, die an die Technik gestellt wurden, wuchsen bei dieser Entwicklung naturgemäß auch riesenhaft an, und wir sind heute noch durchaus nicht am Ende dieser Entwicklung, sondern noch mitten in derselben.

Die erste Aufgabe, die gelöst werden mußte, als die elektrischen Ströme jedem einzelnen zur Benützung geliefert wurden, bestand natürlich darin, daß jeder Benutzer ganz unabhängig von seinem Nachbar sein wollte, daß jeder z. B. beliebig viele elektrische Lampen in seiner Wohnung brennen lassen oder abschalten durfte, ohne von anderen darin gestört zu werden oder andere damit zu stören.

Das einfache Mittel, durch welches Edison zuerst diese Aufgabe löste, bestand in folgendem: Es müssen überall, durch den ganzen Bezirk, durch die ganze Stadt zwei Leitungen gelegt werden, welche von der stromerzeugenden Dynamomaschine ausgehen. Diese beiden Leitungen müssen einen Spannungsunterschied besitzen, der durchaus konstant zu halten ist. Alle Verbrauchsapparate, also z. B. alle Glühlampen, alle Elektromotoren, alle elektrischen Heizapparate *müssen zwischen diese beiden Leitungen parallel geschaltet werden*. Dann sind alle voneinander unabhängig.

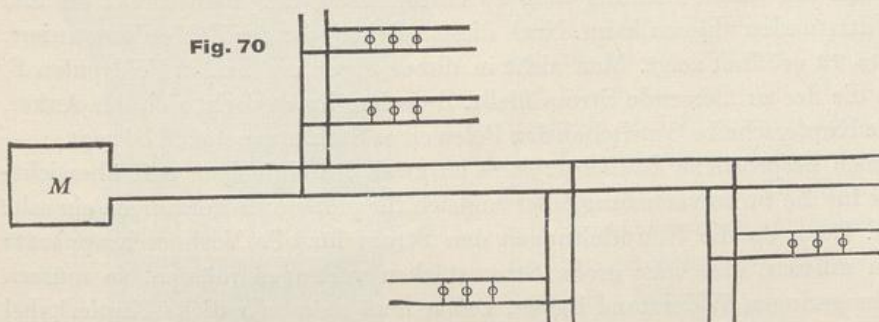
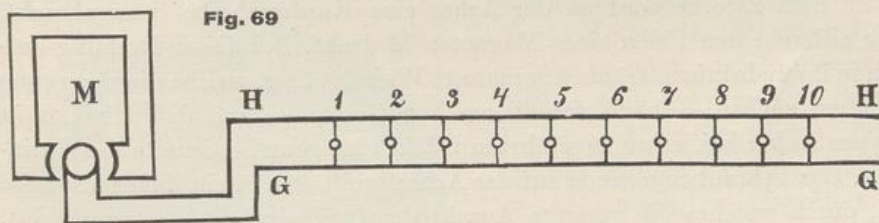
Diese *Parallelschaltung* aller Stromverbrauchsapparate hat sich ganz allgemein als äußerst einfach und zweckmäßig bewährt. In **Fig. 69** ist diese Schaltung gezeichnet. Darin bedeutet M die Dynamomaschine, welche den Strom erzeugt, und 1, 2, 3 bis 10 eine Reihe von Verbrauchsapparaten, z. B. Glühlampen oder Elektromotoren. Es gehen also von den Klemmen der Dynamo dabei zwei Leitungen H H und G G aus, die durch den ganzen Bezirk führen, in welchem die Ströme benutzt werden sollen, und zwischen diese Leitungen werden die einzelnen Verbrauchsapparate parallel geschaltet. Haben die Verbindungsdrähte (welche man beliebig stark nehmen kann) einen sehr kleinen Widerstand, so herrscht auf allen Stellen der Leiter H H und G G nahezu derselbe Spannungsunterschied wie an den Klemmen der Maschine, und der Maschinenwärter hat nur die Aufgabe, diese Spannung dauernd konstant zu halten, was er ja, wie oben S. 68 erwähnt, durch Regulierung des Magnetfeldes einfach erzielen kann.

DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

Damit nun die Gebrauchsapparate, Glühlampen, Elektromotoren überall in gleicher Weise gebraucht werden können, war es notwendig, den Spannungsunterschied der beiden Hauptleitungen einheitlich festzusetzen. Edison hat dafür zuerst 110 Volt gewählt, und obwohl kein Kongreß, keine diplomatische Verabredung dafür eintrat, hat sich doch international diese Festsetzung fast überall eingebürgert. Die normale Spannung für alle Gebrauchsapparate bei Gleichstrom ist zunächst 110 Volt.

Von den Polen der Dynamomaschinen gehen nun zunächst Drähte (oder Kabel) zu einer *Schalttafel* im Maschinenhaus, welche alle notwendigen Apparate, Voltmeter, Amperemeter, Ausschalter, Sicherungen, Regulierwiderstände für den Nebenschluß und den Hauptstrom usw. enthält. Sind in der Zentralstation mehrere Maschinen vorhanden, so werden deren Pole alle durch je einen Ausschalter hindurch mit zwei Schienen auf der Schalttafel, den sogenannten *Sammelschienen*, verbunden, so daß dadurch die Maschinen alle parallel geschaltet sind. Von den Sammelschienen geht nun eine doppelte Hauptleitung durch die Stadt, welche unterirdisch gelegt ist und welche aus Kabeln von großem Querschnitt besteht, da sie die starken Hauptströme zu führen hat. In jede Straße gehen nun wieder Kabel von geringerem Querschnitt, und zwar von jedem Hauptkabel aus eines. Noch geringeren Querschnitt haben die Leitungen, die in die Nebenstraßen führen, und endlich noch kleineren diejenigen, die in die einzelnen Häuser führen. Das Schema dieser Leitungszuführung ist in **Fig. 70** angegeben. Man bezeichnet dieses System als das *Zweileitersystem*.

Wenn auf diese Weise die elektrische Energie mit Sicherheit verteilt wird und jeder Konsument infolge der Parallelschaltung mit konstanter Spannung un-



FÜNFTES KAPITEL

abhängig von allen anderen ist, so ist nur noch *eine* Sache von höchster Bedeutung. Es muß nämlich jeder Konsument wissen, wieviel elektrische Energie er verbraucht hat, weil sich danach der zu zahlende Preis richtet. Es handelt sich also um die Anbringung von Elektrizitätsmessern, welche die verbrauchten *Wattstunden* (Produkt aus den Watt und der Zeit in Stunden, in welchen Strom an den Konsumenten geliefert wurde) messen. Man nennt sie auch *Wattstundenzähler*.

Die verbreitetsten Wattstundenzähler sind die sogenannten *Motorzähler*. Für Gleichstrom geht das Prinzip eines dieser Zähler aus **Fig. 71** hervor. Durch eine Drahtspule *F* wird der gesamte Strom der Wohnung, dessen Effekt gemessen werden soll, geleitet. Die magnetischen Kraftlinien dieser Spule haben die Richtung der Achse der Spule, und sie durchsetzen eine Aluminiumtrommel *G*, auf welche eine Anzahl von Drähten gelegt ist, die durch den Kollektor *C* wie bei dem Trommelanker verbunden sind. Die Achse *AA* ist mit möglichst wenig Reibung oben und unten gelagert. Auf dem Kollektor schleifen Federn, die ihm Strom zuführen, und zwar sind diese direkt an die beiden Hauptleitungen der Wohnung gelegt, deren Effektverbrauch gemessen werden soll. Es fließt also durch den Anker ein Strom, dessen Stärke, da der Widerstand des Ankers unveränderlich ist, direkt proportional ist der Spannung zwischen den beiden Hauptleitern. Nach der Linken-Hand-Regel dreht sich der Anker, und zwar ist die Kraft, mit der er gedreht wird, direkt proportional dem Produkt aus der Stärke des Feldes und der Stärke des Stromes im Anker, also direkt proportional dem Produkt aus der Stromstärke und der Spannung, also der Anzahl der Watt. Da auf den Anker fortdauernd eine Kraft wirkt, so würde er sich mit stets zunehmender Geschwindigkeit drehen, wenn man ihn nicht eine Arbeit leisten läßt. Zu dem Zwecke wird an der Achse eine Kupferscheibe *S* angebracht, welche sich vor den Polen eines Magneten *M* dreht. Bei dieser Drehung entstehen in ihr Induktionsströme, sogenannte Wirbelströme, welche die Bewegung zu hindern suchen — nach dem Lenzschen Gesetz — und daher bekommt der ganze Anker bei jedem zugeführten Effekt eine ganz bestimmte Geschwindigkeit. Das Schraubengewinde auf der Achse greift nun in ein Zahnradsystem *Z* ein, durch welches die gesamte Anzahl der Umdrehungen gemessen wird. Diese ist also proportional den zugeführten Wattstunden. Man braucht nun das Zählwerk durch Eichung bloß so einzurichten, daß man direkt an ihm die Wattstunden ablesen kann. Nach diesem Prinzip ist der Zähler konstruiert, den **Fig. 72** geöffnet zeigt. Man sieht in dieser Figur die beiden Feldspulen *F*, durch die der zu messende Strom fließt. Zwischen ihnen dreht sich der Anker, der die Kupferscheibe *S* zwischen den Polen eines Stahlmagneten *M* bewegt.

Das oben besprochene *Zweileitersystem* ist zwar das einfachste und übersichtlichste für die Stromverteilung, aber zugleich für größere Entfernungen ein sehr teures. Denn da die Hauptleitungen den Strom für alle Verbrauchsapparate führen müssen, also sehr große Stromstärken vertragen müssen, so müssen sie sehr geringen Widerstand haben. Daher muß man sehr dicke Kupferkabel

Fig. 71

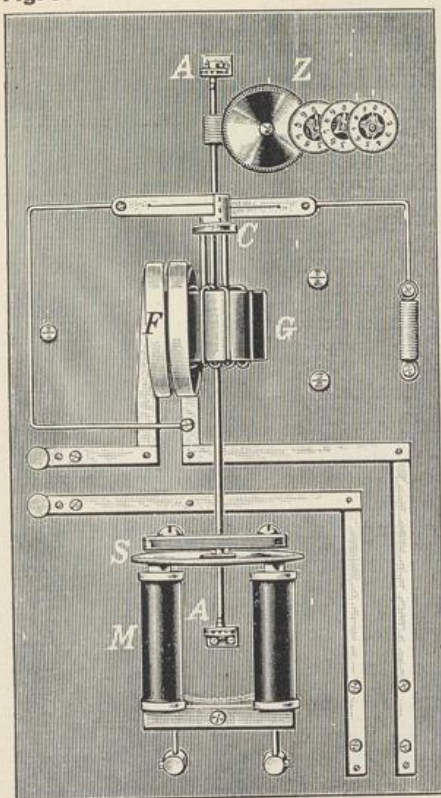
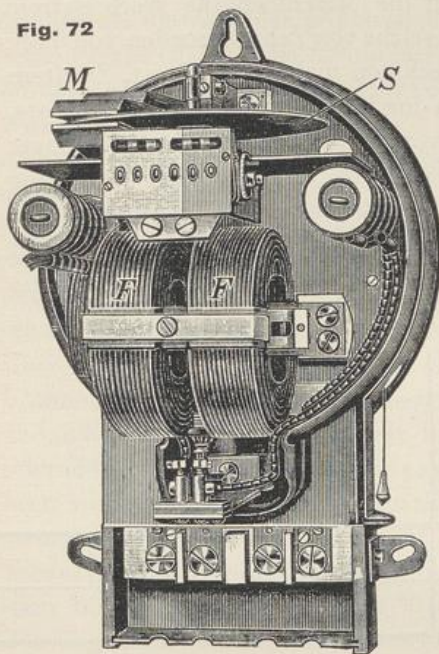


Fig. 72



GRAETZ FÜR ALLE 6

als Leitungen nehmen, und es hat sich gezeigt, daß man nicht mehr ökonomisch mit dieser Verteilung arbeiten kann, wenn die letzte Lampe mehr als 800 m von der Stromquelle entfernt ist. Das Zweileitersystem eignet sich also nur für Bezirke bis zu 800 m Radius.

Um größere Bezirke mit Strom versorgen zu können, gingen *Edison* und *Hopkinson* zu einer Kombination über, die sich als sehr vorteilhaft erwiesen hat und die man das *Dreileitersystem* nennt. Bei diesem werden in der Zentrale zwei Maschinen, die je 110 Volt Spannung an ihren Klemmen haben, hintereinander geschaltet, so daß an ihren äußeren Klemmen 220 Volt Spannungsunterschied herrschen. Von den beiden Endklemmen, aber auch von den miteinander verbundenen Mittelklemmen geht nun je eine Leitung durch die Stadt. Die mittlere Leitung nennt man die *Kompensationsleitung*. Zwischen die Mittelleitung und die eine resp. die andere der Hauptleitungen werden nun die Lampen, Motoren usw. parallel geschaltet, wie es **Fig. 73** zeigt, so daß diese an ihren Enden doch nur 110 Volt Spannung besitzen. Aber die beiden Hauptleitungen können jetzt, da sie die Verbrauchsenergie bei doppelter Spannung, also halber Stromstärke führen, geringeren Querschnitt haben.

Dieses Dreileitersystem ist aber auch nur praktisch, wenn der Bezirk, der mit Strom zu versehen ist, in einem Umkreis von höchstens 1200 m von der Zentrale liegt. Will man größere Städte, wie z. B. Berlin oder London, mit Strom versorgen, so muß man, wie es dort geschehen ist, eben mehrere Zentralen bilden.

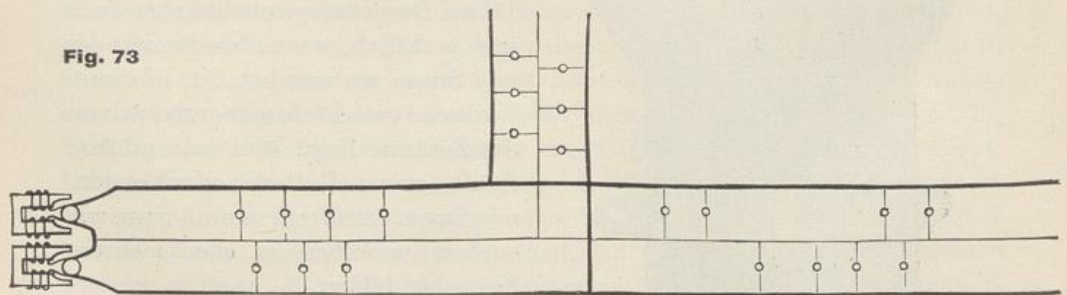
FÜNFTES KAPITEL

Aber die Aufgaben der Elektrotechnik wuchsen allmählich weit darüber hinaus, nur einzelne getrennte Städte mit Elektrizität zu versorgen. Es kam vielmehr allmählich die Aufgabe, ganze Provinzen, ganze Länder einheitlich mit elektrischen Strömen zu versehen, also die Ströme auf sehr große Entfernungen fortzuleiten. Um das praktisch einführen zu können, muß man aber sehr hohe Spannung der Ströme anwenden. Denn der Effekt eines Stromes ist, wie wir wissen (S. 28), gleich dem Produkt aus der Spannung des Stromes und seiner Stromstärke. Ist aber die Entfernung, auf welche die elektrische Energie fortgeleitet werden soll, eine sehr große, so wird auch in demselben Verhältnis, wenn die Stromstärke dieselbe bleiben soll, der Widerstand der Leitungsdrähte wachsen, wenn man den Leitern nicht entsprechend größeren Querschnitt gibt. Aber eine Vergrößerung des Querschnitts bringt eine Erhöhung, und zwar im quadratischen Verhältnis, des Preises der Leitungen hervor. Die Kosten der Leitung werden dann bald so groß, daß jede Rentabilität einer solchen Anlage ausgeschlossen ist.

Man kann aber denselben Effekt auf den Leitungen übertragen, wenn man die Stromstärke geringer macht, dafür aber die Spannung des Stromes, d. h. die Spannung zwischen den zwei Hauptleitern, erhöht. Bei der geringen Stromstärke braucht man nur Leiter von geringem Querschnitt, so daß die Kosten der Leitung mäßige bleiben. Dieser Gedanke aber scheint zunächst doch nicht ausführbar zu sein, da man ja für die vielen Verbraucher doch starke Ströme braucht, mit den geringen Strömen also trotz der hohen Spannung das Bedürfnis nicht befriedigt werden kann.

Das ist nun der Punkt, an welchem sich die großen Vorteile der *Wechselströme* und *Drehströme* offenbaren. Erstens kann man die Maschinen für Wechselstrom und Drehstrom für sehr hohe Spannungen, solche von Zehntausenden von Volt, konstruieren, was bei den Gleichstrommaschinen nicht möglich ist. Zweitens aber, und das ist die Hauptsache, kann man durch besondere einfache Apparate, die *Transformatoren*, die Wechselströme von hoher Spannung und geringer Stromstärke umwandeln, transformieren in solche von geringer Spannung und großer Stromstärke und umgekehrt. Und zwar sind diese Transformatoren Apparate ohne bewegliche Teile, welche also gar keine Bedienung und Aufsicht benötigen. Nur für Wechselströme und Drehströme ist diese

Fig. 73



DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

Möglichkeit vorhanden, dieselbe elektrische Energie nach Belieben mit überwiegender Stromstärke oder mit überwiegender Spannung fortzuleiten und anzuwenden.

Diese Transformation der Energie eines elektrischen Stromes ist nämlich für *Wechselströme* und *Drehströme* leicht lösbar durch Anwendung der von Faraday entdeckten Erscheinungen der Elektroinduktion und Magnetinduktion. Wenn man um einen Eisenkern eine Drahtrolle herumlegt, durch die man den zu transformierenden Wechselstrom hindurchschickt und die wir die primäre Drahtrolle nennen wollen, so erregt ja jeder Wechsel, jede Veränderung in der Intensität des primären Stromes wechselnde Magnetisierung in dem Eisenkern. Bringt man nun auf diesen Eisenkern noch eine zweite Drahtrolle, die sekundäre, ganz von der primären isoliert, so erzeugen diese wechselnden Magnetisierungen in dieser zweiten Rolle Induktionswirkungen, und wenn die sekundäre Rolle durch einen äußeren Leiter geschlossen ist, so fließen in diesem ebenfalls Wechselströme, wie in der primären Spule, und zwar von derselben Periode, aber Wechselströme, deren Spannung und Stromstärke wir nach Belieben ganz anders machen können wie die des primären eingeleiteten Wechselstroms.

Es wächst nämlich die Spannung der erzeugten Induktionsströme unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Zahl der Windungen der sekundären Rolle. Daraus folgt, daß man es bei jedem gegebenen primären Wechselstrom in der Hand hat, einfach durch die Zahl der Windungen in der sekundären Rolle der Spannung des sekundären Stromes einen beliebigen Wert zu geben. Man kann es leicht erreichen, daß der sekundäre Strom höhere Spannung hat als der primäre. Dann muß man die Zahl der sekundären Windungen größer machen als die Zahl der primären Windungen. Man kann es auch umgekehrt leicht erreichen, daß der sekundäre Strom geringere Spannung hat als der primäre. Dann muß man der sekundären Rolle wenig, der primären Rolle viel Windungen geben.

Also auf diese Weise ist eine Transformation von Wechselströmen immer möglich.

Eine Hauptforderung aber, die man an jeden praktisch zu benutzenden *Transformator* stellen muß, ist die, daß er die Umwandlung der elektrischen Energie ohne große Verluste bewirkt. Mit anderen Worten: die von den Klemmen der sekundären Wicklung in den äußeren Stromkreis abzugebende elektrische Energie soll nicht viel kleiner sein als die in die primäre Wicklung von deren Klemmen aus hineingeleitete Energie. Dies läßt sich mit großer Annäherung dadurch erreichen, daß man die beiden Wicklungen, die primäre und die sekundäre, auf einen *ringförmig geschlossenen Eisenkern* bringt. Dieser Eisenkern wird dann durch die Wechselströme, die die primäre Wicklung durchströmen, abwechselnd magnetisiert, von Null an bis zu einem Maximum und wieder zu Null. Diese Änderung des Magnetismus verläuft aber dabei auch ganz innerhalb der sekundären Wicklung, und dadurch wird die Änderung der Magnetisierung des Eisens vollständig zur Erzeugung der Induktionsströme

FÜNFTES KAPITEL

ausgenutzt. Der Aufbau eines solchen Transformators ist aus **Fig. 74** zu ersehen. Man sieht einen geschlossenen Eisenkern, auf den zuerst die primäre, dickdrähtige Wickelung P P aufgebracht ist, die in die beiden isolierten Klemmen a A ausgeht, und über diese ist die dünn-drähtige Wickelung S S, aus sehr vielen Windungen bestehend, geschoben, die in die isolierten Klemmen B b ausgeht. Man bezeichnet die dickdrähtige Wickelung als *Niederspannungswickelung*, die andere aus dünnem Draht als *Hochspannungswickelung*. Die beiden Wickelungen brauchen nicht, wie hier, übereinander zu liegen, sondern es können auch nebeneinander, je eine Spule mit dickem Draht und eine Spule mit vielen Windungen dünnen Drahtes auf den Eisenkern aufgeschoben sein. In jedem Fall wird der ganze Kraftlinienfluß, der durch die primäre Stromänderung erzeugt ist, ganz ausgenutzt, um die sekundäre Spule zu induzieren. Ganz gleich lassen sich die Energien des primären und sekundären Kreises allerdings nicht machen, ein Verlust an Energie muß notwendig eintreten, zunächst infolge der Erwärmung der beiden Wickelungen und des Eisenkerns durch den Strom resp. die Wirbelströme, ferner aber durch die *Hysteresis* des Eisens, von der wir schon S. 35 gesprochen haben.

Durch diese Verluste wird also der an den Klemmen der sekundären Wickelung zur Verfügung stehende Effekt notwendig kleiner sein als der in die primäre Wickelung eingeleitete Effekt. Man bezeichnet das Verhältnis dieser Effekte als den *Wirkungsgrad des Transformators* und drückt ihn in Prozenten aus.

Bei den praktisch ausgeführten Transformationen sind nun diese Verluste so gering gemacht, daß der Wirkungsgrad bis zu 96 Proz. steigt, wenn die sekundäre Spule ihren Maximalstrom abgibt oder, wie man sagt, *voll belastet* ist, so daß man bei der Transformation der elektrischen Energie nur 4 Proz. derselben verliert.

Die Ansicht eines solchen Transformators (der *Siemens-Schuckertwerke*) für Wechselstrom gibt **Fig. 75**. Zwei vertikale Eisenschenkel, die oben und unten durch Eisen geschlossen sind, bilden den *geschlossenen Eisenkern*. Das Eisen wird nicht massiv angewendet, sondern besteht aus einzelnen aneinander gelegten Platten oder Drähten, es ist, wie man sagt, *zerteilt*. Dieser Eisenkern wird mit den Spulen umgeben, auf welche die primären und sekundären Wickelungen getrennt aufgewickelt sind.

Mit diesen Transformatoren hat man nun ein ausgezeichnetes Mittel, um die elektrische Energie

Fig. 74

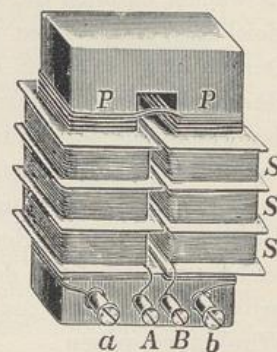


Fig. 75

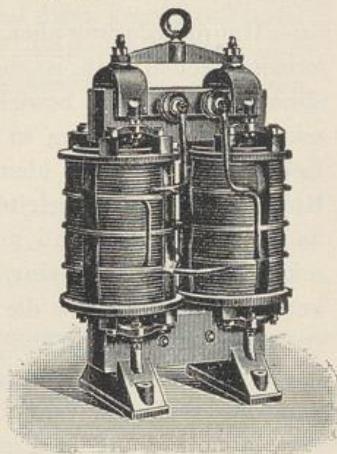
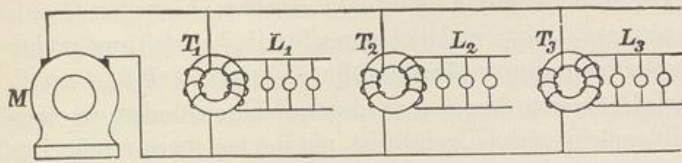


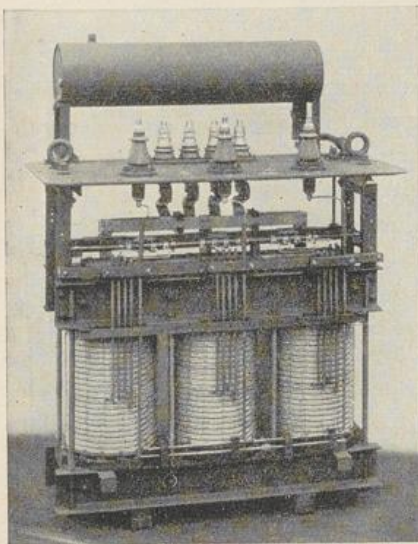
Fig. 76



auf große Bezirke zu verteilen. Man erzeugt Wechselströme von hoher Spannung in einer Maschine und führt diese Wechselströme von hoher Spannung und geringer Stromstärke auf verhältnismäßig dünnen Drähten durch den ganzen Bezirk, in welchem eine Verteilung des Stromes stattfinden soll, also z. B. durch eine ganze Provinz. In jedem Ort, also z. B. in jedem Dorf oder jeder kleinen Stadt, stellt man dann einen Transformator auf, der den hochgespannten Strom in solchen von niedriger Spannung, also meistens 110 oder 220 Volt heruntertransformiert. Diese verschiedenen Transformatoren schaltet man nun alle *parallel* in die Hochspannungsleitung ein und nimmt von der sekundären Wickelung eines jeden den niedriggespannten Strom ab. So zeigt **Fig. 76** eine Wechselstromdynamo M, welche hochgespannten Strom in die beiden Hauptleitungen sendet. Zwischen diese Leitungen sind die Transformatoren T_1 , T_2 , T_3 , d. h. ihre Hochspannungswickelungen, parallel geschaltet, und von den Niederspannungswickelungen derselben gehen die einzelnen Leitungsnetze L_1 , L_2 , L_3 aus, welche ganz unabhängig voneinander sind und in die man Motoren oder Lampen in gewöhnlicher Weise parallel einschaltet. *Dadurch wird für jeden einzelnen Ort der Transformator die Elektrizitätsquelle.*

Ein besonderer Fall der Wechselstromtransformatoren sind die *Drehstromtransformatoren*. Unter Drehstrom versteht man ja ein System dreier Wechselströme, welche gegeneinander Phasen-

Fig. 77



unterschiede haben. Man kann daher die drei Wechselströme transformieren, indem man jeden durch einen besonderen Transformator gehen läßt. Die transformierten Ströme haben dann denselben Phasenunterschied wie die eingeleiteten primären Ströme. Man kann jedoch auch die drei Transformatoren in einem Apparat vereinigen, wie bei dem in **Fig. 77** abgebildeten Drehstromtransformator der SSW. In diesem sind drei Kerne aus zerteiltem Eisen je mit den beiden Windungssystemen, dem primären und dem sekundären, umwickelt. Unten und oben sind die Eisenkerne durch Eisen miteinander verbunden, so daß jeder Kern durch die beiden anderen

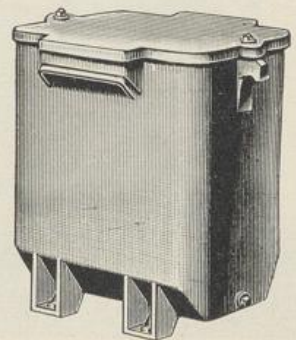
FÜNFTES KAPITEL

geschlossen ist, also geschlossene Magnete bildet. Die Anschlußklemmen für die Hochspannungsleitung (dünner Draht), und diejenigen für die Nutzleitung (dicker Draht) befinden sich oberhalb der Spulen. Das darüber sichtbare Gefäß ist ein Ölbehälter (Ölkonservator). Der ganze Apparat wird nämlich gewöhnlich in einen Kasten aus Eisen gestellt, welcher mit Öl gefüllt ist, wie ihn **Fig. 78** darstellt. Das Öl wird angewendet, weil es die Hochspannung gut isoliert, die Funkenentladung von den Hochspannungsdrähten verhindert und weil es auch die Wärme, die sich in den Drähten bildet, aufnimmt und dadurch bewirkt, daß sich der ganze Transformator bei seinem Betrieb nicht zu hoch erhitzt. Man bezeichnet solche in Öl gebettete Transformatoren auch als *Öltransformatoren*.

Die Transformatoren haben praktisch nicht nur die eine Aufgabe, den hochgespannten Strom von der Zentrale in niedriggespannten Nutzstrom zu verwandeln, sondern häufig auch die Aufgabe, die Spannung des Zentralstromes zu erhöhen. Man kann z. B. die Ströme, die von einer Wechselstrom- oder Drehstrommaschine kommen, welche 10 000 Volt Spannung liefert, durch einen Transformator leicht auf 50 000 oder 100 000 Volt transformieren und dann so weiterleiten. Die Transformatoren dienen also sowohl zum *Herauftransformieren* der Spannung wie zum *Heruntertransformieren* derselben. Für diese Aufgabe in großen Anlagen erhalten natürlich die Transformatoren auch enorme Dimensionen, sie haben häufig die Höhe von zwei bis vier Männern übereinander. Da in ihnen durch den Betrieb fortwährend Wärme entwickelt wird, so muß für eine dauernde Kühlung derselben Sorge getragen werden. Bei den großen Transformatoren wird das Öl der Füllung durch eingesetzte Wasserrohre, in denen dauernd kaltes Wasser fließt, noch besonders gekühlt. Und bei den ganz großen Transformatoren muß man sogar Einrichtungen treffen, daß das Öl aus dem Transformatorkasten durch eine Pumpe dauernd in Rohrleitungen nach außen gebracht, durch Luftkühler abgekühlt und durch Zirkulation wieder in den Kasten gebracht wird.

Durch die Anwendung hoher Spannungen, die nur auf den Leitungsdrähten herrschen, ist nun die Versorgung großer Gebiete mit Elektrizität, die allen Städten, Städtchen, Dörfern dieses Gebietes zugeführt wird, von einer Zentrale aus oder von mehreren Zentralen aus möglich geworden. Und dabei hat man naturgemäß hauptsächlich die großen *Wasserkräfte*, welche ja — bis auf die Kosten des Ausbaues — die Energie umsonst liefern, zum Betrieb der großen Dynamos herangezogen. Mit den Spannungen ist man immer mehr in die Höhe gegangen. Lange Zeit waren 60 000 Volt das Maximum, welches man anwendete; aber nachdem in Amerika zuerst schon Spannungen von 100 000 Volt vielfach eingeführt waren, wurde in Deutschland (und überhaupt in Europa) 1912 die erste Anlage mit 100 000 Volt in Lauchhammer eingerichtet. Seit

Fig. 78

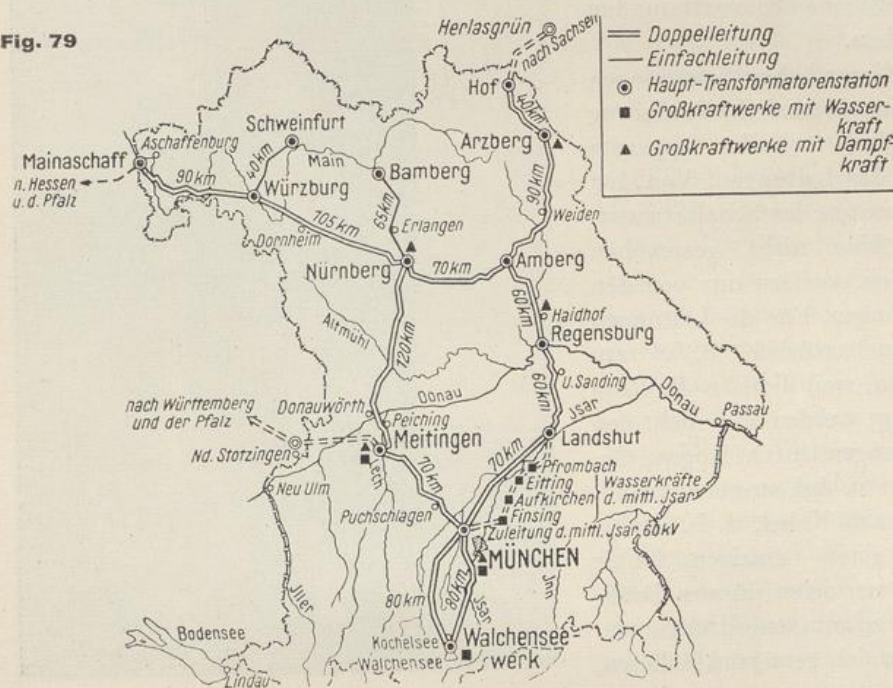


DIE FORTLEITUNG UND VERTEILUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

dieser Zeit sind in Deutschland 100 000 Volt Spannung schon vielfach für die Elektrizitätsversorgung großer Gebiete angewendet worden. In Amerika sind schon einige Anlagen mit 200 000 Volt im Betrieb, ebenso auch in Schweden, und in Deutschland ist von dem Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk (RWE.) sogar eine Anlage mit 380 000 Volt geplant und in der Ausführung begriffen.

Eine der größten Anlagen dieser Art ist in *Bayern* ausgeführt worden. Dort ist eine das ganze Land umfassende Leitung gelegt worden, welche von dem Walchenseewerk und anderen Werken gespeist wird und welche einheitlich das ganze große Gebiet mit Strom versieht. **Fig. 79** gibt eine Übersicht über die ganze Anlage. In dem Walchenseewerk wird einerseits Drehstrom, andererseits Einphasenstrom durch Wasserkraft erzeugt. Der letztere dient zum Betrieb der elektrischen Bahnen und wird in deren Netz geleitet. Der Drehstrom, der auf 100 000 Volt hinauftransformiert wird, geht in das Netz des Bayernwerkes. Auf dasselbe Netz arbeiten noch die Wasserkraftwerke der mittleren Isar und die Kraftwerke am Lech, und außerdem die Dampfkraftwerke in München, Nürnberg, Haidhof, Arzberg. Durch Transformatoren werden deren Ströme auch auf die Spannung von 100 000 Volt transformiert. Dadurch wird bewirkt, daß das ganze Land leichten Anschluß an die Elektrizitätswerke gewinnt und daß nicht nur der normale Bedarf, sondern auch Spitzenleistungen von den Werken gedeckt werden können. Durch Anschlüsse an die Haupttransformatorenstationen in Hof, Aschaffenburg, Meitingen kann weiter noch

Fig. 79



FÜNFTES KAPITEL

Energie an die Nachbarländer abgegeben werden. Diese neueste Entwicklung der elektrischen Verteilung wird naturgemäß um so vorteilhafter, je größer das ganze versorgte Gebiet ist, und man hofft, daß ganz Deutschland in absehbarer Zeit auf solche Weise ein einziges zentralgeleitetes Stromversorgungsgebiet wird.

Die Energiemengen, welche durch die Wasserkräfte des Walchenseewerks zusammen mit den Wasserkräften der mittleren Isar dem Lande zur Verfügung gestellt werden, sind sehr erhebliche. Man drückt diese Energiemengen in Kilowattstunden (kWh) aus. Das Walchenseewerk und die mittlere Isar liefern nun im ersten Ausbau pro Jahr 226 Millionen Kilowattstunden Drehstrom für die Industrie und 90 Millionen Kilowattstunden Einphasenstrom für die Bahnen. Im zweiten Ausbau werden sich diese Zahlen auf 381 und 250 Millionen Kilowattstunden erhöhen.

Bei diesen hohen Spannungen ist eine wesentliche Forderung die *Isolation* aller Apparate und der Leitungen. Von den Apparaten, den Schaltern usw. soll hier nicht gesprochen werden, sondern nur von den Leitungen. Für die Leitungen wären natürlich *Kabel* am besten, weil diese in die Erde verlegt werden und nicht den Störungen durch Regen, Gewitter u. dgl. ausgesetzt sind. Einfache Kabel, d. h. Kabel mit einem einzigen Leiter (der aus vielen dünnen Drähten zusammengedreht ist), lassen sich genügend isolieren,

Fig. 80

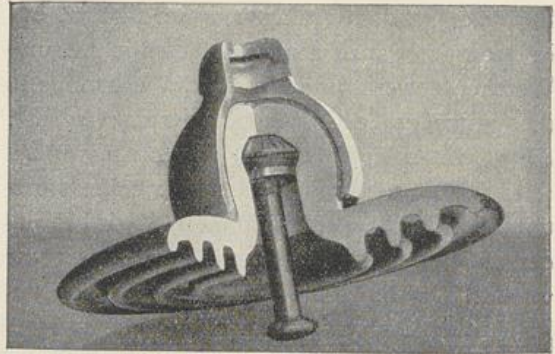
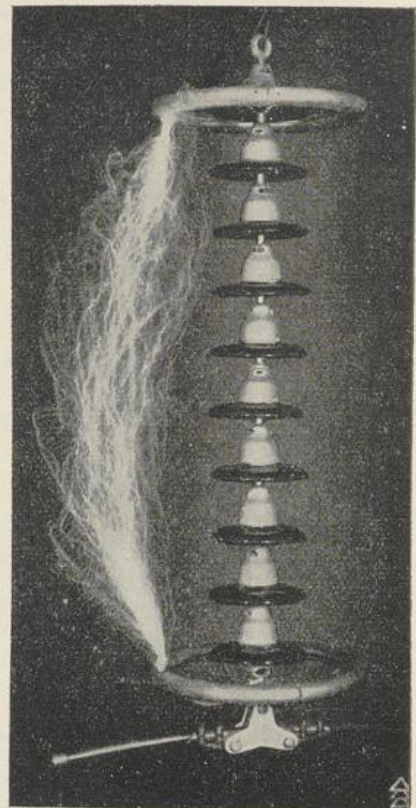


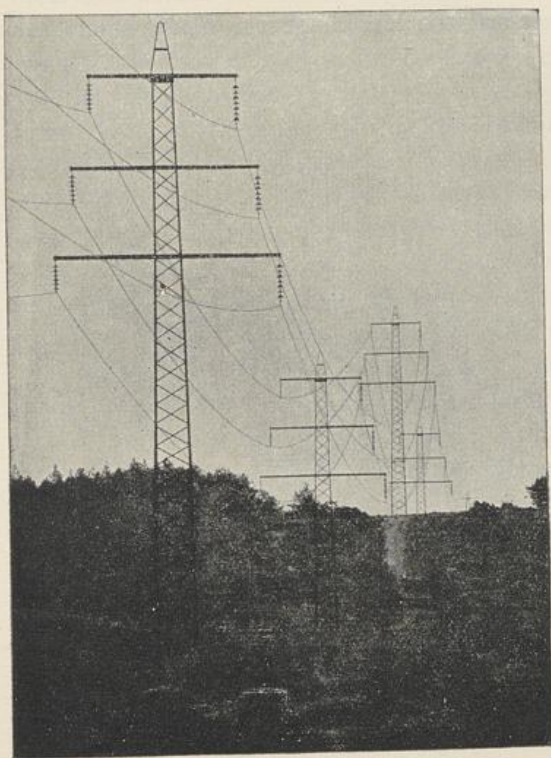
Fig. 81



DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

so daß sie bis zu 120 000 Volt konstruiert wurden. Aber Kabel, welche die drei Leitungen eines Drehstromes zusammen enthalten, sind bisher nur für Spannungen bis zirka 60 000 Volt hergestellt worden, und zwar als sogenannte H-Kabel, bei denen um die Isolation jedes der drei Leiter für sich metallisiertes Papier dicht angelegt ist, so daß jeder der drei Leiter für sich inklusive seiner Isolation abgeschlossen ist und keine gegenseitige Einwirkung der drei Leiter stattfindet. In neuerer Zeit werden diese Kabel auch nicht mehr rund ausgeführt, sondern dreieckig mit abgerundeten Ecken, wodurch an Isoliermaterial gespart wird. Solche Kabel für hohe Spannungen werden häufig zwischen die Zentralstation und die Unterstationen verlegt. Die großen Leitungen aber, die ganze Länder durchziehen, werden als *Freileitungen* ausgeführt, welche von Masten getragen werden. Dabei spielt die Isolation der Leitungsdrähte von den Masten, die bald aus Holz, bald aus Metall bestehen, eine wesentliche Rolle. Für Spannungen bis zu 10 000 Volt genügen die bekannten auf Stützen aufliegenden sogenannten *Stützisolatoren* aus Porzellan. Für die hohen Spannungen aber haben sich *Hängeisolatoren* bewährt, welche aus einer, je nach der Höhe der Spannung, mehr oder minder großen Anzahl von Gliedern aus Porzellan zusammengesetzt sind. Die einzelnen Glieder sind jetzt sogenannte *Kappenisolatoren*, aus einer äußeren Kappe und einem inneren Klöppel,

Fig. 82



wie **Fig. 80** zeigt, bestehend. Die großen Porzellanfabriken prüfen diese Isolatoren mit weit größerer Spannung, als sie in Wirklichkeit angewendet wird, damit sie für alle Eventualitäten genügend sicher sind. So zeigt **Fig. 81** den Überschlag einer Spannung von 1 Million Volt bei einem 9gliedrigen Hängeisolator (von 2,5 m Länge). Der Versuch beweist, daß die Isolatorenkette bei dieser Spannung nicht durchgeschlagen wurde, sondern daß die Entladung durch die Luft ging. Die Isolatoren müssen bei nebligem Wetter und im Regen ihre Isolationsfähigkeit bewahren, und sie müssen auch große mechanische Belastungsfähigkeit besitzen. Sie werden an hohen Masten aufgehängt, wie es **Fig. 82** zeigt. Auch die

FÜNFTE KAPITEL

Abspannisolatoren und die Durchführungsisolatoren müssen natürlich bei den hohen Spannungen meterlang sein.

Bei den ganz hohen Spannungen von 100 000 Volt und darüber entstand eine neue Schwierigkeit. Bei solch hohen Spannungen strömt aus den Leitungsdrähten die Elektrizität in die Luft aus, es bildet sich eine leuchtende *Korona* um die Leitungsdrähte. Man kann das Ausströmen beseitigen, wenn man den Durchmesser der Leitungsdrähte größer macht. Es hat sich gezeigt, daß bei 100 000 Volt Spannung der Durchmesser der Leitungsdrähte nicht unter 12 mm betragen darf, wenn die *Koronaverluste* beseitigt werden sollen, bei 200 000 Volt muß er schon 25 mm betragen. Solche dicke Seile aber besitzen ein enormes Gewicht zwischen zwei Hängeisolatoren, üben also einen ganz gewaltigen Zug aus. Um das Gewicht zu verringern, nimmt man deswegen für diese Leitungen nicht Kupfer, sondern trotz der geringeren Leitungsfähigkeit Aluminium, wobei das Aluminiumseil eine Seele aus Stahl drähten erhält, um die Festigkeit zu vergrößern. Für die höheren Spannungen von 100 Kilovolt an beginnt man zu *Hohlseilen* überzugehen. Da der äußere Durchmesser des Seiles, wie erwähnt, sehr groß gemacht werden muß, während die Stromstärke nicht den entsprechend großen Querschnitt des Seiles erfordert, so kann man durch ein hohles Seil das Gewicht und den wirksamen Querschnitt vermindern und doch die Oberfläche groß machen. Bei der oben (S. 87) angeführten Anlage des RWE. ist zum erstenmal ein solches Hohlseil von 42 mm Außendurchmesser auf 200 km Länge von den großen Elektrizitätsfirmen gespannt worden.

SECHSTES KAPITEL

DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES UND IHRE ANWENDUNGEN

Elektrische Ströme erhält man nicht umsonst. Damit ein Strom in einem Draht fließen kann, muß eine Stromquelle vorhanden sein, sei es ein galvanisches Element oder eine Dynamomaschine. Bei der letzteren müssen wir Arbeit aufwenden, um den Strom zu erzeugen, und bei dem galvanischen Element chemische Energie. Nur durch Aufwendung von Energie in irgend einer Form können wir einen Strom erzeugen, nicht umsonst.

Dieser Aufwand von Energie, der dauernd geleistet werden muß, solange ein Strom fließt, zeigt sich nun darin an, daß jeder Strom einen gewissen *Effekt* besitzt (S. 28), durch welchen er wieder imstande ist, Arbeit zu leisten. Wenn aber der Strom keine wirkliche mechanische Arbeit leistet (wir werden sehen, daß wir Anordnungen treffen können, bei denen er solche mechanische Arbeit leistet), so verwandelt sich die Energie des elektrischen Stromes in *Wärme*. *In jedem Stück eines Leiters, das von einem Strom durchflossen wird, wird Wärme erzeugt, und zwar immer mehr, je länger der Strom fließt, in jeder Sekunde dieselbe Wärmemenge.*

Diese Wärme wird in jedem einzelnen Teile des Drahtes durch den Strom erzeugt, und um die Gesetze dieser Wärmeentwicklung kennenzulernen, ist die erste Frage die: *Wie hängt die erzeugte Wärmemenge in einem Drahtstück mit dem Widerstand desselben zusammen?* Der Versuch hat nun gelehrt, daß von einem und demselben Strome in einem Drahtstück umso mehr Wärme erzeugt wird, je größer der Widerstand dieses Drahtstückes ist. Die nächste Frage ist die: *Wie hängt die Wärmemenge, die in einem bestimmten Drahtstück erzeugt wird, ab von der Stärke des Stromes?* Schickt man durch einen Draht einmal einen Strom von 1 Ampere, dann einen Strom von 2 Ampere, dann einen Strom von 3 Ampere, so zeigt sich, daß die Erwärmung des Drahtes auch immer größer wird, je größer die Stromstärke ist, und zwar sehr beträchtlich. Wenn statt 1 Ampere 2 Ampere herrschen, so ist die entwickelte Wärmemenge 4 mal, wenn 3 Ampere herrschen, ist sie 9 mal so groß. Das heißt also: Wird die Stärke des Stromes doppelt, dreifach, vierfach so groß, als sie war, so wird die entwickelte Wärme jedes einzelnen Leiterstücks bei sonst gleichen Umständen schon 4-, 9-, 16 mal so groß. Die Erwärmung also hängt ab von dem *Quadrat der Stromstärke*.

Diese beiden Gesetze geben also zusammengefaßt das Gesetz: *In jedem Leiterstück ist die in jeder Sekunde entwickelte Wärmemenge gleich dem Widerstand des Leiterstücks, multipliziert mit dem Quadrat der Stromstärke.*

SECHSTES KAPITEL

Dieses Gesetz der Wärmeentwicklung durch den galvanischen Strom wurde von *Joule* (ausgesprochen dschaul) zuerst experimentell gefunden, einem englischen Bierbrauer, der weniger durch sein Bier als durch seine vortrefflichen physikalischen Experimente berühmt geworden ist. Man nennt es deshalb das *Joulesche Gesetz* und die durch den Strom in Leitern erzeugte Wärme auch die *Joulesche Wärme*.

Die Joulesche Wärme erhöht nun die Temperatur der Drähte, und zwar umso mehr, je dünner der Draht ist, weil dabei einerseits infolge des großen Widerstandes mehr Wärme erzeugt wird und weil andererseits infolge der geringen Maße des Drahtes durch diese Wärmemenge die Temperatur stark erhöht werden muß. So kann man durch die Joulesche Wärme Drähte zum Glühen und sogar zum Schmelzen bringen, umso leichter, je dünner die Drähte sind.

Diese Eigenschaft des galvanischen Stromes, daß er seinen Stromkreis erwärmt und einzelne Teile desselben sogar zum Glühen bringen kann, hat ihre wichtigste Anwendung dadurch gefunden, daß man durch *Edison* gelernt hat, sie zum Beleuchten von Wohnungen und Straßen zu benutzen.

Die auf diesem Prinzip beruhenden Lampen nennt man bekanntlich Glühlampen. Die Glühlampen enthalten jetzt alle einen dünnen Draht aus *Wolfram*. Wolfram ist dasjenige Metall, das am schwersten schmilzt, seine Schmelztemperatur liegt zwischen 2850 und 3000° C, so daß man einen solchen Draht durch den Strom auf sehr hohe Temperatur erhitzen kann. Diese Glühlampen werden von der *Osramgesellschaft* hergestellt und heißen Osramlampen. Osram ist aber nicht der Name eines Metalls, sondern bloß eine Fabrikbezeichnung. Da glühende Drähte sich mit dem Sauerstoff der Luft verbinden und rasch verbrennen, so ist es eine notwendige Forderung, sorgfältig den Sauerstoff der Luft von ihnen abzuhalten. Man muß also die Drähte in einen luftleeren Raum bringen, und das erreicht man, indem man sie in *Glasgefäße* einschließt, aus denen alle Luft sorgfältig ausgepumpt ist. Es muß aber zu diesem Zweck der Metalldraht auf irgend eine Weise durch Einsmelzen in dem Glasgefäß befestigt sein. Das läßt sich nun zum Glück leicht machen, wenn man an die Enden des Metalldrahtes Platindrähte oder, bei dem jetzigen Mangel an Platin, Molybdändrähte befestigt (durch Anschmelzen oder durch gemeinsame Verkupferung). Platin und Molybdän lassen sich nämlich leicht und dauerhaft in geeignetes Glas einschmelzen, weil sie denselben Ausdehnungskoeffizienten haben wie diese. Bei der Vorzüglichkeit der neuen Luftpumpen ist es dann nicht schwer, die Glasgefäße fast vollkommen luftleer zu machen.

Die aus dem Glasgefäß herausführenden Drähte gehen dann zu zwei voneinander isolierten Metallstücken außen am Lampenkörper, die man speziell die *Kontakte* nennt und von denen das eine am Boden, das andere an der Seite des Glasgefäßes angebracht ist. Jede Lampe wird nun beim Gebrauch in eine *Fassung* eingesetzt, die an Wandarmen, Kronleuchtern, Lampenständern u. dgl. befestigt ist und zu welcher die beiden Leitungsdrähte, die den Strom in die

DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Lampe schicken sollen, hingeführt sind. Die Fassung enthält also ebenfalls zwei isolierte metallische Teile, mit welchen die äußeren Leitungsdrähte verbunden sind. Sobald die Lampe in ihre Fassung eingesetzt ist, geht der Strom durch den Glühfaden.

Bei der am häufigsten benutzten *Edisonfassung* ist an den Lampenkörper seitlich ein metallisches Schraubengewinde (das *Edisongewinde*) angebracht, wie man es bei der Lampe in **Fig. 83** sieht. Mit diesem Schraubengewinde ist der eine Platindraht verbunden.

Fig. 83



Fig. 84



Fig. 85

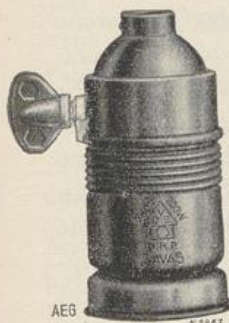
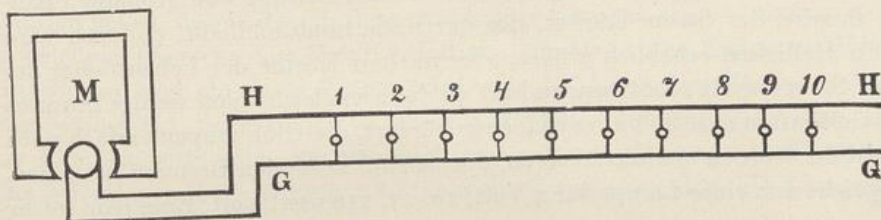


Fig. 86



Der andere geht an ein isoliertes Metallstück am Fuß des Lampenkörpers. Die Lampe wird in ihre Fassung **Fig. 84** eingeschraubt. In die Fassung ist nämlich die zugehörige Schraubenmutter eingeschnitten, und in diese führt der eine Draht der Zuleitung von der Stromquelle. Am Boden der Fassung befindet sich isoliert eine Metallfeder, mit welcher der zweite Draht von der Stromquelle verbunden ist. Beim Einschrauben der Lampe in die Fassung drückt ihr Metallblättchen am Boden auf die Feder auf und bewirkt so einen vorzüglichen Kontakt, so daß der Strom sicher hindurchgehen kann. Zuweilen wird der untere Kontakt durch einen Griff (Hahn) beweglich gemacht, wie es **Fig. 85** zeigt.

Die Glühlampen besitzen im allgemeinen einen sehr hohen Widerstand und brauchen daher auch eine große Spannung an ihren Enden, aber sie brauchen nur verhältnismäßig schwache Ströme. Für eine 50kerzige Osramlampe von 110 Volt Spannung braucht man einen Strom von etwa nur 0,5 Ampere.

Um eine ganze Anzahl Glühlampen von einer und derselben Quelle, etwa einer Dynamomaschine, betreiben zu lassen, so daß sie unabhängig voneinander sind, hat *Edison* zuerst die einfachste Schaltung angegeben, deren Vorzüge wir schon oben S. 78 angeführt haben. Er schaltete nämlich nicht etwa die Lampen alle hintereinander in denselben Stromkreis, sondern er brachte die Glühlampen in sogenannte *Parallelschaltung*, wie sie in **Fig. 86** gezeichnet ist. In dieser bedeutet M die Maschine und 1, 2, 3 bis 10 die Lampen. Es gehen also von der Stromquelle dabei zwei Leitungen H H und G G aus, und

SECHSTES KAPITEL

zwischen diese werden die einzelnen Lampen parallel geschaltet. Die beiden Leiter haben gewöhnlich 110 Volt Spannungsdifferenz, weil man für diese Spannung die Lampen leicht konstruieren kann. In manchen Fällen aber macht man die Spannungsdifferenz gleich 220 Volt.

Die Lichtstärke einer Glühlampe hängt von der Größe der Jouleschen Wärme ab, die in ihr erzeugt wird, also ist sie außer von der Stärke des Stromes allein abhängig von der Größe des Widerstandes des Glühfadens.

Man kann jede Lampe natürlich beliebig stark leuchten lassen, wenn man Ströme von verschiedener Stärke durch sie hindurchsendet. Aber der elektrische Strom übt eine zerstörende Wirkung auf die Glühfäden aus, indem er sie nämlich allmählich *zerstäubt*. Je stärker der durch die Fäden fließende Strom ist, umso stärker ist diese Zerstäubung und umso leichter wird die Lampe ruiniert, indem schließlich an einer Stelle, an welcher der Faden am dünnsten geworden ist, ein Bruch stattfindet. Daher schadet ein zu starker Strom jeder Lampe, und es gibt für jede Lampe eine bestimmte Stromstärke, bei welcher sie einerseits eine genügende Lebensdauer, anderseits eine passende Helligkeit hat. Man hat die normale Lebensdauer einer Glühlampe auf 600 bis 1000 Brennstunden festgesetzt und bestimmt danach die Stromstärke, die sie führen darf, um eine gewisse Helligkeit zu geben. Man gibt aber gewöhnlich nicht an, mit welcher Stromstärke eine Lampe normal brennt, sondern man gibt an, wie groß die Spannungsdifferenz an ihren Enden sein soll, damit sie normal, d. h. mit der angegebenen Kerzenzahl, brenne. Da nämlich der Widerstand der Lampe durch ihre Verfertigung gegeben und bekannt ist, so folgt aus dieser normalen Spannung ohne weiteres auch die normale Stromstärke.

So hat z. B. eine bestimmte Glühlampe einen Widerstand von 480 Ohm, wenn sie heiß ist. Falls durch diese Lampe ein Strom von 0,23 Ampere hindurchgeht, so brennt sie gerade normal und hat dann eine Lichtstärke von 25 Kerzen. Die Spannung an den Enden der Lampe ist, wie wir wissen, stets gleich der Stromstärke, die sie durchfließt, multipliziert mit ihrem Widerstand. Daher kann man leicht ausrechnen, daß an den Enden dieser Lampe eine Spannung von $480 \times 0,23 = 110$ Volt herrschen muß. Man sagt daher, daß die betreffende Lampe eine 25-Kerzen-Lampe für 110 Volt sei, d. h. daß sie zwischen zwei Leitungen von 110 Volt Spannungsdifferenz eingeschaltet werden darf und dabei normal mit 25 Kerzen Lichtstärke brennt und auch genügend lange Zeit aushält. Bringt man diese Lampe zwischen zwei Leitungen von kleinerer Spannungsdifferenz, so ist auch der durchfließende Strom schwächer und die Lampe brennt mit zu geringer Helligkeit. Bringt man sie in eine Leitung von größerer Spannung, so wird der Strom stärker, der durch sie hindurchfließt, dadurch wird auch die Helligkeit erheblich größer, aber nur auf Kosten der Lebensdauer der Lampe. Statt 600 bis 1000 Stunden hält sie dann vielleicht bloß wenige Stunden oder gar Minuten aus. So hat es sich eingebürgert, die Glühlampen einfach nach der Zahl der Volt zu charakterisieren, die sie zum normalen Brennen brauchen. Man spricht von einer Lampe für 4 Volt, 10, 25, 110 usw. Volt. Eine jede solche

DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Lampe hat nun, je nach der Länge und Dicke ihrer Glühfäden, eine bestimmte normale Helligkeit, und zwar gibt es Glühlampen in allen Größen, deren Lichtstärke von einer einzigen Normalkerze bis zu mehreren Tausenden variiert. Für die Beleuchtung im Zimmer ist die passendste Helligkeit bei dem Lichtbedürfnis, wie es sich jetzt eingebürgert hat, die von 25 Kerzen, und daher haben auch die am meisten gebrauchten Glühlampen diese Lichtstärke. Für bessere Beleuchtung nimmt man Lampen von 32 oder auch 50 oder 100 Kerzen. Lampen von geringerer Helligkeit, bis zu einer Normalkerze, werden nur für spezielle Zwecke, etwa als Nachtlampen, für Dekorationszwecke oder dergleichen benutzt, während Lampen von größerer Helligkeit, bis zu 2000 Normalkernen, für Straßenbeleuchtung und glänzende Beleuchtung von Geschäftshäusern, Sälen usw. dienen.

Da an den Enden einer jeden Lampe eine bestimmte Spannung in Volt herrscht und da die Lampe von einem Strom mit einer bestimmten Zahl Ampere durchflossen wird, so enthält jede brennende Lampe einen gewissen *Effekt*, der (in Watt ausgedrückt) gleich dem Produkt der Volt und der Ampere ist (s. S. 70). Also z. B. unsere eben erwähnte Glühlampe, die bei 110 Volt Spannung 0,23 Ampere Stromstärke braucht, um normal zu brennen, hat dabei einen Effekt von 25,3 Watt. Da also diese Lampe bei rund 25 Watt Verbrauch eine Lichtstärke von 25 Kerzen gibt, so kommt auf jede Kerze ein Verbrauch von 1 Watt.

Die Metallfadenlampen haben im allgemeinen einen Effekt, also einen Energieverbrauch, der etwas größer als 1 Watt pro Kerze ist. Also eine Lampe von 100 Kerzen braucht etwa 100 Watt. Wenn sie zwischen zwei Leitern von 110 Volt Spannungsdifferenz brennen soll, so erfordert sie einen Strom von

$$\frac{100}{110} = 0,91 \text{ Ampere. Ihr Widerstand ist daher gleich } \frac{110}{0,91} = 121 \text{ Ohm. Wenn}$$

dagegen eine 100-Kerzen-Lampe in einem Leitungsnetz brennen soll, in welchem 220 Volt Spannungsdifferenz herrscht, so braucht sie

$$\frac{100}{220} = 0,454 \text{ Ampere}$$

und muß daher einen Widerstand von $\frac{220}{0,454} = 484 \text{ Ohm}$ haben.

Aus den angeführten Berechnungen ergibt sich, daß der Widerstand des Glühfadens in den Lampen eine erhebliche Größe besitzt. Da Wolfram ein guter Leiter ist, so muß der Draht dafür, auch wenn er sehr dünn ist (der Durchmesser der Drähte wird zwischen 0,01 und 0,04 mm genommen), erhebliche Länge haben, und es entstand die Aufgabe, diese langen Fäden in einer Glasbirne von nicht zu großen Dimensionen unterzubringen. Diese Aufgabe wurde dadurch gelöst, daß in die Glasbirne ein kurzer Glasstab eingeschmolzen wurde, in welchem Tragarme aus Metall befestigt sind, die an den Enden zu Haken umgebogen sind. In diese Träger wird nun der lange Metallfaden zickzackförmig eingelegt. Seine Enden werden durch Platinzuführungen mit dem Sockel der Lampen verbunden. **Fig. 87** zeigt eine solche Glühlampe in Birnenform. Für Schaufensterbeleuchtung und ähnliche Zwecke werden die Lampen als

SECHSTES KAPITEL

Röhrenlampen, wie **Fig. 88**, ausgebildet, in welchen ein langer Wolframfaden ausgespannt ist, der durch seitliche Befestigungen gerade gehalten wird.

Die Lebensdauer der Wolframlampen ist sehr gut, sie beträgt durchschnittlich über 1000 Stunden. Die Temperatur des Wolframfadens in den Lampen liegt zwischen 1800 und 2000°.

Daß man bei diesen Wolframlampen, obwohl der Schmelzpunkt der Drähte ja noch viel höher liegt, doch nicht eine noch höhere Temperatur und dadurch einen geringeren Effektverbrauch als 1 Watt pro Kerze erzielen konnte, liegt daran, daß diese Fäden bei Steigerung der Temperatur zerstäuben, und dadurch bei höherer Temperatur ihre Lebensdauer erheblich verkürzt wird. Wenn auch die Glühlampenfabriken keinen Übelstand an einer geringen Lebensdauer der Lampen finden würden, so finden ihn die Käufer umso mehr, und es mußte eben ein Kompromiß zwischen der Lebensdauer und dem Effektverbrauch getroffen werden. Bei einer Temperatur des Wolframfadens von 2100° fängt die Zerstäubung schon an, unliebsam zu werden.

Die Wolframlampen werden auch für sehr kleine Lichtstärken in verschiedenen Formen hergestellt. Diese werden mit Spannungen von 2 bis 4 Volt, also von einigen Trockenelementen oder Akkumulatoren betrieben; mehrere solche Lampen für geringe Spannung kann man nun auch zweckmäßig hintereinander schalten, so daß sie dann zusammen von einer größeren Spannung gespeist werden. So werden z. B. von der Osramgesellschaft kleine Lampen in Form von Christbaumkerzen, wie **Fig. 89**, hergestellt, von denen jede für 7 Volt eingerichtet ist, so daß 16 von ihnen hintereinander an die gewöhnlichen 110 Volt angeschlossen werden können. Bei der Hintereinanderschaltung erlöschen natürlich alle Lampen, wenn eine von ihnen zerstört oder herausgedreht wird.

Während für den Gebrauch in Häusern Lampen von 25 bis 100 Kerzen passend sind, ist man aber weiter gegangen, Glühlampen von sehr großer Stärke, solche von 200 bis 4000 HK herzustellen. Und dabei ist es weiter gelungen, den Effektverbrauch dieser hochkerzigen Glühlampen mit Wolframdrähten noch bedeutend zu erniedrigen, so daß sie bloß noch etwa ein halbes Watt pro Kerze verbrauchen.

Die Gesichtspunkte, die zu diesem Fortschritt geführt haben, sind folgende. Die Temperatur der Wolframfäden, bei welcher die Zerstäubung anfängt unliebsam zu werden, liegt, wie gesagt, bei etwa 2100°. Infolge der Zerstäubung der Fäden kann man ihre Temperatur nicht noch höher steigern, wodurch man sonst den Effektverbrauch der Lampen verringern könnte. Wäre es möglich, die

Fig. 87



Fig. 88



DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Zerstäubung zu verhindern, so könnte man die Fäden stärker belasten, die Temperatur steigern und dadurch einen erheblich geringeren Effektverbrauch als den von 1 Watt pro Kerze erzielen. Nun wird die Zerstäubung der Drähte dadurch befördert, daß die Drähte sich in einem luftleeren Raum, in einem Vakuum befinden. Wenn man in den Lampenkörper ein Gas von Atmosphärendruck einführen würde, so könnte man die Zerstäubung wesentlich vermindern. Natürlich darf man nicht Luft in die Lampen füllen, weil deren Sauerstoff den Faden angreifen würde, aber Stickstoff oder Argon oder andere Edelgase sind Gase, die mit Wolfram keine chemische Verbindung eingehen; mit diesen könnte man die Lampen füllen. Indes hat dieses Einführen eines Gases in die Lampen zunächst eine große Schattenseite. Die Gase leiten die Wärme von dem Glühfaden beträchtlich ab, und man braucht daher zunächst viel mehr Energie, um den Faden auf der hohen Temperatur zu halten; statt den Effekt zu verbessern, würde die Gasfüllung ihn verschlechtern. Aber dem läßt sich abhelfen dadurch, daß man den Glühdraht nicht gerade oder zickzackförmig ausspannt, wie in den bisher besprochenen Lampen, sondern daß man ihn zu einer engen Spirale zusammenrollt. Es werden dadurch die meisten Oberflächen-elemente verhindert, ihre Wärme an das umgebende Gas in vollem

Fig. 89

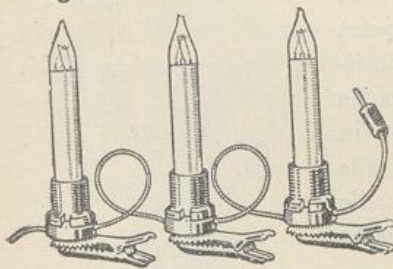


Fig. 90



GRAETZ FÜR ALLE 7

Betrage abzugeben, und die Versuche haben gezeigt, daß man auf diese Weise, durch Füllung mit indifferenten Gasen und durch Zusammenrollung der Drähte, Lampen herstellen kann, die nur noch etwa ein halbes Watt pro Kerze verbrauchen. Solche Lampen nennt man im normalen Sprachgebrauch *Halbwattlampen*, technisch werden sie als *Gasfüllungslampen* bezeichnet, oder als *Osram-Nitralampen*. Man hat diese Konstruktion für Lampen von 25 Kerzen an, aber namentlich für mittelstarke und sehr starke Lampen, solche von 100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 3000 Kerzen Stärke angewendet. Bei den geringkerzigen Lampen dieser Art ließ sich ein so geringer Effektverbrauch wie bei den hochkerzigen Lampen bisher nicht erzielen. Die geringkerzigen Lampen brauchen 1 Watt und sogar mehr pro Kerze, und ihre Lebensdauer ist auch geringer als die der gewöhnlichen Metallfadenlampen, aber bestechend ist bei ihnen das reine weiße Licht. Fig. 90 zeigt eine solche Osram-Nitralampe.

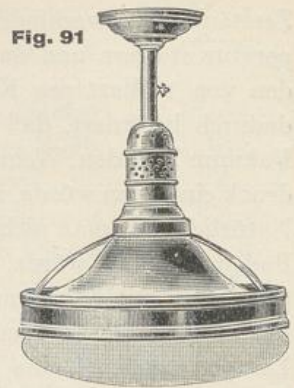
Man verstärkt die Beleuchtung von Räumen und Straßen durch Glühlampen wesentlich, wenn man die Lampen in reflektierende Flächen

SECHSTES KAPITEL

einsetzt, durch welche das gesamte Licht nur nach derjenigen Seite geworfen wird, auf die es fallen soll. Die von der Osramgesellschaft eingeführten *Wiskott-Spiegelreflektoren*, von denen **Fig. 91** eine Abbildung gibt, sind für solche Zwecke besonders eingerichtet. Sie tragen auf der Innenfläche hochpoliertes Silber, das durch einen hauchartigen Lacküberzug vor Beschädigungen geschützt ist. Die Lampen können tief oder weniger tief in die Reflektoren eingehängt werden und geben dadurch mehr konzentrierte (tiefstrahlende) oder mehr zerstreute (breitstrahlende) Beleuchtung. Die Beleuchtung von Büros, Fabriken, Schaufenstern, Bahnhöfen wird bei Anwendung von diesen Reflektoren 50 bis 60 Proz. billiger als ohne solche. Für Innenräume werden die Reflektoren, wie **Fig. 91** zeigt, unten durch eine opale Glasglocke abgeschlossen.

Die Kunst der zweckmäßigen Beleuchtung, namentlich von Schaufenstern, aber auch von Wohn- und Arbeitsräumen, durch richtige Anbringung von Lampen passender Stärke und durch richtige Verwendung von geeigneten Reflektoren fängt in Deutschland jetzt erst an, eine ihrer Bedeutung entsprechende Würdigung zu erfahren. Die Osramgesellschaft, welche diese Lichtwirtschaft zu verbreiten sucht, hat in Berlin ein großes *Lichthaus* errichtet, in welchem alle hierbei in Betracht kommenden Umstände und die Wirkungen falscher und richtiger Beleuchtung direkt zur Anschauung kommen.

Die transparente Beleuchtung von Geschäftsschildern und von Hausnummern beginnt sich jetzt einzuführen, da sie viele Annehmlichkeiten bei geringen Kosten bietet. Vor allem aber entwickelt sich jetzt auch in Deutschlands großen und mittleren Städten die *Lichtreklame* sehr stark, so daß dadurch oft eine überwältigende Fülle von Licht auf den Straßen verbreitet wird. Hauptsächlich sind es natürlich die großen Straßen und Plätze, an denen solche Reklameschriften an den Häusern und auf den Dächern angebracht werden, zum Teil als stillstehende Schrift, zum Teil aber auch, und zwar am wirksamsten, als *Wanderschrift*. Bei der letzteren werden auf der Reklamefläche sehr viele (1000 bis 20 000) Glühlampen, je 10 vertikal übereinander in horizontalen Reihen gleichmäßig angeordnet, so daß sie einen *Glühlampenraster* bilden. Von jeder Glühlampe führen zwei Drähte zu einem *Kontaktraster*, der beliebig entfernt sein kann, und auf welchem bewegliche Stifte angebracht sind, die mit den von den Glühlampen kommenden Drähten verbunden sind. Durch Typenklötze, die man unter den Stiften verschiebt und die auf einer endlosen Kette



DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

angebracht sind, werden nun immer die passenden Stifte gehoben, so daß sie Kontakt machen und dadurch die zugehörigen Glühlampen zum Leuchten bringen. Außer der eigentlichen Reklameschrift kann man auf dieser Kette, während der Bewegung, noch Typen anbringen, die den Text von letzten Telegrammen ergeben, so daß die Beschauer fast gezwungen sind, auf die Reklame aufzumerken.

Für Reklamezwecke dienen auch die kleinen *Glimmlampen* (Fig. 92), welche mit Neon gefüllt sind und ein auffallendes orangerotes Licht geben. Sie beruhen auf Erscheinungen, die wir in Kapitel 9 besprechen werden.

Der große Vorzug jeder elektrischen Beleuchtung vor allen älteren Beleuchtungsarten ist der, daß man die elektrischen Lampen von der Ferne aus durch einen Griff zum Leuchten oder zum Erlöschen bringen kann. Glühlampen, die zugänglich sind und einzeln entzündet oder ausgelöscht werden sollen, werden in ihren Fassungen mit einem Hahn versehen (wie in Fig. 85), der beim Drehen einen Kontakt hervorbringt oder öffnet. Man kann jedoch einzelne Lampen oder viele zusammen (etwa alle Lampen eines Lüsters) auch bequem von der Ferne entzünden oder auslöschen, indem man nur in die Leitung zu den Lampen einen *Ausschalter* irgendwo anbringt. Diese Ausschalter, von denen Fig. 93 eine Form geöffnet zeigt, haben wir bereits auf S. 25 f. beschrieben.

Es wird also z. B. die Leitung, welche in ein Zimmer führt und zwischen deren beide Drähte alle Lampen dieses Zimmers parallel eingeschaltet sind, zuerst an diesen Ausschalter geführt, so daß der eine Leitungsdraht unterbrochen ist und seine beiden Enden mit den Metallfedern F verbunden sind. Durch eine bloße Drehung des Griffes kann man dadurch sofort die beiden getrennten

Metallfedern leitend verbinden, dadurch den Strom schließen und damit das ganze Zimmer erleuchten oder durch Weiterdrehen des Griffes wieder verdunkeln.

Man kann auch den Ausschalter so einrichten, daß er mehrere Kontakte besitzt, so daß man z. B. je nach seiner Stellung von einem Lüster ein Viertel der Lampen oder drei Viertel oder alle Lampen brennen lassen kann. Das Schema zu einer solchen Einrichtung ist in Fig. 94 gezeichnet. Zwischen die beiden horizontal gezeichneten Hauptleitungen sind zwei parallel geschaltete (durch vertikale Striche angegebene) Leitungen gelegt, von denen die

Fig. 93

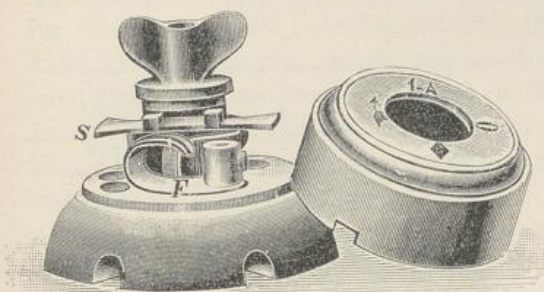
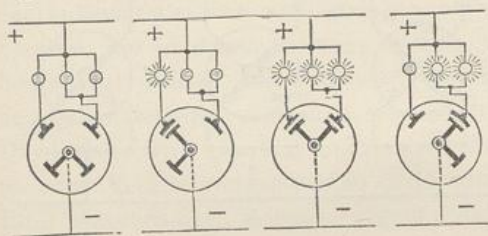


Fig. 94



SECHSTES KAPITEL

erste (links) eine Lampe, die zweite (rechts) zwei (parallele) enthält. Der Ausschalter, der durch einen Kreis mit Kontakten und dem doppelarmigen Griff dargestellt ist und den man *Serienschalter* nennt, gestattet nun, wenn man den Griff in der Richtung des Uhrzeigers dreht, folgende Verbindungen zu machen. In der ersten Stellung ist alles ausgeschaltet, in der zweiten brennt die Einzellampe, in der dritten brennen alle drei Lampen und in der vierten bloß die beiden zusammengeschalteten. Solche Schaltungen kann man natürlich in beliebiger Komplikation ausführen.

Häufig will man eine Glühlampe oder einen Lüster nicht bloß von einer Stelle aus anzünden und auslöschten können, sondern von zwei oder mehr Stellen aus. Bei der Treppenbeleuchtung z. B. will man beim Eintreten in die Haustür die Treppenlampen anzünden und an der Wohnungstür sie auslöschten können oder umgekehrt. Die zu diesem Zweck dienenden Ausschalter bezeichnet man als *Korrespondenzschalter*.

Diese werden gewöhnlich der bequemerer Verbindung halber mit vier Kontakten hergestellt, obwohl man nur zwei Kontakte braucht. In **Fig. 95** sieht man die beiden Schalter I und II zwischen die negative und die positive Leitung mit einer Lampe L eingeschaltet. Zwei Kontakte jedes Schalters sind untereinander und mit je einer der beiden Leitungen verbunden, die beiden anderen Kontakte des einen Schalters sind mit den entsprechenden des zweiten verbunden. Man sieht aus den vier Stellungen 1, 2, 3, 4 der drehbaren Stücke in den beiden Schaltern, daß, wenn man in einem der beiden Schalter den drehbaren Griff weiterdreht, die Lampe abwechselnd hell und dunkel wird.

Will man von mehr als zwei Stellen aus die Lampen anzünden, so muß man die weiteren Stellen mit sogenannten *Kreuzschaltern* versehen, bei denen die drehbare Achse zwei Federsysteme trägt, die abwechselnd von den vier Kontakten

Fig. 95

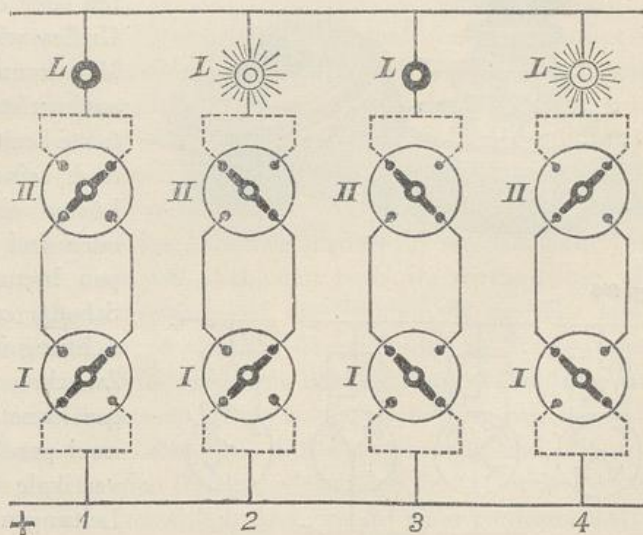
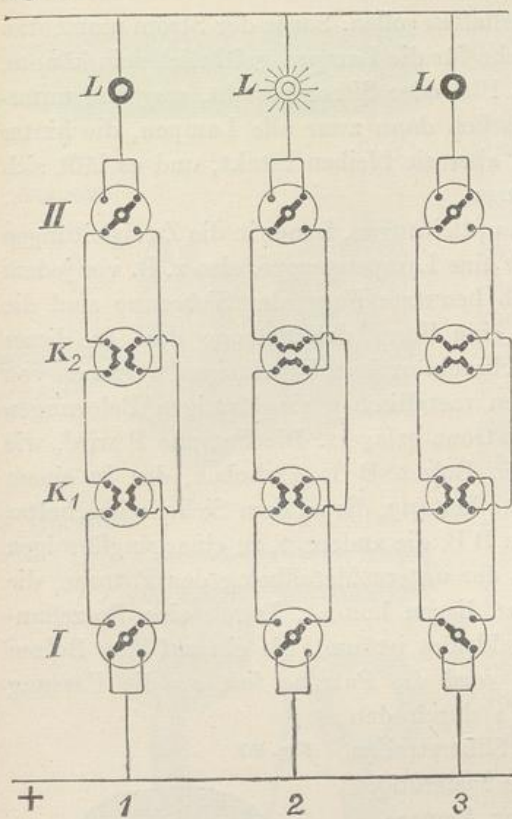


Fig. 96



entweder je zwei nebeneinanderliegende oder je zwei einander gegenüberliegende verbinden oder auch abwechselnd das eine Paar und dann das andere Paar nebeneinanderliegende Kontakte verbinden. Der letztere Fall ist in der Zeichnung **Fig. 96** angenommen, bei der von 4 Stellen (I, K_1 , K_2 , II) aus die Lampe angezündet oder ausgelöscht werden kann. In dieser Figur sind I und II zwei Korrespondenzschalter, wie in **Fig. 95**, und K_1 und K_2 sind zwei Kreuzschalter, L ist die Lampe. Drei verschiedene Stellungen der Schalter sind in 1, 2, 3 gezeichnet. Aus 1 ergibt sich 2 durch Drehen des Schalters K_2 , aus 2 ergibt sich 3 durch Drehen von I. Welchen von den vier Schaltern man auch weiterdreht, immer wird abwechselnd die Lampe L hell oder dunkel sein.

Eine wichtige Forderung aber

für alle elektrischen Betriebe ist die, daß die Apparate, also in unserem Falle die Glühlampen, gegen etwaige Zufälle, die durch zu starke Ströme entstehen, geschützt werden. Käme zufällig ein zu starker Strom in die Lampen, so würden diese rasch durchbrennen. Solche zu starken Ströme können in einer Leitung hauptsächlich durch den sogenannten *Kurzschluß* entstehen. Wenn nämlich die beiden Leitungen, zwischen denen alle Lampen sich befinden, auf irgend eine Weise nicht mehr gegeneinander isoliert sind, sei es, daß die isolierende Umspinnung beschädigt ist oder daß Balken oder Mauern, an denen sie befestigt sind, stark feucht geworden sind, oder daß durch einen Zufall bei einer Manipulation die Drähte in Berührung kommen, so ist der Widerstand der äußeren Leitung viel geringer, als er sein sollte, und daher werden die Ströme, die in dieser Leitung fließen, zu stark, und alle Apparate können beschädigt werden. Die Sicherung gegen diese Gefahr ist zuerst von *Edison* angegeben worden, und auch sie beruht auf der Jouleschen Wärme.

Die Gefahr wird nämlich dadurch vermieden, daß an allen passenden Stellen, an allen Verzweigungspunkten der Leitungen dünne Metallstreifen in die Leitung eingeschaltet werden, sogenannte *Sicherungen*, welche so abgemessen

SECHSTES KAPITEL

werden, daß sie schmelzen, wenn ein stärkerer Strom durch sie hindurchfließt als derjenige, den sie noch gerade aushalten sollen. Sowie der Strom momentan eine zu große Stärke bekommt, welche für die Lampen gefährlich sein könnte, schmilzt der Metallstreifen, der aus Blei oder Silber besteht, weg und unterbricht dadurch den Strom. Es erlöschen dann zwar alle Lampen, die hinter dieser Sicherung eingeschaltet sind, aber sie bleiben intakt, und es läßt sich die Sicherung mit Leichtigkeit ersetzen.

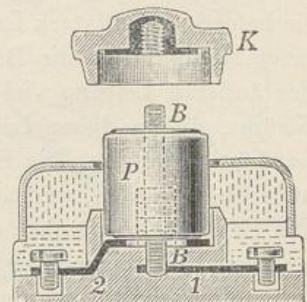
Solche Sicherungen werden in die Hauptleitungen, ferner in die Zweigleitungen und endlich an jeder Abzweigung für eine Lampengruppe, also z. B. vor jedem Zimmer, eingeschaltet. Eine vielfach benutzte Form der Sicherung sind die *Patronensicherungen*. **Fig. 97** stellt eine Form der Patrone dar. In dieser befindet sich der Schmelzdraht in zickzackförmigen Windungen, umgeben von isolierendem Pulver. Er ist zwischen metallischen ringförmigen Belegungen auf der Ober- und Unterseite der Patrone gelagert. Die Patrone P wird, wie **Fig. 98** zeigt, auf einen metallischen Bolzen B B geschoben, der in einem *Sicherheitsschalter* angebracht ist. Eine Leitung, die zu dem Sicherheitsschalter führt, nämlich 1, wird zu dem Bolzen B B, die andere, 2, zu einer ringförmigen Metallunterlage geführt, auf welche der untere Metallbelag der Patrone, die über den Bolzen geschoben wird, zu liegen kommt. Durch eine Porzellan-kappe K, die innen metallisch ausgekleidet ist und die ein auf den Bolzen passendes Schraubengewinde trägt, wird die Patrone fest an die Fassung gedrückt. Der Strom geht von 1 durch den Bolzen zur Kappe, dann durch den Silberstreifen der Patrone nach 2. Man verfertigt die Sicherungen für die Stromstärken 3, 6, 10, 15, 20 usw. Ampere.

Der elektrische Strom war seit der Einrichtung von elektrischen Zentralen in den großen Städten und seit der Einrichtung von Großkraftwerken für die kleinen Städte und Dörfer schon allgemein zu einer großen Menge von Anwendungen, speziell für Beleuchtung und Arbeitsleistung, verwendet worden, ehe man ernstlich daranging, ihn auch zum *Heizen* und *Kochen*, allgemein zur Wärmeerzeugung, zu verwenden. Erst in den letzten Jahren, nach dem Kriege, beginnt die Elektrotechnik mit Energie gerade diese Benutzung des elektrischen Stromes allgemein zu verbreiten und sucht die großen Vorteile, welche die elektrische Wärmeerzeugung vor den früheren Methoden besitzt, durch Herstellung und zweckmäßige Einrichtung geeigneter Apparate der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Man bezeichnet diese Aufgaben als solche der *Elektrowärmewirtschaft*.

Fig. 97



Fig. 98



DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Fig. 99



Fig. 100

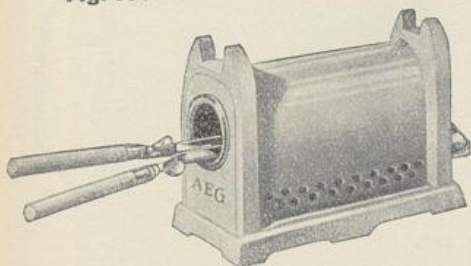
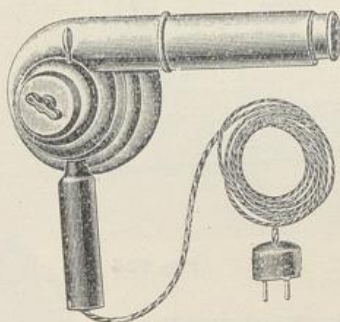


Fig. 101



Da Drähte durch die elektrischen Ströme, von denen sie durchflossen werden, auf jeden beliebigen Grad erwärmt werden können, so lag an sich der Gedanke sehr nahe, diese Joulesche Wärme durch passende Anordnung der Drähte auch zum Kochen und Heizen zu benutzen, also diese Wärme etwa in Gefäßen zu entwickeln, in welchen man Wasser zum Sieden oder durchströmende Luft für Heizzwecke auf hohe Temperatur bringen will.

Es kommt dabei wesentlich auf die Kosten an, zu welchen man die elektrische Energie haben kann, und es werden jetzt allgemein die Tarife für diese Benutzung der Elektrizität sehr niedrig gestellt. Wenn aber die Frage der Ökonomie erledigt ist, so bietet der elektrische Betrieb auch in diesem Gebiet eine große Menge Vorzüge, nämlich solche der Gefahrlosigkeit, der Reinlichkeit, der steten Betriebsbereitschaft, der großen Bequemlichkeit. In der Tat entwickelt ja ein Strom in einem Leiter fortwährend Wärme, solange er fließt, und diese Wärme kann man natürlich leicht auf andere Körper übertragen,

indem man einfach die sich erwärmenden Drähte mit diesen Körpern in enge Berührung bringt. Dabei muß man die Drähte aus einem Material wählen, welches hohe Schmelztemperatur, großen spezifischen Widerstand und geringe Oxydationsneigung besitzt. Als solches Material hat sich besonders *Chromnickelstahl* bewährt. Denjenigen Teil der Apparate, in welchem die Leitungsdrähte liegen und durch welchen der Strom fließt, nennt man den *Heizkörper*. Zur Isolierung der Drähte nimmt man zum Teil Mikanit (das aus Glimmer und Lack hergestellt wird), zum Teil bettet man sie unter Druck in Magnesia. Zum Teil bestehen die Heizkörper aus dichten Tonkörpern, welche Rinnen und Röhren zur Aufnahme der Drähte besitzen. Man bringt auch die Drähte in *Heizpatronen*, wie Fig. 99, an, welche aus Tonmaterial mit Zementüberzug bestehen und einfach ausgetauscht werden können. Von außen sieht man natürlich von den Heizkörpern nichts, sondern man sieht nur die Drahtschnüre, durch welche der Strom ihnen zugeführt wird. So zeigt Fig. 100 einen Brennscherenwärmer, dessen Gehäuse aus weißglasiertem Porzellan besteht. In Fig. 101 ist ein vielfach benutzter elektrischer Haartrockenapparat (den die Gesellschaft Sanitas,

SECHSTES KAPITEL

Berlin, als Föhn bezeichnet hat) abgebildet. Er besteht aus Aluminium mit isolierendem Griff und besitzt innen einen kleinen elektrischen Motor, der durch einen Ventilator die Luft ansaugt und über die Heizkörper streichen läßt, so daß ein passend warmer Luftstrom aus der Öffnung des Apparates herausbläst. Die elektrischen Heizkissen

Fig. 102 enthalten die Heizdrähte im Innern eines Kissens, das zum Abknöpfen eingerichtet ist. Es wird an einen Steckkontakt angeschlossen und bildet für Kranke und Schwache ein wertvolles Heilmittel. Sehr beliebt sind im Haushalt die elektrischen Bügeleisen **Fig. 103**, welche an einen Steckkontakt angeschlossen werden und ein dauerndes Bügeln, ohne das sonstige Auswechseln des Eisens, gestatten und dadurch billig und zeitsparend im Betrieb sind. Sie enthalten neuerdings innen einen Schalter, der selbsttätig den Strom ausschaltet, wenn die Temperatur über die zulässige Grenze steigt.

Zum raschen Erwärmen von kleinen Wassermengen werden *Tauchsieder* hergestellt, wie **Fig. 104** einen zeigt, die in das Wasser eingestellt und an einen Steckkontakt angeschlossen werden. Um größere Wassermengen für das Schlafzimmer oder die Küche zu erwärmen, dienen die *Heißwasserspender*, von denen **Fig. 105** einen der AEG. zeigt. Für die Küche werden Kochplatten hergestellt, die an die Leitung angeschlossen werden und auf welche die Töpfe mit den Speisen gestellt werden. **Fig. 106** zeigt einen solchen Tischherd der AEG. mit 2 Kochplatten. Größere Kochherde werden fest an die Leitungen angeschlossen und enthalten eine Anzahl Schalter, durch welche man gerade die gewollten Kochplatten einstellen kann und durch die auch die Stromstärke reguliert werden kann. Bei einem solchen elektrischen Herd wird die Arbeit der Kochkünstlerin durch Feuer, Ruß u. dgl. gar nicht beeinträchtigt.

Die elektrische Heizung von Wohn- und Geschäftsräumen bürgerte sich bisher noch wenig ein. Bei den üblichen, für

Fig. 102

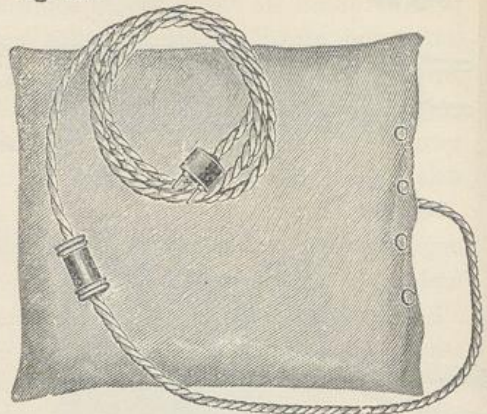


Fig. 103



Fig. 104

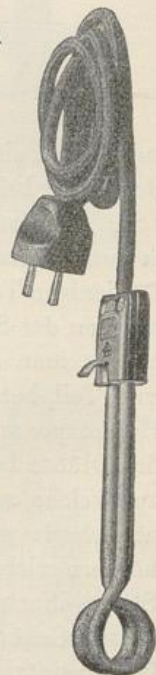


Fig. 105

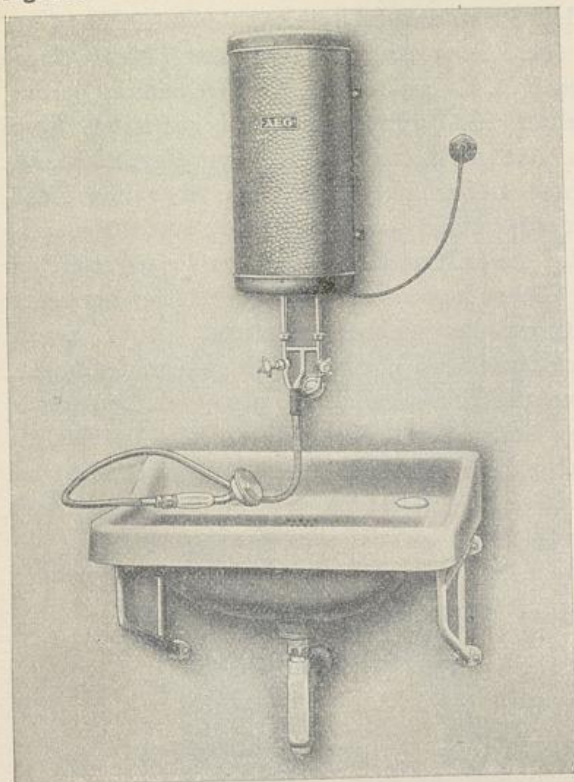
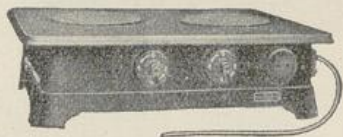


Fig. 106



Wärmeapparate an sich schon ermäßigten Preisen ist das elektrische Heizen zu teuer, im Verhältnis zur Zentralheizung und Ofenheizung. Man beginnt diesen Nachteil zu beseitigen durch Konstruktion von elektrischen *Speicheröfen*. Bei diesen ist der Ofen mit einer Speichermasse, z. B. Sand oder Speckstein gefüllt, welche durch die elektrischen Heizelemente auf 100° und mehr erwärmt wird. Der Ofen hat solche Wärmeisolation, daß seine Temperatur sich bei stundenlangem Stehen nur wenig ändert. Man heizt (ladet) solche Öfen während der Nacht zu dem sehr billigen Nachttarif und am Tage hält er dann die Zimmer ohne weitere Energiezufuhr genügend warm. Sogar für Backöfen hat man diese Konstruktion angewendet. Bei dem niedrigen Nachttarif (in München z. B. 3 Pfennig pro Kilowatt-

stunde) ist in diesen Fällen die elektrische Heizung auch ökonomisch und mit anderen Methoden konkurrenzfähig.

Auf der Jouleschen Wärmeentwicklung beruht auch die glänzende Erscheinung des *elektrischen Bogenlichts*.

Im Jahre 1821 beobachtete der englische Physiker *Davy* einen höchst merkwürdigen und glänzenden Vorgang. Als er nämlich die Pole einer sehr starken galvanischen Batterie mit zwei Stäben aus Kohle verband und diese Kohlen aneinander brachte, daß sie sich berührten, ging der starke elektrische Strom durch sie hindurch. Als er aber die Enden der beiden Kohlen danach ein wenig voneinander entfernte, so daß eigentlich der Strom unterbrochen sein mußte, entstand zwischen den Kohlen ein außerordentlich helles Licht. Es kamen die Enden der Kohle in helle Weißglut, und ebenso glühte die Luft bläulich

SECHSTES KAPITEL

zwischen ihnen, und der Strom war nicht unterbrochen sondern dauerte an, wobei die glühende Luft eben den Strom weiterleitete.

Diese Erscheinung nennt man den *elektrischen Lichtbogen* oder *Flammenbogen* und das Licht selbst daher *Bogenlicht*. Es erklärt sich die Erscheinung daraus, daß erwärmte Luft die Elektrizität verhältnismäßig ziemlich gut leitet. Wenn daher die Spannung der Elektrizität groß genug ist, so kann die Elektrizität auch den Widerstand einer warmen Luftschicht überwinden. Aber diese Überwindung des großen Widerstandes geht nur mit Entwicklung von Wärme vor sich, die hierbei so stark wird, daß die Luft und die Enden der Leiter, zwischen denen die Luft sich befindet, ins Glühen kommen. In dem Lichtbogen herrschen außerordentlich hohe Temperaturen, die zwischen 3000 und 4000° C liegen. Das eigentlich Leuchtende im elektrischen Licht ist nicht der Flammenbogen, welcher als glühendes Gas nur wenig Licht aussendet. Das eigentlich Leuchtende sind vielmehr die weißglühenden Enden der Kohlen selbst. Dabei werden die Kohlen allmählich zerstäubt. Aber diese *Zerstäubung* der Kohlen ist nicht bei beiden die gleiche. Von der positiven Kohle reißen sich die Teilchen in weit größerer Zahl ab als von der negativen, und so kommt es, daß, wenn Gleichströme angewendet werden, die positive Kohle sehr bald sich aushöhlt und einen weißglühenden Krater bildet. Die negative Kohle dagegen bleibt während des Vorgangs immer erhaben und spitzt sich zu.

Fig. 107 zeigt die Erscheinung des Bogenlichtes, wobei oben die positive Kohle sich befindet, unten die negative.

Um das Bogenlicht zu erzeugen, muß man eine Stromquelle anwenden, welche 40 bis 50 Volt Spannung an den Enden der beiden Kohlen erzeugt. Sonst kann der Flammenbogen nicht dauernd bestehen bleiben. Bei Wechselströmen beträgt die notwendige Spannung nur 28 bis 30 Volt.

Die Helligkeit des elektrischen Lichtes hängt natürlich ab von der *Stärke* des Stromes, welcher durch die Kohlen hindurchgeht, und man kann durch Veränderung der Stromstärke die Helligkeit des Lichtes in sehr weiten Grenzen verändern, von der

Fig. 107

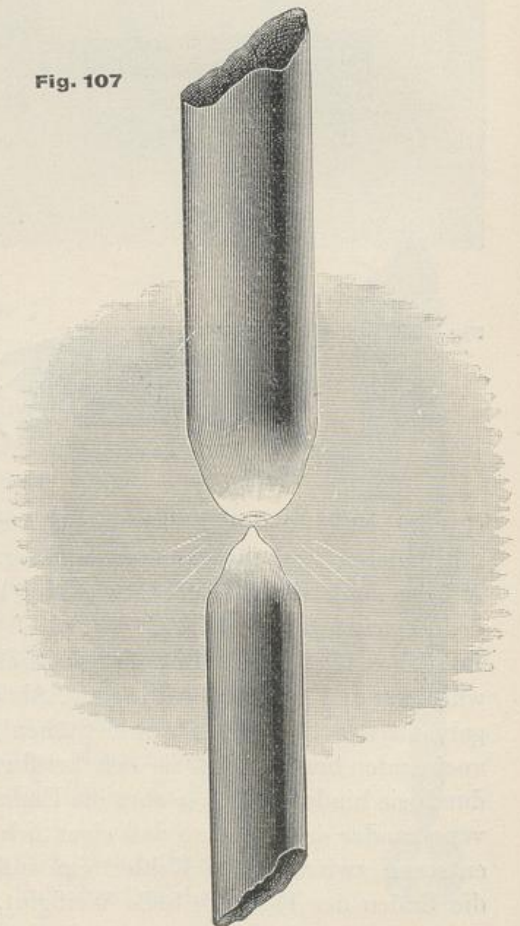


Fig. 108

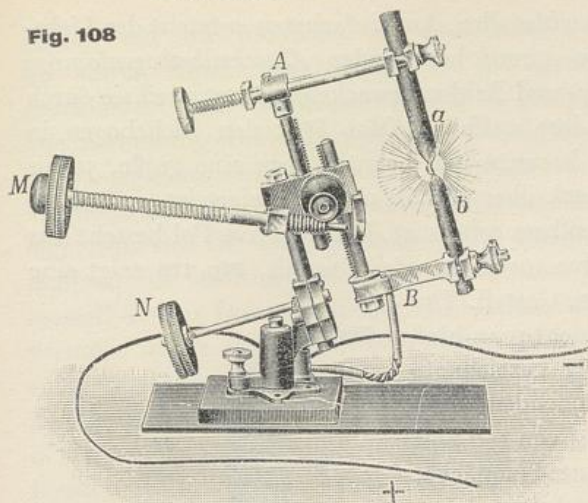
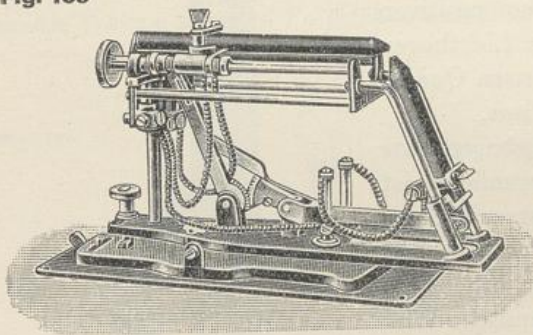


Fig. 109



Stärke von einigen hundert Kerzen bis zu der von vielen tausend Kerzen.

Da die Kohlen durch das Abbrennen (durch die Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft) kleiner werden, so vergrößert sich ihr Abstand, der Widerstand der Luftschicht wird größer, und der Lichtbogen würde erlöschen, wenn man nicht die Kohlen von Zeit zu Zeit einander näherte.

Man muß also den Abstand der Kohlen regulieren, was man am einfachsten mit der Hand macht. Eine Abbildung einer *Handregulierungs-lampe* für das Bogenlicht zeigt **Fig. 108**. Bei + und — kommen die Leitungsdrähte von der Zentrale an die beiden Kohlenhalter A und B, die mittels des Griffes M durch Drehen derselben einander genähert oder voneinander entfernt werden können. In

den Haltern A und B sind die Kohlen a und b befestigt.

Die Anwendung des Bogenlichts zur Beleuchtung von Straßen und großen Räumen hat jetzt fast aufgehört, da die starken Halbwattlampen viel bequemer im Gebrauch sind. Nur auf den Leuchttürmen sind noch sehr starke Bogenlampen im Gebrauch. Dagegen für Unterrichtszwecke ist die Projektion von Bildern mittels des Bogenlichts noch die wirksamste. Dabei benutzt man am bequemsten die Handregulierung.

Auch für die Projektion der Bilder in den Lichtspieltheatern benutzt man Handregulierungslampen. Dabei hat es sich für die Projektion als vorteilhaft erwiesen, die Kohlen nicht direkt übereinander anzuordnen, sondern vielmehr so, daß die positive Kohle horizontal liegt und die negative schief oder senkrecht zu dieser steht. **Fig. 109** zeigt eine solche *Kinolampe*. Man betreibt solche mit so starken Strömen, daß sie Lichtstärken bis 15 000 Kerzen geben.

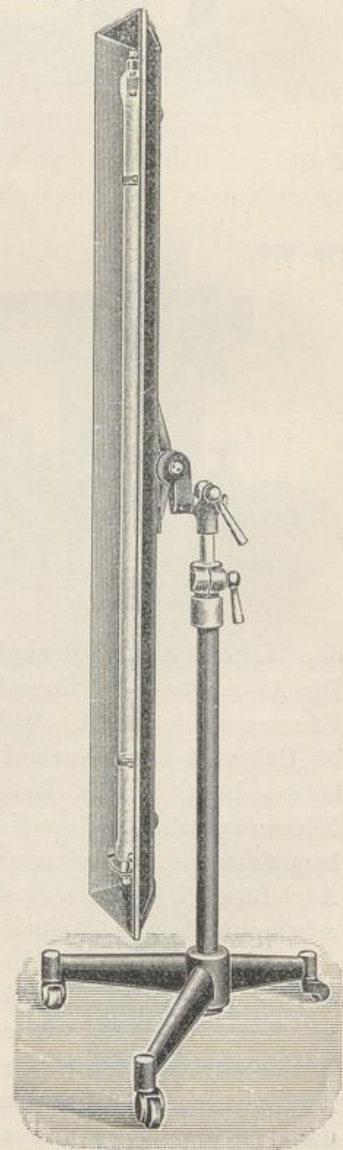
Man kann einen Lichtbogen nicht bloß zwischen zwei sich zuerst berührenden und dann getrennten Kohlen erzeugen, sondern auch zwischen Metallen, nament-

SECHSTES KAPITEL

lich zwischen leicht zerstäubenden Metallen. Am einfachsten entsteht der Lichtbogen an Quecksilber, und die darauf beruhenden *Quecksilberbogenlampen* werden auch oft zu Beleuchtungs- und Reklamezwecken benutzt, weil sie durch ihr grünlichblaues Licht besonders auffallen. Man läßt den Lichtbogen in Quecksilberdampf statt in Luft brennen und benutzt dazu eine große, 50 bis 100 cm lange Glasröhre, die Quecksilber enthält und evakuiert ist, so daß sie ganz mit dem Dampf des Quecksilbers erfüllt ist. Der negative Pol besteht aus flüssigem Quecksilber, der positive aus Eisen oder Graphit. **Fig. 110** zeigt eine solche Quecksilberlampe in einem Gestell. Um den Lichtbogen zu zünden, braucht man bloß die Röhre zu *kippen*, wofür das gezeichnete Gestell geeignet ist. Man läßt, nachdem man an die beiden Pole eine Spannung von 110 Volt angelegt hat, durch Kippen das unten (zunächst am positiven Pol) befindliche Quecksilber langsam zum negativen Pol laufen. Dann geht der Strom durch das flüssige Quecksilber, und sobald das Quecksilber sich von dem positiven Graphitpol trennt, entsteht der Lichtbogen und breitet sich nun durch den ganzen Quecksilberdampf von oben nach unten aus.

Ein Hauptvorteil des Quecksilberbogenlichts gegenüber dem gewöhnlichen Bogenlicht ist sein Reichtum an Strahlen von kurzer Wellenlänge, den violetten und *ultravioletten* Strahlen. Solche Strahlen haben eine sehr erhebliche photographische und allgemein chemische Wirkung und eine sehr ausgesprochene medizinische, heilende Wirkung bei Hautleiden. Wenn man aber den Quecksilberlichtbogen in einem Glasrohr erzeugt, so kommt dieser Vorteil nicht zur Wirkung, weil das Glas die ultravioletten Strahlen größtenteils absorbiert (verschluckt). Dagegen ist Quarz für solche Strahlen sehr durchlässig. Auch eine bestimmte Glassorte, die das *Jenaer Glaswerk Schott & Gen.* herstellt und welches sie aus diesem Grunde *Uviolglas* nennt, ist, anders als die gewöhnlichen Gläser, für die ultravioletten Strahlen ziemlich durchlässig, wenn auch nicht so vollkommen wie Quarz. Die aus solchem Glas konstruierten Quecksilberdampflampen nennt man *Uviolampen*. **Fig. 111** stellt eine kleine derartige

Fig. 110



DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

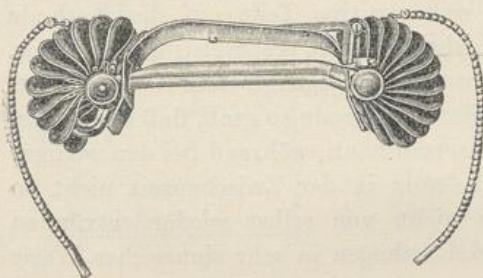
Lampe dar, die komplett mit dem nötigen Widerstand geschaltet ist und die durch einen Steckkontakt an die gewöhnliche Starkstromleitung angeschlossen wird. Zur Zündung wird sie gekippt.

Die Benutzung dieser Lampen aus Uviolglas sowie derjenigen aus Quarz ist sehr ausgedehnt in chemischen Fabriken und in photographischen Ateliers. Vermöge ihres Reichtums an ultravioletten, photographisch wirksamen Strahlen eignen sie sich für Abendphotographien weit mehr als die gewöhnlichen Bogenlampen. Die wichtigste Anwendung hat aber die Quecksilberlampe, und zwar speziell die aus Quarz gebildete, auf medizinischem Gebiet erlangt. Dort hat sie vermöge der in ihr enthaltenen ultravioletten Strahlen, wie vorliegende Versuche beweisen, ein wichtiges Feld zur Behandlung der Hautkranken. Für diesen Zweck ist die *Quarzlampe*, welche von der Quarzlampengesellschaft m. b. H. in Hanau hergestellt wird, folgendermaßen eingerichtet. Das Quecksilber befindet sich in einem Quarzrohr, dem *Brenner* der Lampe, welchen **Fig. 112** zeigt. Das eigentliche Rohr ist mit zwei quer angesetzten Gefäßen, ebenfalls aus Quarz, versehen, welche die Quecksilberelektroden enthalten. Diese Gefäße sind außen mit Fächern aus Metall umgeben, die als Kühler dienen, indem sie die Wärme von den Polgefäßen aufnehmen und ausstrahlen. Als Folge der

Fig. 111



Fig. 112



hohen Temperatur, die in dem Rohr herrscht, ergibt sich, daß der Dampfdruck des Quecksilbers hoch ist. Bei diesem hohen Druck kann nun aber für gleiche Spannung das Rohr viel kürzer genommen werden als sonst, wodurch die Lampe eben ihre bequeme Form erhält. Der Lichtbogen schnürt sich dabei auf einen Faden im Innern des Rohres zusammen. Die Lampe wird durch Kippen entzündet. Durch einen regulierbaren Vorschaltwiderstand kann die Stromstärke in der Lampe geändert werden.

Andererseits aber erlaubt die Quarzlampe noch folgende Anwendung. Die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts werden von der Atmosphäre stark absorbiert, aber in hochgelegenen Orten, den Höhenkurorten, sind sie noch reichlich vorhanden und üben dort den belebenden Einfluß auf den Organismus des Menschen aus, der als

SECHSTES KAPITEL

Einfluß der Höhensonne schon lange medizinisch erkannt und geschätzt wurde. Da nun eine Quarzlampe auch große Mengen von ultravioletten Strahlen aussendet, so kann sie in dieser Beziehung die Wirkung der Höhenkurorte ersetzen. In der Medizin wird sie deswegen unter der Bezeichnung „*künstliche Höhensonne*“ bereits vielfach benutzt. Da unter dem Einfluß der ultravioletten Strahlen der Sauerstoff der Luft zum Teil in Ozon umgewandelt wird, so hat man bei der künstlichen Höhensonne ebenso wie bei der natürlichen auch zugleich den Heilfaktor des Ozons. Für die Belebung und Erfrischung des Organismus, ferner zur Steigerung des Stoffwechsels und zur Herabsetzung des Blutdrucks hat sich die künstliche Höhensonne vielfach bewährt.

Der Quecksilberlichtbogen hat noch eine ganz andere, wichtige Anwendung erfahren. Die großen elektrischen Kraftwerke liefern ausschließlich Wechselströme und Drehströme, und zwar wegen der außerordentlichen Billigkeit der Fortleitung von hochgespannten Wechselströmen und wegen der bequemen und einfachen Möglichkeit, Wechselströme von hoher Spannung in solche von niederer Spannung zu transformieren. Aber für manche Zwecke ist der Gleichstrom doch unentbehrlich, nämlich für alle elektrochemischen Zwecke und speziell für das Laden von Akkumulatoren; für andere Zwecke ist der Gleichstrom zwar nicht unentbehrlich, aber doch in mancher Beziehung dem Wechselstrom überlegen, z. B. für Trambahnen. In solchen Fällen entsteht die wichtige Aufgabe, Wechselströme in Gleichströme umzuformen oder, wie man sagt, Wechselströme *gleichzurichten*. Es sind eine Reihe von Methoden erfunden worden, durch welche eine solche Gleichrichtung erzielt werden kann. Eine Anwendung im großen aber hat bisher nur die eine Methode gefunden, welche gerade den Quecksilberlichtbogen benutzt. Der *Quecksilberdampfgleichrichter* arbeitet nämlich ohne bewegliche Teile, also ohne Wartung, und ist sowohl für kleine wie für große Leistungen ausgeführt. Er beruht auf einer Eigenschaft des Quecksilberbogenlichts im Vakuum. Während nämlich ein Lichtbogen zwischen Kohlen auch mit Wechselstrom betrieben werden kann, ist das bei einem Lichtbogen, der Metallelektroden besitzt, nicht der Fall, und zwar wegen der größeren Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle. Zum Bestehen des Lichtbogens ist nämlich notwendig, daß die Kathode desselben (der negative Pol) eine sehr hohe Temperatur (Weißglut) besitzt, weil aus solchen glühenden Körpern die negativen Elektronen leicht austreten können. Die Weißglut wird beim Zünden eines Lichtbogens dadurch hervorgebracht, daß positive Teile auf die Kathode stürzen und sie erhitzen. Wird aber der Lichtbogen mit Wechselstrom betrieben, so erkaltet die Kathode, während der Strom die entgegengesetzte Richtung hat, und zwar ist diese Erkaltung bei einer Metallelektrode so groß, daß der Strom dann nicht mehr ohne neue Zündung einsetzen kann, während bei den weniger gut leitenden Kohlelektroden die Erkaltung in der Zwischenzeit nicht so intensiv ist, daß der Lichtbogen sich nicht von selbst wieder entzünden könnte. Dies wird nun beim Quecksilberlichtbogen in sehr sinnreicher Weise

DIE WÄRME- UND LICHTWIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

zur Gleichrichtung von Wechselströmen ausgenutzt. **Fig. 113** zeigt einen solchen *Gleichrichterkolben*. Er ist eine luftleere Glasbirne, welche zwei umgebogene Glasansätze *a a* besitzt. In diesen befindet sich je eine Graphitelektrode, während unten im Kolben eine große Quecksilberelektrode zu sehen ist und daneben noch eine kleine Quecksilberelektrode, die nur zur ersten Zündung der Dampflampe dient. Um einen Wechselstrom gleichzurichten und durch ihn etwa eine Akkumulatorenbatterie zu laden, wird eine Schaltung benutzt, die aus **Fig. 114**

Fig. 113

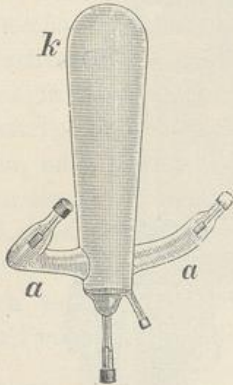
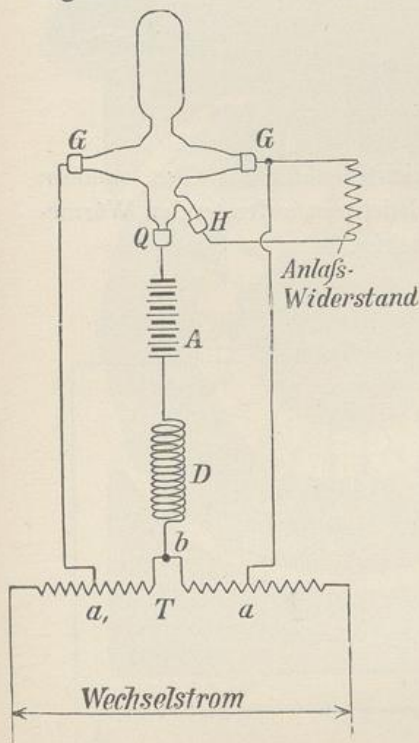


Fig. 114



zu ersehen ist. Der Wechselstrom geht durch einen Transformator *T*, der aber nicht notwendig die Spannung zu erhöhen braucht, sondern nur der Schaltung wegen angebracht ist, und wird von dessen Enden *a a* zu den beiden Graphitelektroden *G G* geführt. Von der Mitte des Transformators aus führt die Leitung über eine Drosselspule *D* zur großen Quecksilberelektrode *Q* des Gleichrichters, und in diese Leitung werden die Akkumulatoren *A* so eingeschaltet, daß an *Q* der positive Pol derselben gelegt ist. Durch einen Anlaßwiderstand wird bei der ersten Einschaltung *H* mit *G* verbunden und durch Kippen des Gefäßes der Lichtbogen zwischen *H* und *Q* erzeugt. Ist so einmal *Q* auf die hohe Temperatur gebracht worden, so behält es diese nun dauernd bei, da nun, infolge des Wechselstroms, immer abwechselnd die eine der beiden Graphitelektroden *G G* positiv wird und den Strom durch die Lampe sendet. Immer bleibt *Q* negative Elektrode, und trotzdem in *a T a* ein Wechselstrom herrscht, fließt in *b D A Q* stets ein gleichgerichteter Strom von *Q* nach *b*. Die Quecksilberdampfgleichrichter werden von verschiedenen Fabriken (Siemens-Schuckertwerke, AEG., Gleichrichter-Ges. usw.) in vollständiger Ausrüstung, mit allen Schaltern, Meßapparaten, Sicherungen, Anschlußdosen usw. hergestellt, und zwar sind die kleinen Anlagen, bis etwa 10 Ampere und 250 Volt Gleichstrom direkt tragbare Apparate, die man an verschiedenen Orten aufstellen kann. So zeigt **Fig. 115** eine solche Kleingleichrichteranlage der SSW. von der Rückseite. Man sieht in der Figur den

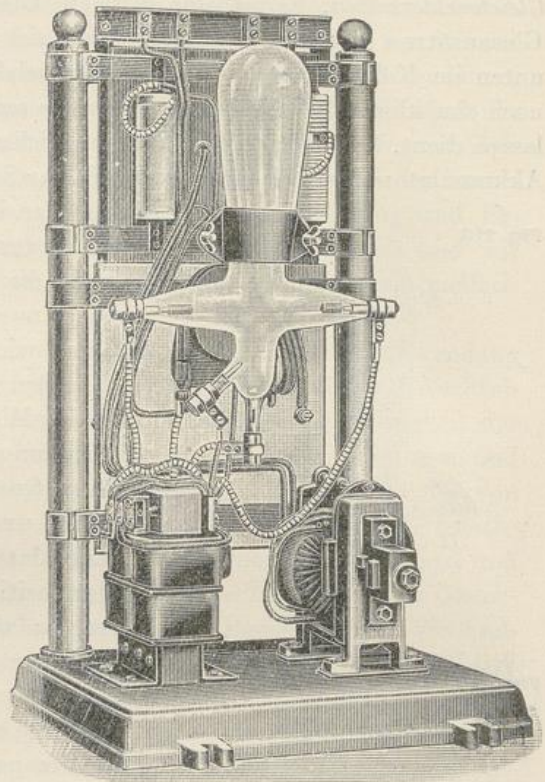
SECHSTES KAPITEL

Gleichrichterkolben und unten den Transformator sowie die Drosselspule. Auf der Vorderseite sind Sicherungen und Steckdosen und ein Schieberwiderstand zur Regelung des Gleichstromes angebracht. Die Glaskolben können für Ströme bis zu 100 Ampere benutzt werden, ja die AEG. hat Glaskolben mit Strömen bis zu 250 Ampere belastet.

Eine zweckmäßige Modifikation dieser Gleichrichter sind die *Argonalgleichrichter* der DeutschenTelephon-und Kabelwerke in Berlin. Bei diesen ist der Dampfraum mit Argon gefüllt, und das Quecksilber enthält einen kleinen Zusatz eines Alkalimetalles. Dadurch wird bewirkt, daß der Gleichrichter leicht zündet, sogar ohne Kippen. Diese Gleichrichter sind besonders für kleine Spannungen, bis 100 Volt, geeignet.

Für sehr große Leistungen werden die Gleichrichter nicht aus Glas, sondern aus Metall hergestellt. Die großen, in den Gleichrichtern auftretenden Wärmemengen werden dann durch Wasserkühlung beseitigt.

Fig. 115

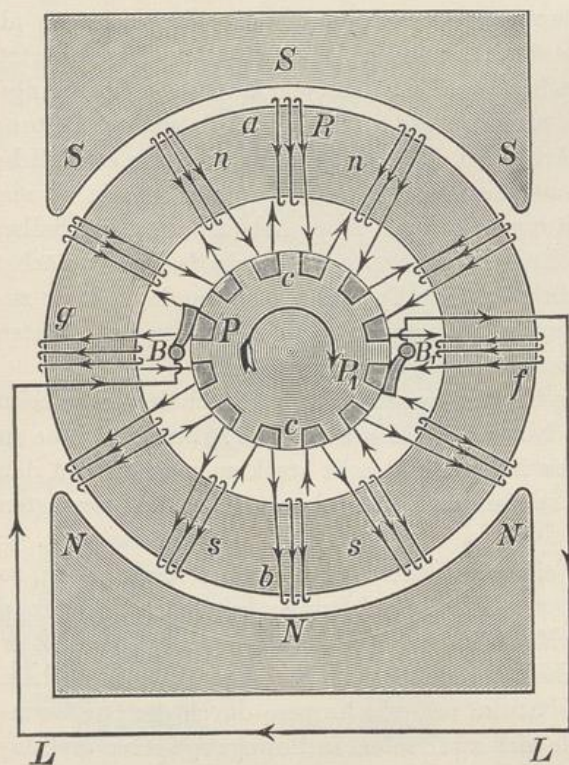


DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Die Dynamomaschinen verwandeln direkt mechanische Arbeit in elektrische Energie. Aber sie können noch mehr leisten. *Sie können auch umgekehrt elektrische Energie in mechanische Arbeit verwandeln.*

Betrachten wir, um das einzusehen, nochmals das Schema einer solchen Maschine in **Fig. 116**. Wenn man den Anker derselben durch Aufwendung von Arbeit vor den Magnetpolen dreht, und zwar, wie die Pfeile in der Mitte angeben, nach rechts herum, so erzeugt man in ihm Induktionsströme, welche die in der Figur angegebene Richtung haben, und von der Bürste B_1 fließt durch die Leitung L ein Strom nach B . Dies ist die ursprüngliche und im 4. Kapitel ausführlich besprochene Verwendung der Maschinen. Wenn man aber anderseits durch die Drahtwindungen des Ankers irgend einen elektrischen Strom von einer Elektrizitätsquelle, z. B. einem Element, in derselben Richtung schickt,

Fig. 116



GRAETZ FÜR ALLE 8

so daß der positive Pol desselben mit B , der negative mit B_1 verbunden ist, so verlaufen die Ströme in den Drahtwindungen in derselben Richtung wie vorher. Da aber die Magnete auf diesen Strom Kräfte ausüben, so müssen sich unter dem Einfluß dieser Kräfte die Stromleiter, d. h. es muß sich der Anker bewegen, und zwar nach der *Linken-Hand-Regel*. Wir haben also z. B. in der oberen Hälfte der Figur den Zeigefinger der linken Hand nach oben zu halten, den Mittelfinger von hinten nach vorn, dann gibt der Daumen, der nach links zeigt, die Richtung der Drehung des Ankers, die also in diesem Fall die umgekehrte ist wie bei der Benutzung der Maschine als

SIEBENTES KAPITEL

Stromerzeuger. Durch diese elektromagnetischen Kräfte kann die Maschine Arbeit leisten. Woher man den Strom nimmt, den man in die Maschine einleitet, ist ganz gleichgültig. Man kann ihn aus galvanischen Elementen oder man kann ihn aus einer anderen Dynamomaschine nehmen, oder man kann ihn endlich da, wo eine Stromlieferung von Zentralstationen besteht, direkt aus der Leitung entnehmen. Das wesentlich Arbeitleistende ist also der elektrische Strom, und das Mittel, durch welches seine Energie in mechanische Arbeit verwandelt wird, ist die Dynamomaschine, die man deshalb auch, wenn sie in dieser Weise verwendet wird, als *elektrischen Motor* oder *Elektromotor* bezeichnet.

Die elektrischen Motoren, welche durch Gleichströme getrieben werden, sind also nichts anderes als Dynamomaschinen, und sie werden entweder als *Hauptstrommotoren* oder als *Nebenschlußmotoren* ausgeführt. Diese beiden Arten unterscheiden sich ganz ebenso in der Schaltung wie die Hauptstromdynamos und Nebenschlußdynamos, die wir auf S. 65 besprochen haben. Während wir aber eben gesehen haben, daß bei einer Dynamomaschine, deren magnetisches Feld in beiden Fällen dieselbe Richtung hat (ein Fall, der bei der Nebenschlußmaschine vorliegt), der Motor in umgekehrter Richtung läuft (gegen die Bürsten) wie der Generator (mit den Bürsten), ist das bei Hauptstrommaschinen nicht der Fall. Denn bei diesen wird auch das magnetische Feld umgekehrt, wenn ein Strom in die Maschine bei B eingeführt und bei B_1 abgeführt wird, und infolgedessen hat eine Hauptstrommaschine dieselbe Drehrichtung als Motor wie als Generator. Hauptsächlich werden Nebenschlußmotoren benutzt. Ein Nebenschlußmotor, der zwischen zwei Leitungen von konstanter Spannungsdifferenz gelegt geschaltet wird, nimmt umso stärkere Ströme aus der Leitung auf, je größer die zu leistende Arbeit ist. Daraus folgt zunächst die erfreuliche Tatsache, daß der Motor, bis auf die Leerlaufarbeit, immer gerade so viel Energie von außen, aus der Leitung aufnimmt, als er Arbeit leistet. Bei halber Arbeit nimmt er bloß die halbe Energie auf, wenn die Leerlaufarbeit zunächst unberücksichtigt bleibt. Erfreulich ist diese Tatsache, weil die dem Motor zugeführte und von ihm aufgenommene Energie sich ja zuletzt in den Kosten ausdrückt, welche zu ihrer Erzeugung aufgewendet werden.

Damit nun der Motor recht große Kraft, namentlich beim Einschalten, also beim *Anlauf*, entwickle, auch wenn er belastet ist, also wenn eine Arbeitsmaschine an ihm hängt, ist es notwendig, sein Magnetfeld recht stark zu machen und den Widerstand des Ankers möglichst klein zu halten, damit die in ihm erzeugten Ströme recht stark werden.

Wenn aber die Elektromotoren einen sehr kleinen Ankerwiderstand haben, so treten bei dem Anschluß derselben an die Stromleitungen zunächst Übelstände auf. Nehmen wir an, ein solcher Motor habe den Widerstand von 1 Ohm und er werde zwischen zwei Leiter geschaltet, die 100 Volt Spannungsdifferenz haben, so würde im ersten Moment ein Strom von 100 Ampere durch die Drahtwindungen fließen. Der Anker würde sich zwar sofort in Bewegung setzen und da-

DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

durch einen Gegenstrom erzeugen, der die 100 Ampere bald auf 50, 20 usw. Ampere hinunterbringen würde, aber es würde gewöhnlich gar nicht dazu kommen; denn durch den ersten momentanen starken Strom würden die Drähte des Ankers und ihre Isolierung beschädigt werden, oder mindestens würde die Sicherung (oben S. 102) durchschmelzen. Und ferner würde durch die plötzliche starke Stromentnahme aus dem Netz dieses in Störung geraten, die Spannung würde plötzlich sinken. Diese Umstände verlangen, daß die Elektromotoren, und namentlich die größeren, nicht auf einmal, sondern *allmählich* in den Stromkreis eingeschaltet werden. Dazu braucht es zunächst weiter nichts als einen Vorschaltwiderstand, der vor die Drähte des *Ankers* (aber nicht der Magnetwicklung) eingeschaltet wird, so daß der Strom erst durch einen großen Widerstand geht und dadurch schwach wird; wenn der Anker sich dann dreht und Gegenstrom erzeugt, dann wird dieser Vorschaltwiderstand allmählich verringert und schließlich kurzgeschlossen, so daß der Motor allein im Stromkreis ist. Ein solcher *Anlasser* ist z. B. durch **Fig. 117** dargestellt. Durch Drehen der unten sichtbaren Kurbel nach rechts werden die Widerstände, die in dem durchbrochenen Kasten enthalten sind, allmählich ausgeschaltet. Dabei werden bei größeren Motoren zuerst die Magnete eingeschaltet und dann allmählich der Anker.

Die kleineren Motoren, von $\frac{1}{100}$ bis zu 2 Pferdekraften Leistung, werden von den großen elektrischen Gesellschaften in sehr erheblichen Mengen hergestellt,

wodurch ihr Preis auch sehr gering ist. Die äußere Form dieser *Kleinmotoren* ist bei allen Fabriken dieselbe geworden. **Fig. 118** zeigt zwei solche Kleinmotoren für $\frac{1}{100}$ und $\frac{1}{6}$ Pferdekraft. Sie enthalten im Gehäuse, wie jede Dynamomaschine, die Feldmagnete, den Anker mit dem Kollektor und die auf diesen schleifenden Bürsten.

Während jede Gleichstrommaschine auch umgekehrt als Motor benutzt werden kann, ist das bei Wechselstrommaschinen nicht der Fall. Es mußten verschiedene technische Erfindungen gemacht werden, bis es gelang, für reinen (einphasigen) Wechselstrom auch gute Motoren zu konstruieren. Dagegen hat sich gezeigt, daß man für *Drehströme* (oben S. 75) Elektromotoren konstruieren kann, die ganz besonders einfach und

Fig. 117

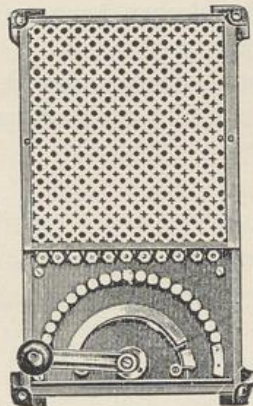
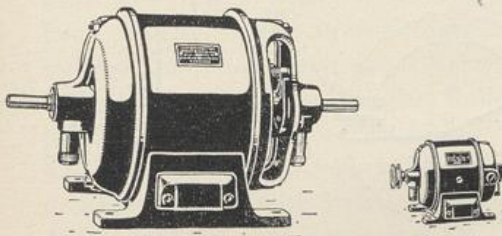


Fig. 118



SIEBENTES KAPITEL

leistungsfähig sind. Derartige Motoren bezeichnet man als *Drehstrommotoren*.

Das Prinzip, auf dem die Motoren für Drehstrom beruhen, ist an sich sehr interessant. Es wird bei ihnen gerade der Phasenunterschied zweier oder mehrerer Wechselströme ausgenutzt.

Wenn man nämlich zwei oder drei Wechselströme verschiedener Phase, die also zu verschiedenen Zeiten den größten Wert der Stromstärke erreichen und zu verschiedenen Zeiten die Stromrichtung ändern, wenn man zwei oder mehr solche Wechselströme in passender Anordnung um einen feststehenden Ring aus weichem Eisen herumsendet, so bildet sich in diesem Eisenring und in seiner Umgebung ein rotierendes magnetisches Feld, ein sogenanntes *magnetisches Drehfeld*, aus. In **Fig. 119** ist ein feststehender Ring aus weichem Eisen an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen a und a' von dem einen, und an zwei um 90° von den ersten abstehenden Stellen b und b' von dem zweiten Wechselstrom in einigen Windungen umflossen. Vermöge des Phasenunterschiedes der beiden Wechselströme hat der eine in demselben Moment die größte Stärke, in dem der andere gerade die Stärke Null hat. In der Figur ist die verschiedene Stromstärke in den Umwindungen durch verschieden dicke Linien angedeutet. Man sieht in der ersten Figur den starken Strom bei $a a'$, den Strom Null bei $b b'$. Der Eisenring wird nun durch den Strom in $a a'$ magnetisiert, und zwar so, daß der Nordpol und Südpol an den Stellen N und S liegen, wie man sich durch die Ampèresche Schwimmerregel überzeugt. Eine Magnetnadel, die im Innern des Ringes sich auf einer Spitze drehen kann, wird also eine Lage annehmen, wie sie durch den großen Pfeil gezeichnet ist.

Wenn nun die Wechselströme fließen, dann erreichen abwechselnd, aber nicht gleichzeitig die Ströme um $a a'$ und die um $b b'$ ein Maximum, werden dann

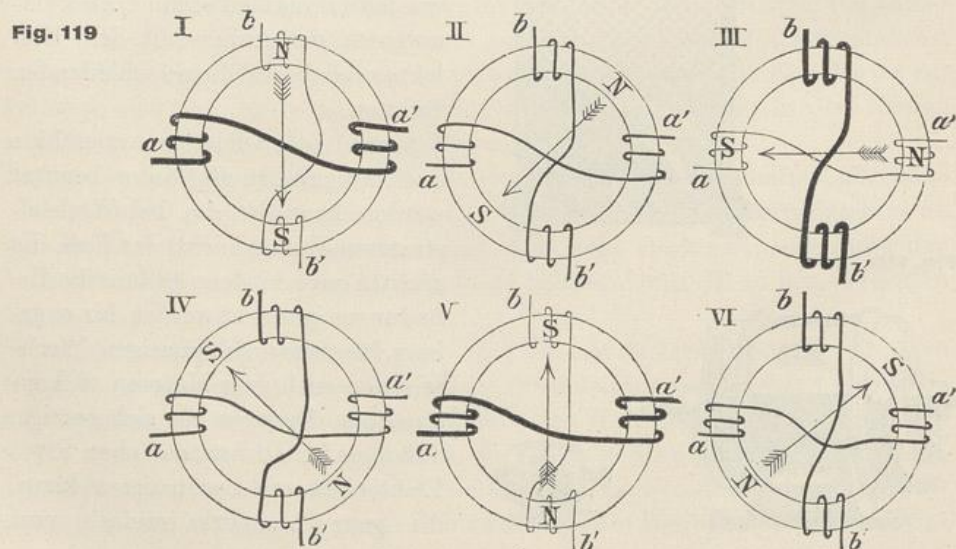
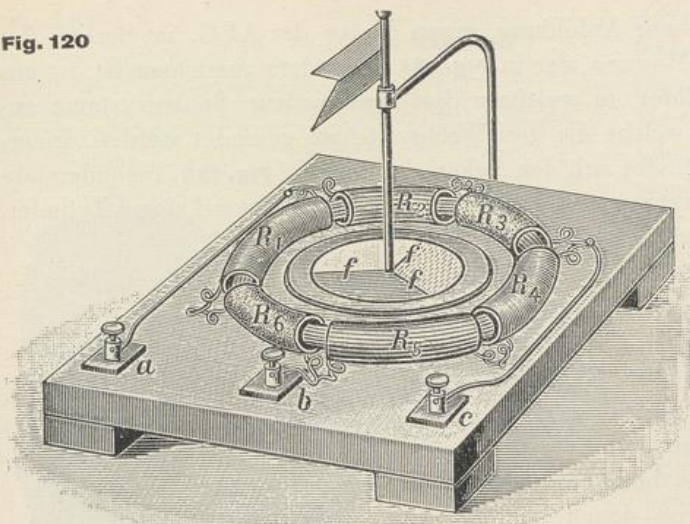


Fig. 120



zu Null, bekommen dann wieder einen maximalen, aber negativen Wert usw. Dadurch aber verschieben sich auch die Pole des Ringes. Man erkennt das aus der Figur. In I ist der Strom $a a'$ stark, der Strom $b b'$ schwach, die Magnetnadel nimmt die gezeichnete Lage ein. In Fig. II sind die Ströme in $a a'$ und in $b b'$ gleich stark, dann befinden sich die Pole des Eisenringes bei N und S, und die Magnetnadel bekommt die schiefe Lage. In der folgenden Figur ist der Strom $b b'$ im Maximum, der Strom $a a'$ gleich Null, die Pole im Ringe haben sich also weiter gedreht nach N S, und die Magnetnadel ist ihnen gefolgt. Und so geht das weiter. Man sieht als Resultat, daß, wenn die beiden Wechselströme von verschiedener Phase durch die festen Windungen um den festen Ring geleitet werden, daß dann die Magnetnadel im Innern in fortlaufende Drehung kommen muß, daß sie sich so lange drehen muß, als die Ströme fließen. Statt der Magnetnadel können wir auch einen Ringanker oder Trommelanker, der mit einer Reihe von Drahtwindungen versehen ist, die in sich geschlossen sind, hineinbringen, und auch dieser dreht sich. Denn es werden in den Drähten durch Induktion ja auch Ströme erzeugt, und diese Ströme, resp. ihre Träger, werden von dem wandernden Pole angezogen.

Statt zwei verschiedene Wechselströme so um den Eisenring herumzusenden, kann man auch drei in verschiedener Phase befindliche Wechselströme anwenden, und diese bieten sogar Vorteile vor den zwei Wechselströmen. Fig. 120 zeigt einen solchen Ring, mit drei Rollenpaaren R_1 bis R_6 umwunden, von denen je zwei passend miteinander verbunden sind und durch welche Drehströme fließen können. Die mit einer Fahne versehene Metallscheibe $f f f$, die im Innern drehbar aufgesetzt ist, kommt dabei in rasche Rotation.

Auf diesem Prinzip beruhen nun die *Drehstrommotoren*. Von solchen *Drehstrom-*

SIEBENTES KAPITEL

motoren zeigt **Fig. 121** eine Abbildung, einen Motor der AEG. in Berlin. Der äußere Mantel dieser Motoren, der in **Fig. 122** besonders gezeichnet ist, ist aus einem Eisenring gebildet, in welchem drei verschiedene Spulensysteme angebracht sind, durch welche die drei Wechselströme gesendet werden. Innerhalb dieses Ringes befindet sich der Anker, den man in **Fig. 123** besonders abgebildet sieht. Er besitzt nur eine Reihe von Kupferstreifen auf einem Zylinder, die außen durch metallische Ringe verbunden sind. Zuvörderst erkennt man eine Besonderheit bei diesen Motoren. Der bewegliche Teil, der Anker, braucht gar keinen Kollektor, keine Schleifringe, keine Bürsten, wie bei den Gleichstrommotoren, sondern die Ströme im beweglichen Teil werden direkt von denen im festen Teil induziert. Das ist ein großer Vorzug in bezug auf die Haltbarkeit der Motoren. Denn der Kollektor mit den Bürsten ist der empfindlichste Teil bei allen Gleichstrommotoren. Diese Drehstrommotoren werden, weil die Ströme im Anker durch Induktion erregt werden, auch *Induktionsmotoren* genannt. Sie sind, wie aus dem Gesagten hervorgeht, die einfachsten Motoren, die man sich denken kann, einfacher selbst als die Gleichstrommotoren. Um einen solchen Motor einzuschalten, läßt man, wie **Fig. 124** zeigt, die drei Leitungen, welche aus dem Drehstromnetz (gewöhnlich von dem Drehstromtransformator) kommen, zuerst durch einen Schalthebel gehen, durch den man die Ströme in die festen Wickelungen des Motors einschaltet. In vielen Fällen, namentlich bei größeren Drehstrommotoren, hat es sich übrigens doch als vorteilhaft erwiesen, dem Anker den Strom durch Schleifringe zuzuführen.

Die Anwendbarkeit aller elektrischen Motoren ist nun natürlich eine sehr

Fig. 121



Fig. 122

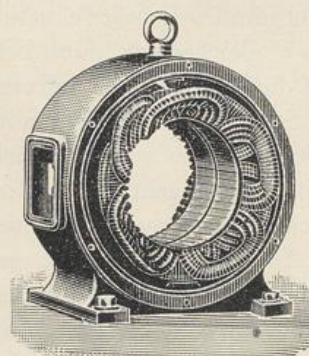
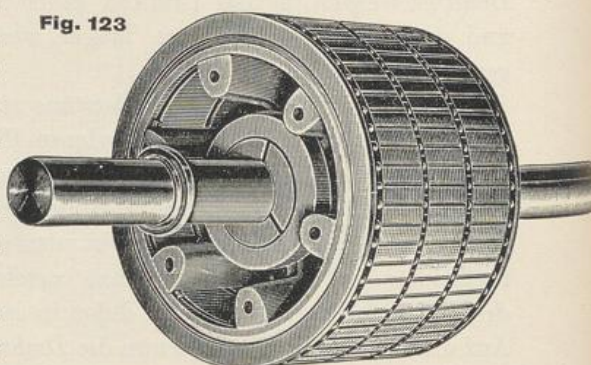


Fig. 123



DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fig. 124

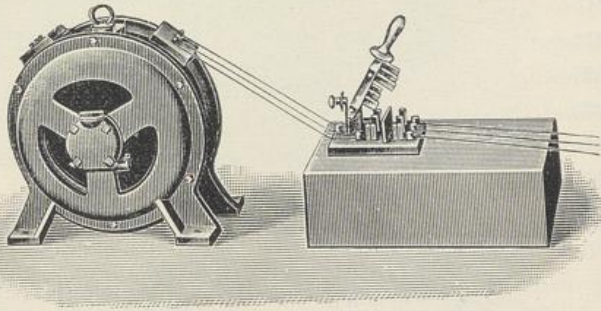
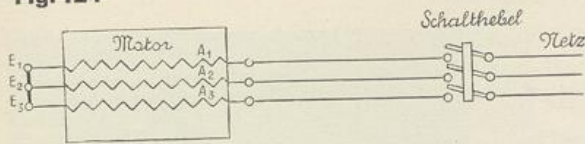


Fig. 125

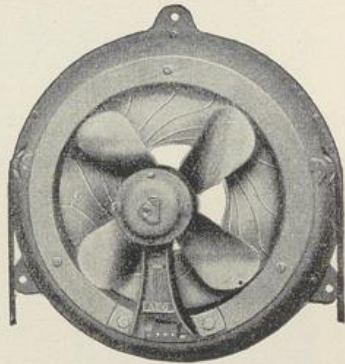
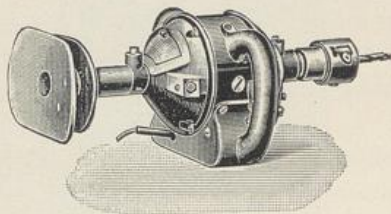


Fig. 126



ausgedehnte. Sie sind für fast alle Zwecke vorzüglich brauchbar, in denen man Maschinenkraft zum Drehen von Arbeitsmaschinen aufwendet. Die Elektromotoren, namentlich die kleineren, haben im allgemeinen ziemlich große Umdrehungsgeschwindigkeiten. Um nun den Elektromotor mit den Arbeitsmaschinen zu verbinden, hat man vielfache bekannte Mittel. Brauchen die Arbeitsmaschinen selbst große Geschwindigkeiten, so ist es am einfachsten, den Motor direkt auf die Achse der Arbeitsmaschinen oder umgekehrt zu setzen und diese dadurch zu treiben. So werden elektrische Ventilatoren bequem so konstruiert, daß, wie **Fig. 125** bei einem Wandringventilator zeigt, die Ventilatorflügel direkt auf die Achse des Motors aufgesetzt werden. Mit 60 Watt, also kaum $\frac{1}{10}$ Pferdekraft, lassen sich schon Ventilatoren betreiben, die pro Stunde bis 1800 cbm Luft befördern. Ebenso wird bei Zentrifugen der Elektromotor am bequemsten direkt auf die Achse gesetzt. Auch bei Bohrmaschinen und Poliermaschinen bringt man den Bohrer oder Polierstahl direkt an der Achse des Elektromotors an. **Fig. 126** zeigt eine Handbohrmaschine, die so eingerichtet ist, daß vor dem Brustschild die Leitungsschnur aufgewickelt werden kann, während unter dem einen Handgriff ein Druckschalter zum Ein- und Ausschalten des Motors sich befindet.

Die bequemen Eigenschaften der Elektromotoren haben ihnen, da jetzt fast

SIEBENTES KAPITEL

in jedem Dorf Anschluß an ein Leitungsnetz vorhanden ist, auch das Herrschaftsgebiet der Hausfrauen erschlossen.

Eine bei den Hausfrauen und in großen Betrieben sehr beliebte Anwendung des Elektromotors ist in den *Staubsaugeapparaten* gemacht worden, in welchen durch den Motor mit Ventilatorflügel die Luft kräftig angesaugt wird, so daß auch der Staub aus Teppichen, Vorhängen usw.

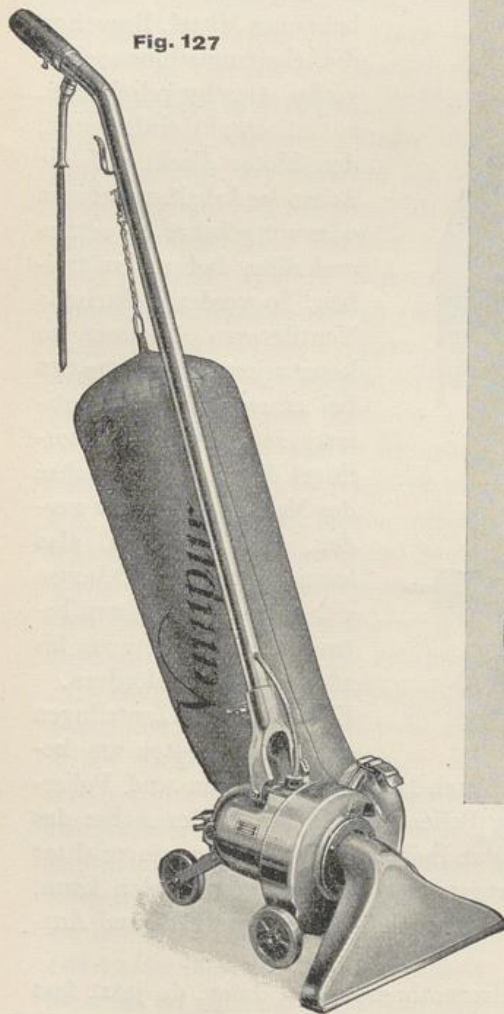


Fig. 127

Fig. 128

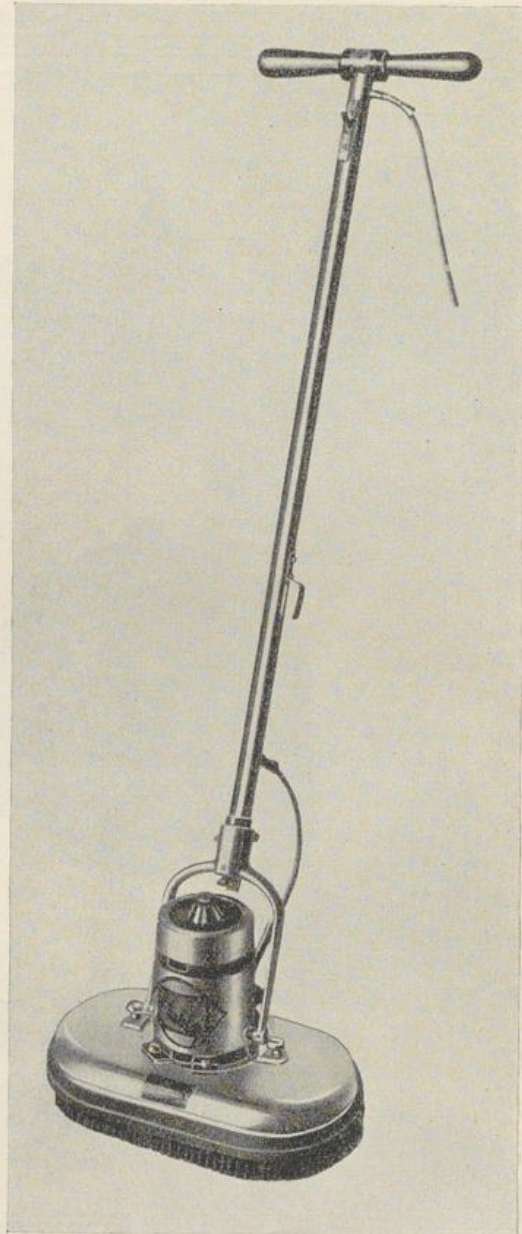


Fig. 129

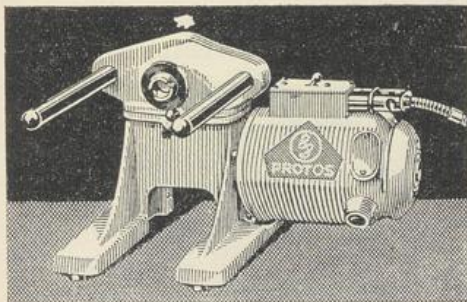
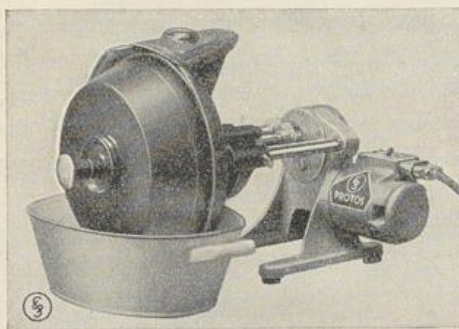


Fig. 130



mit abgesaugt wird. Derartige Apparate sind der *Protos-Staubsauger* der SSW. und der *Vampyr* der AEG., von welchem letzteren **Fig. 127** eine Abbildung gibt. Der abgesaugte Staub kommt in den in der Figur sichtbaren Sack und wird aus diesem von Zeit zu Zeit entleert.

Ebenso werden auch elektrische *Bohnerapparate* für die Hausfrauen allmählich beliebter, wie **Fig. 128** einen zeigt. In diesen werden drei Bürsten, eine zur Reinigung, eine zum Einwachsen und eine zum Blankwachsen, eingesetzt, welche durch den Motor ihre rotierende Bewegung erhalten.

Für eine große Reihe von Arbeiten in der Küche ist von den elektrischen Firmen ein *Küchenmotor* hergestellt worden, der gegen jede unartige und unsachgemäße Bedienung geschützt ist. **Fig. 129** zeigt einen solchen Motor der SSW. Die Vor-

derseite des Motors zeigt zwei Haltestangen, auf die die verschiedenen Küchenmaschinen aufgesteckt werden. Als solche sind z. B. passend eingerichtet: Fleisch- und Gemüsehacker, Messerputzer, Kartoffelschälmaschinen, Aufschnittschneider, Wäschemange, Kaffeemühlen, Brotschneider usw. **Fig. 130** zeigt z. B. den Küchenmotor mit aufgesteckter Kartoffelschälmaschine.

Große Motoren werden zum Teil durch Riemen, zum Teil durch Zahnräder mit der Arbeitsmaschine gekuppelt. Sie haben natürlich die vielseitigste Verwendung in Fabrikräumen zum Antrieb von Maschinen aller Art und zur Bewegung von Kranen und Aufzügen.

Sehr vorteilhaft sind die Elektromotoren in großen *Fabriken*, bei denen sie die großen, umständlichen und viel Effekt konsumierenden *Haupttransmissionen* beseitigt haben. Statt von der Dampfmaschine die Bewegung durch Riemen auf große Wellen zu übertragen und von diesen wieder auf zweite, ja sogar auf dritte Wellen, bringt man vorteilhaft an jeder Arbeitsmaschine einen Elektromotor an, zu dem die Kraft durch bequem zu legende Drähte geleitet wird, statt durch die unbequemen und kraftverzehrenden Riementransmissionen. Ja, die großen Fabriken haben es oft praktischer und ökonomischer gefunden, statt eigene Dampfmaschinen aufzustellen, die Energie sich auf Leitungen von den großen Kraftwerken zuführen zu lassen und sie durch Elektromotoren in Arbeit zu verwandeln.

SIEBENTES KAPITEL

Dabei haben es die großen Elektrizitätsfirmen verstanden, die Motoren mit allen Nebeneinrichtungen derart zu versehen, daß sie für die betreffenden Arbeitsmaschinen gerade geeignet sind. Ein Motor für einen Webstuhl muß eine andere Einrichtung des Zubehörs haben als ein Motor für eine Papiermaschine. Der Motor selbst ist zwar immer derselbe, aber die Art seiner Aufstellung oder Aufhängung, die Einrichtungen zum Stillstellen und Wieder-in-Gang-Setzen sind jedesmal verschieden.

Eine wesentliche und stets steigende Bedeutung hat die elektrische Arbeitsleistung in *Bergwerken* wegen ihrer großen Gefahrlosigkeit und wegen der Leichtigkeit, mit der die Leitung zu den Motoren geführt werden kann, gewonnen. Die Elektromotoren werden dort zum Betrieb von Pumpen, Ventilatoren und Bohrmaschinen und zum Betrieb der Fördermaschinen gebraucht.

Die Vorzüge der Elektromotoren bestehen in ihrer sofortigen Betriebsbereitschaft, in ihrer Gefahrlosigkeit, in dem kleinen Raum, welchen sie einnehmen, und der Billigkeit der Anlage und endlich darin, daß sich ihr Verbrauch direkt nach der Leistung richtet. Denn der Effekt, die Leistung des Elektromotors ist, wenn die Spannung, wie man es gewöhnlich tut, immer unveränderlich gehalten wird, allein abhängig von der Stromstärke, die je nach der Leistung größer oder kleiner wird. Die verbrauchte Stromstärke, die gemessen und nach irgend einem Satz berechnet wird, bedingt die Kosten des Betriebes.

Sehr wertvoll ist es, daß es möglich ist, kleine Motoren, kleine Kräfte unter $\frac{1}{2}$ Pferdestärke, bequem aufzustellen und zu betreiben. Diese Maschinenbetriebskraft in kleinem Umfange ist es gerade, welche dem Kleingewerbe notwendig ist. Aus Mangel an Maschinenbetrieb kommt es in Nachteil gegenüber dem Großgewerbe. Durch Einführung von elektrischen Strömen, die in Großkraftwerken durch große Dynamomaschinen erzeugt und überallhin geleitet werden, werden nun aber dem Kleingewerbe Motoren schon von $\frac{1}{60}$ Pferdekraft

Fig. 131

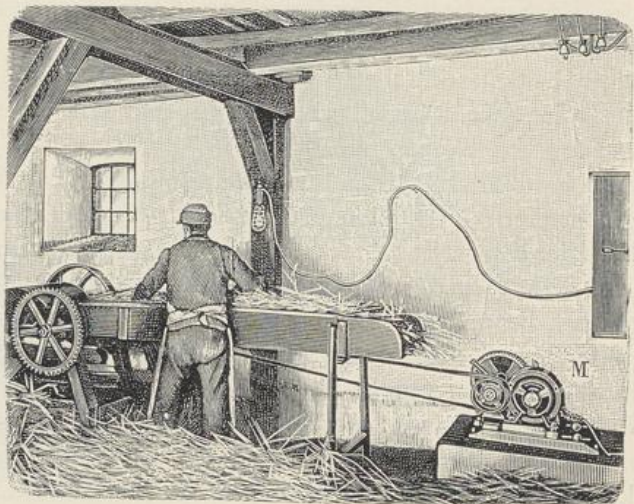


Fig. 132

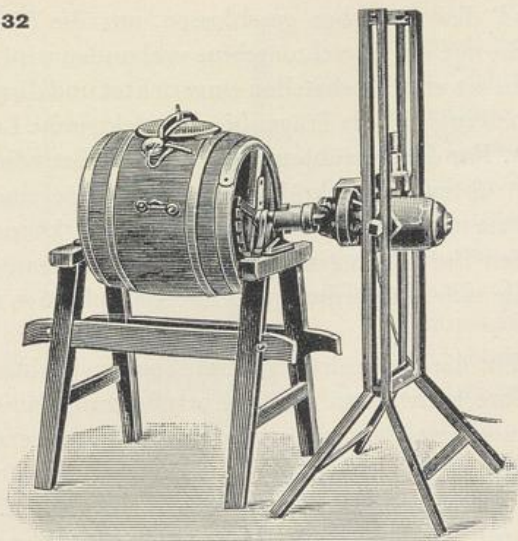
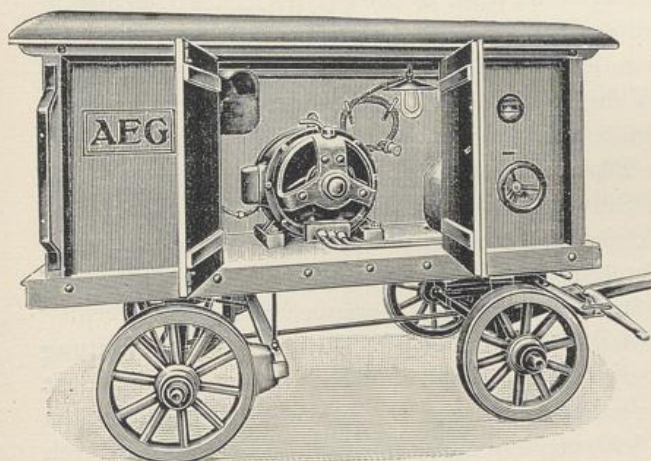


Fig. 133



nutzt. **Fig. 131** zeigt den Antrieb einer Häckselschneidemaschine, **Fig. 132** den Antrieb eines Butterfasses, durch einen kleinen Elektromotor der Siemens-Schuckertwerke, der in dem Gestell in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Für den elektrischen Betrieb von Dreschmaschinen, der bedeutende Vorteile gegenüber dem Betrieb mit Lokomobilen hat und der auch schon bei kleinen Maschinen vorteilhaft ist, hat die AEG. einen besonderen *Dreschmotorwagen* konstruiert, der in **Fig. 133** abgebildet ist. Er enthält in seiner rechten Hälfte den Elektromotor und einen Anlasser, in der linken ein 50 m langes Anschlußkabel. Man sieht in der Figur den Motor und rechts das Handrad für den Anlasser, darüber ist ein Amperemeter angebracht. Der ganze Wagen

geliefert, welche ihre Arbeit zu billigem Preise leisten und deren Verbrauch an Strom in demselben Verhältnis steht wie die geleistete Arbeit.

Die Drehstrommotoren haben der Elektrizität auch ein Gebiet erobert, welches an sich die schwierigsten Verhältnisse für maschinellen Betrieb bietet, nämlich die *Landwirtschaft*. Bei den ausgedehnten Flächen, welche hier in Frage kommen, ist nur hochgespannter Drehstrom zur billigen Zuführung des Stromes geeignet. Dieser wird an geeigneten Stellen durch Drehstromtransformatoren in niedriggespannten Drehstrom verwandelt, der nun auf dem Hof die Elektromotoren speist. Die Motoren werden zum Antrieb von Dreschmaschinen, Buttermaschinen, Häckselschneidemaschinen, Schrotmühlen, Pumpen, Rübenschnidern, Kuchenbrechern usw. be-

SIEBENTES KAPITEL

bleibt im allgemeinen während des Betriebes geschlossen, nur die Riemenscheibe des Elektromotors, welche mit der Dreschmaschine verbunden wird, ragt heraus. Die Deichsel des Wagens ist zum Hochstellen eingerichtet und dient als Träger für das Kabel und eventuell zugleich als Träger für eine elektrische Lampe beim Arbeiten in der Dunkelheit. Für die ungeübten und durch die Grundlehren der Elektrizität durchaus ungetrübten Arbeitskräfte auf dem Lande sind die Schaltungen so ausgeführt, daß sie unmöglich falsch bedient werden können. In derselben, für den praktischen Betrieb angemessenen Weise hat man auch *elektrische Pflüge* eingerichtet, die sich aber bisher gegen die Dampfpflüge nicht durchsetzen konnten.

Seitdem die Elektrizität einmal in die Reihe der schwere Arbeit verrichtenden Kräfte eingetreten und durch ihre leichte und rasche Fortpflanzungsfähigkeit imstande war, ihre Arbeit weit von dem Orte zu verrichten, an dem sie erzeugt wurde, seit dieser Zeit lag auch die Möglichkeit vor, die Elektrizität zur Beförderung von Eisenbahnen, Trambahnen, Booten u. dgl. zu verwenden.

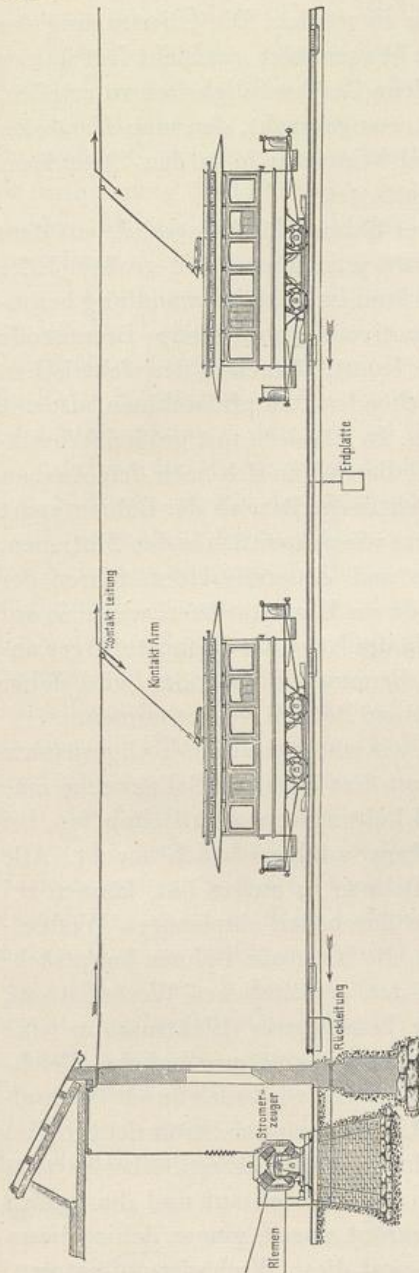
In der Tat wurde schon im Jahre 1879, bald nach der Erfindung der Dynamomaschine, von Siemens & Halske die erste elektrische Bahn gebaut. Das Prinzip derselben ist mit einigen Worten angegeben: Wenn ein elektrischer Strom von außen in einen Elektromotor eingeführt wird, so kommt der Anker derselben in Rotation. Überträgt man nun die Rotation des Ankers etwa durch Zahnräder auf Räder, welche auf Schienen laufen können, und führt man in den Elektromotor irgendwie einen Strom ein, so müssen sich die Räder mit dem Elektromotor und einem fest mit ihnen verbundenen Wagen auf den Schienen fortbewegen, und die elektrische Eisenbahn ist fertig.

Aber hier tritt die besondere Schwierigkeit auf: Wie soll man dem Eisenbahnwagen (dem Motor) den elektrischen Strom zuführen? Bei einer elektrischen Eisenbahn bewegt sich der Motor, und sein Abstand von der Stromquelle ist kein fester, es muß also auch die Leitung für den Strom veränderliche Länge haben.

Der nächste Gedanke ist natürlich der, daß man die Schienen selbst zur Leitung des Stromes benutzt; doch zeigte es sich bald, daß das im allgemeinen nicht angeht. Bei nassem Wetter nämlich und wenn zerfließender Schnee zwischen den Schienen liegt, sind die Schienen leitend verbunden, und es wird dadurch der Strom, der von der Dynamomaschine kommt, stark geschwächt.

Im Laufe der Entwicklung der elektrischen Eisenbahn hat sich hauptsächlich die eine Methode für die Zuleitung des Stromes bewährt, nämlich die Methode der *oberirdischen Zuführung* des Stromes. Diese Methode wurde in Amerika zunächst für die *Straßenbahnen* angewendet und wird jetzt allgemein in der weitaus größten Zahl aller Fälle benutzt. Bei diesem System wird über den Schienen ein besonderer blanker Draht ausgespannt, mit welchem der eine Pol der Stromquelle verbunden ist, während der andere Pol mit einer Schiene verbunden wird. Diesen blanken Draht, *Arbeitsleiter* oder *Fahrdraht* genannt, berührt nun ein mit dem Wagen verbundener Arm mittels einer Rolle oder eines Bügels fortdauernd und leitet dadurch den Strom in den Wagen, also in

Fig. 134



Stößen werden daher zwei Schienen bei elektrischen Bahnen gewöhnlich durch angelötete Kupferbleche metallisch miteinander verbunden.

Die Spannung der Hin- und Rückleitung wird gewöhnlich zu 500 Volt gemacht und wird immer konstant erhalten.

Als Motoren werden für elektrische Trambahnen gewöhnlich Hauptstrom-

den im Wagengestell befindlichen Elektromotor. Von diesem aus geht er dann durch die Schienen wieder zur Stromquelle zurück, womit der Stromkreis geschlossen ist. Laufen auf einer Bahn, wie gewöhnlich, mehrere Wagen zu gleicher Zeit, so sind diese infolgedessen *alle parallel geschaltet*, wie man aus **Fig. 134** erkennt. Links steht die primäre Dynamomaschine; die beiden Hauptleitungen, die von dieser ausgehen, sind: oben der Fahrdrabt, unten die Schienen, und zwischen beiden sind alle Wagenmotoren nebeneinander geschaltet.

Es befindet sich also bei diesem System auf der Decke jedes Wagens ein Arm, gewöhnlich aus Stahlrohr gefertigt, welcher oben eine Kontaktrolle trägt, die an dem blanken Arbeitsleiter rollt und von diesem den Strom abnimmt. Der Arm ist nun mit starken Federn unten versehen, so daß die Rolle immer an den Arbeitsdraht herangedrückt wird, auch wenn dieser zwischen zwei Befestigungspunkten durchhängt, also nicht überall dieselbe Höhe über den Schienen hat, oder wenn er, wie bei Viadukten, besonders niedrig gespannt ist. Der federnde Arm muß immer die Kontaktrolle an den Leiter anpressen. Häufig verwendet man auch statt der Kontaktrolle einen breiten *Gleitbügel*, welcher wegen seiner Breite nicht so leicht von dem Fahrdrabt abspringen kann.

Da die Schienen immer die Rückleitung des Stromes zur Station übernehmen müssen, so muß man dafür sorgen, daß die einzelnen Stücke derselben in gutem Kontakt miteinander stehen. An den

SIEBENTES KAPITEL

motoren gewählt, die ganz eingeschlossen (gekapselt) werden, um durch den Straßenschmutz nicht gebrauchsunfähig zu werden. Die Übertragung der Bewegung von der Achse des Motors auf die Wagenräder geschieht fast immer durch Zahnräder. Um dem Wagen verschiedene Geschwindigkeiten zu erteilen, wird an dem Stand des Führers ein Regulator angebracht, den man *Kontroller* nennt und der durch Drehung einer Kurbel Widerstände in den Stromkreis einzuschalten resp. aus ihm auszuschalten gestattet.

Die Umwandlung der großen Bahnen, also der Bahnen für *Fernverkehr* aus dem Dampfbetrieb in den elektrischen Betrieb wird jetzt überall mit großem Eifer und großen Kosten durchgeführt. In Deutschland ist diese Umwandlung besonders wichtig. Denn während die Dampflokomotive nur hochwertige Brennstoffe mit verhältnismäßig geringer Ausnutzung verfeuert, können in den elektrischen Kraftstationen Brennstoffe aller Art in feststehenden Dampfmaschinen, also mit viel besserer Ausnutzung, verwendet werden. In Ländern mit großen Wasserkraften, wie in Bayern, erspart der elektrische Betrieb an sich nach dem Ausbau der Wasserkraften erheblich an Kohlen. Der elektrische Betrieb der Bahnen spart ferner an Personal, sowohl auf der Lokomotive wie namentlich in den Stationen, und er erspart insbesondere das kostspielige und dauernde Herumfahren der Kohlen für den inneren Bahnverkehr selbst, da die Kraftstationen, wenn sie auf Kohlenverbrennung basiert sind, möglichst in der Nähe der Brennstofflager angelegt werden können. Aus diesen und manchen anderen Gründen wird daher die Umwandlung vieler Bahnen in elektrischen Betrieb vorgenommen.

Für große Entfernungen eignet sich nun, wie wir wissen, nur der hochgespannte Wechselstrom und Drehstrom. Der Drehstrom hat aber für Bahnzwecke eine große Reihe von Nachteilen. Er braucht drei Leitungen, was in Bahnhöfen, bei Schienenkreuzungen und Weichen die Anlage unübersichtlich macht. Alle Wünsche, die der Fernverkehr auf großen Bahnen zu stellen hat, können bei dem heutigen Stand der Technik am besten durch den einphasigen Wechselstrom erfüllt werden, dieser ist die Stromart, die für große Bahnen hauptsächlich in Betracht kommt. Nun hat sich für den gewöhnlichen Wechselstrom, den sogenannten *Einphasenstrom*, als sehr brauchbarer Elektromotor eine Maschine ergeben, die im Prinzip so gebaut ist wie eine gewöhnliche Gleichstrommaschine mit Hauptstromschaltung. Eine solche wird auch durch Wechselströme als Motor angetrieben, weil mit der Umkehrung der Stromrichtung im Anker sich zugleich auch die Pole der Feldmagnete umkehren. Aber es tritt dabei eine äußerst starke Funkenbildung an den Bürsten auf und die großen Anstrengungen, die schließlich von Erfolg gekrönt waren, gingen dahin, dieses Feuern der Maschinen zu beseitigen. Jetzt sind diese Wechselstrommotoren, die man als *Kollektormotoren* bezeichnet, zu großer Vollkommenheit gebracht worden, und es werden nun bereits eine große Anzahl Bahnen in Deutschland, der Schweiz, Österreich, in Frankreich, England, Amerika usw. mit reinem Wechselstrom und solchen Einphasenmotoren betrieben. Während man bei den ersten derartigen Bahnen sich noch mit einer Spannung von 2500 Volt auf dem

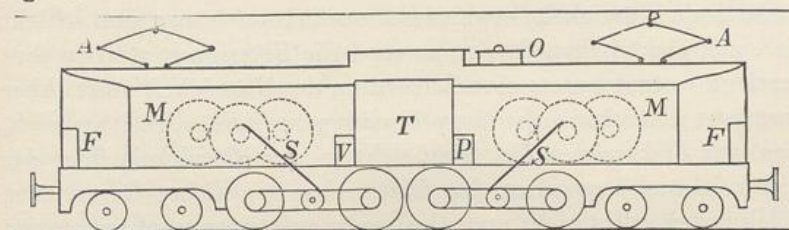
DIE LEISTUNG VON ARBEIT DURCH ELEKTROMOTOREN

Fahrdrabt begnügte, wurden bald Strecken auf den preußischen Staatsbahnen schon mit 6000 Volt betrieben, und jetzt werden die meisten derartigen Bahnen mit Spannungen von ungefähr 15 000 Volt betrieben. Auf der schwedischen Kiruna-Riksgränzen-Bahn von 260 km Länge, die mit Einphasenmotoren befahren wird, ist sogar eine Spannung von 80 000 Volt auf den Leitungen. Wegen der großen Geschwindigkeiten, die bei Fernbahnen erzielt werden müssen, muß die Aufhängung der Fahrdrähte eine solche sein, daß diese überall nahezu genau gleichen Abstand von dem Wagen haben. Die Fahrdrähte werden daher von besonderen Kettenleitungen getragen, und die Abnehmer sind auf scherenartigen Gestängen angebracht, durch welche sie an die Fahrdrähte angedrückt werden. Die Kettenleitung wird in Abständen von 60 bis 100 m an Trägern oder Querdrähten befestigt, und zwar isoliert durch Porzellanisolatoren. Ebenso wird die Kette in gewissen Abständen auch seitlich isoliert befestigt, um große seitliche Schwankungen durch Wind usw. zu verhindern.

Natürlich werden die Wagenmotoren nicht mit diesen hohen Spannungen betrieben. Vielmehr wird in der elektrischen Lokomotive durch einen Transformator eine Umwandlung der zugeführten hohen Spannung in niedrige von einigen hundert Volt vorgenommen. Zu dem Zweck ist also in den elektrischen Lokomotiven für Fernbahnen immer ein Transformator, und zwar ein Öltransformator, vorhanden, wobei häufig noch eine besondere Kühlvorrichtung für das Öl mit eingebaut ist.

Fig. 135 gibt eine Darstellung der elektrischen Einrichtung einer schweren Schnellzuglokomotive, welche auf den bayrischen Strecken benutzt wird. Das ist eine als 2BB2 bezeichnete Lokomotive. (Die Ziffern bedeuten die Zahlen der Laufachsen, die Buchstaben A, B, C die Zahl der Triebachsen.) Man sieht oben die beiden Stromabnehmer AA, in der Mitte des Wagens den Transformator T, rechts und links die Motoren M mit ihren Zahnrädern, durch welche die Schubstangen SS bewegt werden, die an den großen Triebrädern angreifen. Bei V ist ein Ventilator, bei P ein Luftpresser, ersterer für die Kühlung des Transformators, letzterer für Bremsung und andere Zwecke aufgestellt und (nicht sichtbar) eine Ölpumpe. Vorn und hinten am Wagen sind die Fahrschalter FF angebracht, oben bei O der Ölschalter für den hochgespannten Strom. Außerdem befinden sich in der Lokomotive noch weitere Apparate, auf die es hier nicht ankommt. Bei manchen elektrischen Fernbahnlokomotiven sieht man außen an der Verkleidung eine große Anzahl Röhren hin und her gehen. Diese dienen zur Kühlung des Öls der Transformatoren.

Fig. 135



ACHTES KAPITEL

DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Vielseitiger als alle anderen Naturkräfte steht die Elektrizität mit allen in Verbindung. Ebenso leicht wie der elektrische Strom Licht und Wärme, magnetische und mechanische Wirkungen erzeugt, ebenso leicht bringt er auch chemische Wirkungen hervor, Wirkungen, die sowohl für die wissenschaftliche Erforschung der Elektrizität als für die praktische Benutzung derselben von der größten Wichtigkeit geworden sind.

Die Leiter des elektrischen Stromes sind von zweierlei Art, Leiter erster und zweiter Klasse. Zu der ersten Klasse gehören alle Metalle, ferner Kohle und Selen. Zu den Leitern zweiter Klasse gehören alle zusammengesetzten Flüssigkeiten, die den Strom überhaupt leiten. Diese beiden Klassen von Leitern unterscheiden sich wesentlich voneinander. In den Metallen, den Leitern erster Klasse, erzeugt der Strom nur Wärme; wenn er dagegen durch einen Leiter zweiter Klasse, durch eine leitende zusammengesetzte Flüssigkeit hindurchgeht, so verursacht er *immer* eine chemische Zersetzung dieser Flüssigkeit, eine chemische Zersetzung, die nach ganz bestimmten Gesetzen vor sich geht. Man nennt die Leiter zweiter Klasse deshalb auch *Elektrolyte* (von dem griechischen λύειν, lyein, lösen, zersetzen), weil sie durch Elektrizität zersetzt werden. Den Vorgang der Zersetzung nennt man *Elektrolyse*. Will man den elektrischen Strom von einer Stromquelle (Batterie oder Dynamomaschine) durch eine Flüssigkeit gehen lassen, so muß man in diese Flüssigkeit zwei Platten oder Drähte aus Metall eintauchen, von denen die eine Platte mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pol der Stromquelle in Verbindung ist. Diese Platten oder Drähte nennt man die *Elektroden* (von ὁδός, hodos, Weg, Bahn). Zur Unterscheidung bezeichnet man die mit dem positiven Pol verbundene als *Anode*, die mit dem negativen Pol (Zinkpol der Batterie) verbundene Elektrode als *Kathode* (das eine von ἀν', an', hin, das andere von κατ', kat', weg, also „hinführende Bahn“ und „wegführende Bahn“).

Taucht man also zwei Elektroden von gleichem Metall, z. B. zwei Platinelektroden, in eine leitende Flüssigkeit, etwa verdünnte Schwefelsäure, und schickt man durch sie einen elektrischen Strom, so wird die Flüssigkeit stets in ihre Bestandteile zerlegt, es findet stets eine Zersetzung der Flüssigkeit statt. Aber diese Zersetzung geht scheinbar nicht überall in der ganzen Flüssigkeit vor sich, sondern *nur an den Elektroden selbst*. Man sieht in der Flüssigkeit (hier der verdünnten Schwefelsäure) zwischen den Elektroden gar nichts Besonderes, aber an den Elektroden selbst sieht man Gasblasen aufsteigen, und wenn man

DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

diese Gase näher untersucht, so erkennt man, daß an der Kathode Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff entsteht.

Leitende Flüssigkeiten sind im allgemeinen die *Lösungen* von Säuren oder Basen in Wasser, wie Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Natronlauge, Kalilauge, und die *Lösungen* von Salzen in Wasser, wie Kochsalz, Kupfervitriol, Silbernitrat usw. Auch die *geschmolzenen Salze* sind leitende Flüssigkeiten. Ein jedes Salz, z. B. schwefelsaures Kupfer (Kupfervitriol), enthält als einen Bestandteil ein Metall, hier Kupfer, der andere Bestandteil ist eine Säure oder Sauerstoff oder Chlor, oder ein anderer nichtmetallischer Stoff, hier ist er Schwefelsäure. Läßt man nun eine Salzlösung elektrolysieren, so *scheidet sich immer das Metall an der negativen Elektrode ab*, der Rest des Salzes tritt an der positiven Elektrode auf. Also in unserem Beispiel, wenn man eine Lösung von Kupfervitriol zersetzt, tritt das reine metallische Kupfer an der negativen Elektrode auf, bei Zinkvitriol scheidet sich das Zink, bei salpetersaurem Silber das Silber, bei Goldchlorid das Gold in reinem metallischem Zustand an der Kathode ab. Man erkennt schon daraus die Wichtigkeit dieser Wirkung des elektrischen Stromes; denn es ist ja dadurch möglich, Metalle aus den Lösungen ihrer Salze in reinem Zustande auszuscheiden. Der andere Bestandteil des Salzes scheidet sich also an der positiven Elektrode ab. Man nennt die beiden Bestandteile eines Elektrolyten, in welche er durch den Strom zerlegt wird, seine *Ionen* (von $\iota\acute{o}\nu$, i-on, das Wandernde) und bezeichnet auch nach Faradays Vorgang den an der positiven Elektrode (Anode) auftretenden Bestandteil als *Anion*, den an der negativen (Kathode) auftretenden als *Kation*. Wir haben daher den Satz:

Bei jeder elektrolytischen Zersetzung scheidet sich das Metall an der Kathode ab, das Metall ist immer Kation.

Zu den Metallen gehört in diesem Satze auch der *Wasserstoff*, z. B. in der Schwefelsäure (SO_4H_2) ist Wasserstoff (H_2) das Kation und der Rest (SO_4) das Anion.

Dieser allgemein gültige Satz, daß die beiden Bestandteile eines Elektrolyten frei, der eine an der Anode, der andere an der Kathode auftreten, wird jedoch häufig verdeckt, so daß er scheinbar nicht richtig ist.

Es ist nämlich von vornherein einzusehen, daß, wenn eine Flüssigkeit in ihre Bestandteile zerlegt wird, diese Bestandteile, falls sie überhaupt die Fähigkeit dazu haben, wieder chemisch auf die Flüssigkeit oder auf die Elektroden wirken können. Man erhält deshalb sehr häufig bei der Elektrolyse nicht die wirklichen Produkte der Zersetzung, nicht die beiden Bestandteile des Elektrolyten selbst, sondern diejenigen Produkte, die durch die rein chemische Einwirkung der Ionen auf die Flüssigkeit oder die Elektroden entstehen. Die elektrolytisch abgeschiedenen Bestandteile gehen, wie man sagt, *sekundäre Prozesse* ein. Schickt man z. B. den Strom zwischen Platinelektroden durch eine Lösung von Glaubersalz (Na_2SO_4) in Wasser, so sollte an der positiven Elektrode SO_4 , an der negativen Natrium entstehen. Das Natrium (Na_2) aber wirkt, im Moment seines

ACHTES KAPITEL

Entstehens, sofort auf das Wasser zersetzend und bildet Ätznatron (2NaOH) und Wasserstoff (H_2). Aber auch der Rest (SO_4) tritt nicht frei auf, sondern verbindet sich mit dem Wasserstoff des Wassers zu Schwefelsäure (SO_4H_2), während Sauerstoff (O) frei auftritt. Statt Na_2 und SO_4 sieht man also H_2 und O (Wasserstoff und Sauerstoff) durch sekundäre Prozesse auftreten. Namentlich das Anion, welches gewöhnlich eine Säure oder Chlor oder ein anderer sehr reaktionsfähiger Stoff ist, tritt fast immer in chemische Verbindung mit dem Elektrodenmetall oder mit der Flüssigkeit, und von den Kationen sind es namentlich die Alkalimetalle, Kalium und Natrium, welche stets auf das vorhandene Wasser der Lösung zersetzend einwirken, sich mit diesem zu Ätzkali resp. Ätznatron verbinden und Wasserstoff frei auftreten lassen.

Gewöhnliches Brunnenwasser, das den Strom einigermaßen gut leitet, enthält immer eine Reihe von Salzen in mehr oder minder großen Quantitäten aufgelöst, namentlich von Natron und Kalisalzen. Durch den Strom werden *nur* diese Salze zersetzt, und die auftretenden Metalle an der negativen Elektrode zersetzen das Wasser und lassen den Wasserstoff frei werden, während der Rest der Salze sich an der positiven Elektrode mit dem Wasserstoff des Wassers verbindet und Sauerstoff frei werden läßt. So treten bei dem Durchgang des Stromes durch (nicht reines) Wasser immer Wasserstoff und Sauerstoff, die Bestandteile des Wassers, auf, aber nicht durch direkte Elektrolyse, sondern durch sekundäre Prozesse. Man bezeichnet aber trotzdem kurz diesen Vorgang als *Wasserzersetzung*, obwohl man weiß, daß zunächst nicht das Wasser zersetzt wird.

Die genaue quantitative Untersuchung der elektrolytischen Erscheinungen und die Auffindung der Gesetze, nach denen sie vor sich gehen, verdankt die Wissenschaft hauptsächlich wiederum dem Genie *Faradays*. Man nennt daher auch die zu besprechenden Gesetze die *Faradayschen Gesetze der Elektrolyse*.

Die erste Frage ist offenbar folgende: *Wenn eine bestimmte Verbindung, z. B. Zinkchlorid (ZnCl_2), durch den Strom zersetzt wird, wieviel Chlor und wieviel Zink tritt dann gleichzeitig an den Elektroden auf?*

Diese Frage beantwortet sich folgendermaßen: Die relativen Gewichtsmengen der Bestandteile in einer Substanz nennt man die *Äquivalentgewichte*. Es sind dies die Atomgewichte dividiert durch die sogenannte *Wertigkeit* oder *Valenz*. Dem Wasserstoff schreibt man das Äquivalentgewicht 1 zu. Bei den einwertigen Stoffen, wie Chlor, Silber usw., ist also das Äquivalentgewicht gleich dem Atomgewicht. Bei den zweiwertigen Stoffen, wie Kupfer, Zink, Schwefel, Sauerstoff, ist das Äquivalentgewicht bloß die Hälfte, bei den drei- resp. vierwertigen bloß ein Drittel resp. ein Viertel des Atomgewichts.

Die obige Frage beantwortet sich nun folgendermaßen: *Bei jeder elektrolytischen Zersetzung einer Substanz treten an den Elektroden die Bestandteile gerade in dem Gewichtsverhältnis auf, in dem sie in der zersetzten Verbindung stehen, oder: die Mengen der abgeschiedenen Ionen stehen im Verhältnis ihrer Äquivalentgewichte.*

Wenn also Zinkchlorid (bei welchem 71 Gewichtsteile Chlor und 65,4 Gewichts-

DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

teile Zink verbunden sind) elektrolysiert wird, so treten immer 65,4 g Zink an der Kathode auf, sobald 71 g Chlor an der Anode auftreten, oder für je 1 g Chlor entstehen $\frac{65,4}{71}$ g Zink, oder für ein Äquivalent des einwertigen Chlors (35,5 g Chlor) entstehen $\frac{65,4}{71} \cdot 35,5 = \frac{65,4}{2} = 32,7$ g Zink, d. h. ein Äquivalent des zweiwertigen Zinks.

Dasselbe Gesetz gilt nun auch, wenn man zu gleicher Zeit durch einen und denselben Strom eine Reihe von verschiedenen Flüssigkeiten elektrolysieren läßt.

Durch denselben Strom werden in allen elektrolysierten Flüssigkeiten in derselben Zeit die Bestandteile in demjenigen Mengenverhältnis abgeschieden, welches gleich dem Verhältnis ihrer chemischen Äquivalentgewichte ist.

Ein Beispiel wird dieses Gesetz klarmachen. Wenn man einen und denselben Strom der Reihe nach durch drei Gefäße mit Flüssigkeiten leitet, so daß er zu gleicher Zeit in den drei Gefäßen (die man *Zersetzungszellen* nennt) die Flüssigkeiten elektrolysiert, so müssen die abgeschiedenen Mengen der Ionen im Verhältnis ihrer Äquivalentgewichte stehen. Sind diese Flüssigkeiten z. B. im ersten Gefäß eine Lösung von Kochsalz (ClNa), im zweiten eine Lösung von Schwefelsäure (SO_4H_2), im dritten eine Lösung von Zinnchlorür (SnCl_2), so werden in der ersten Flüssigkeit in bestimmter Zeit etwa 23 g Na an der negativen und 35,5 g Cl an der positiven Elektrode abgeschieden. In derselben Zeit muß in der zweiten Flüssigkeit die dem Natrium äquivalente Menge Wasserstoff an der Kathode entwickelt werden, also 1 g, nicht etwa $\text{H}_2 = 2$ g, und an der Anode entsteht also die Menge $\frac{1}{2} \text{SO}_4 (= 48 \text{ g})$, welche dem einen Gramm Wasserstoff äquivalent ist. In der dritten Flüssigkeit endlich entsteht an der positiven Elektrode 1 Äquivalent Cl (35,5 g, nicht etwa $\text{Cl}_2 = 71 \text{ g}$) und die äquivalente Menge Zinn, also $\frac{1}{2} \text{Sn} = 59 \text{ g}$.

Gehen nun die ausgeschiedenen Ionen sekundäre chemische Prozesse mit den Elektroden oder der Flüssigkeit ein, so verbindet sich nach den Gesetzen der Chemie auch wieder jedes von den Ionen immer mit so viel Gewichtsteilen der Elektrode oder der Flüssigkeit, als ihm chemisch äquivalent ist.

Mit anderen Worten heißt dies: *Wenn Elektrolyse stattfindet, so treten entweder die Bestandteile des Elektrolyten selbst oder die durch chemische Umsetzung erzeugten sekundären Produkte immer in chemisch äquivalenten Mengen auf.*

Die dritte wichtige Frage ist nun die: *Von welchen Verhältnissen des elektrischen Stromes hängt die Menge der abgeschiedenen Substanzen ab?* Die Versuche von Faraday haben nun gezeigt, daß das Gewicht (die Masse) der ausgeschiedenen Ionen erstens umso mehr wächst, je länger man den Strom hindurchgehen läßt, und daß es zweitens *allein* abhängt von der *Stärke* des Stromes. *Es hängt also die Masse der in jeder Sekunde elektrolytisch abgeschiedenen Stoffe bei jedem bestimmten Elektrolyten allein ab von der Stromstärke.*

Ein Strom von 10 Ampere Stärke scheidet in derselben Zeit zehnmal soviel Ionen ab wie ein Strom von 1 Ampere. Und der Strom von 1 Ampere Stärke

ACHTES KAPITEL

scheidet in 10 Sekunden geradesoviel Ionen ab wie ein Strom von 10 Ampere Stärke in 1 Sekunde. Es hängt also die in jedem Elektrolyten abgeschiedene Masse der Ionen ab von dem Produkt aus der Stromstärke und der Zeit, in der der Strom fließt. Dieses Produkt bezeichnen wir als die *Elektrizitätsmenge*, die durch den Elektrolyten hindurchgegangen ist. Drückt man die Stromstärke in Ampere aus und die Zeit wie gewöhnlich in Sekunden, so hat man für die Elektrizitätsmenge, die gleich dem Produkt von 1 Ampere und 1 Sekunde ist, den besonderen Namen 1 *Coulomb* eingeführt. Unter einem Coulomb verstehen wir also die Elektrizitätsmenge, die durch jedes Stück eines Stromkreises geht, wenn der Strom 1 Ampere 1 Sekunde lang in ihm fließt. Die Gewichtsmengen der in jedem Elektrolyten abgeschiedenen Ionen hängen also nur ab von der Zahl der Coulomb, die durch den Elektrolyten im ganzen hindurchgegangen sind. Es ist gleichgültig, ob diese in großer Menge eine kurze Zeit lang oder in geringer Menge während einer langen Zeit hindurchgingen, bei derselben Gesamtzahl der durchgegangenen Coulomb ist auch die Gewichtsmenge der abgeschiedenen Ionen dieselbe.

Diese Faradayschen Gesetze, und insbesondere das letzte, kann man nun aber, und das ist von großer Wichtigkeit, auch umgekehrt benutzen.

Je größer die Stärke eines Stromes ist, umso mehr Ionen scheidet er in einer bestimmten Zeit ab. Umgekehrt, je mehr Ionen ein Strom in bestimmter Zeit abscheidet, umso größer ist seine Stärke. Man kann also die chemischen Wirkungen des Stromes benutzen zur *Messung der Stromstärke*. Die Apparate, die dazu dienen, nennt man *Voltameter* oder besser *Coulometer*. Welche Flüssigkeit man in einem Coulometer anwendet, ist ganz gleichgültig, da ja in allen Flüssigkeiten die Gewichte der in gleichen Zeiten abgeschiedenen Ionen den Äquivalentgewichten proportional sind.

Praktisch im Gebrauch sind das *Kupfercoulometer*, das *Silbercoulometer* und das *Knallgascoulometer*. Wir haben von dem Silbercoulometer schon oben S. 10 gesprochen. Es hat sich durch Messungen ergeben, daß der Strom 1 Ampere in 1 Minute 67,08 mg, also in 1 Sekunde 1,118 mg Silber abscheidet. Man hat also aus der Gewichts-differenz des Platintiegels vor und nach dem Stromdurchgang und der gemessenen Zeit des Stromdurchgangs sofort die Stromstärke in Ampere. Umgekehrt ist diese Angabe international dazu benutzt worden, um die Stromstärke „1 Ampere“ zu definieren, wie oben S. 11 dargelegt wurde.

Die Tatsachen und Gesetze der Elektrolyse sind uns also mit sehr großer Genauigkeit bekannt. Wie aber sind diese Tatsachen zu erklären, auf einfache Vorstellungen zurückzuführen? Woher kommt es zunächst, daß bei der Elektrolyse die freien Bestandteile immer nur an den Elektroden auftreten? Wenn der Strom auf die Flüssigkeit zersetzend wirkt, so muß er doch das in der ganzen Ausdehnung der Flüssigkeit tun, durch welche er geht, und nicht bloß an den Elektroden? Woher kommt es weiter, daß die abgeschiedenen Ionen immer im Verhältnis der chemischen Äquivalentgewichte stehen? Die Zusammenfassung

DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

dieser Erscheinungen bietet die Theorie der Lösungen von *Clausius-Arrhenius*, welche mit allen aus ihr gezogenen Folgerungen ausnahmslos bestätigt worden ist. Nach dieser Theorie besteht jedes zusammengesetzte Molekül, z. B. Chlornatrium (NaCl), aus zwei Bestandteilen, die von vornherein entgegengesetzt und gleich stark elektrisch sind, dem positiven Metall und dem negativen Rest. *Diese mit starken elektrischen Ladungen versehenen Bestandteile eines Moleküls sind seine Ionen.* Das Molekül ist daher als Ganzes unelektrisch. Wenn ein solches Salz, wie Kochsalz, in Wasser aufgelöst ist, so darf man aber nicht annehmen, daß in dem Wasser lauter Chlornatrium- (Kochsalz-) Moleküle selbst schwimmen. Vielmehr bringt der Vorgang der Lösung eine weitgehende *Dissoziation* dieser Moleküle hervor. Die einzelnen Kochsalzmoleküle sind in der Lösung in ihre Ionen geteilt, und zwar kann man sich als Grund dieser Dissoziation denken, daß jedes Molekül in der Flüssigkeit sich rasch und heftig bewegt, dabei an andere Moleküle anstößt und dadurch in seine Bestandteile zertrümmert wird. Es gehen in der Flüssigkeit fortwährend Trennungen und Wiedervereinigungen dieser Ionen vor sich, jedoch so, daß der Hauptteil aller Moleküle dissoziiert ist. Diese Vorstellung von der Natur einer zersetzbaren Flüssigkeit ist noch ganz unabhängig von den Erscheinungen der Elektrolyse. Wenn nun in eine solche dissoziierte Flüssigkeit zwei Elektrodenplatten hineingestellt werden, von denen die eine positiv elektrisch, die andere negativ elektrisch ist, so wirken die Ladungen dieser Platten anziehend und abstoßend auf die elektrischen Ladungen der Ionen. Die negative Elektrode zieht die positiv geladenen Metall-Ionen an, die positive Elektrode den negativen Rest. Im Innern der Flüssigkeit findet also eine fortschreitende Bewegung, eine *Wanderung* aller Kationen nach der einen, aller Anionen nach der anderen Richtung statt. Bei dieser Wanderung ist jedoch im Innern der Flüssigkeit überall dieselbe Zahl von positiven und negativen Ionen vorhanden. Das Innere der Flüssigkeit bleibt also scheinbar unverändert.

Anders aber ist es an der Grenze, an den Elektrodenplatten selbst. Dort kommen immerfort an die negative Elektrode positive Metall-Ionen heran. Diese geben nun ihre Ladung an die Elektrode ab und bleiben unelektrisch an ihr haften. Ebenso werden die Anionen an der positiven Elektrode unelektrisch und bleiben an ihr, resp. wenn sie gasförmig sind, gehen sie an ihr in die Luft.

Nach dieser Theorie ist es also nicht der Strom, welcher die Moleküle zersetzt. Vielmehr sind die Moleküle schon zum größten Teil zersetzt, und der Strom bringt nur eine bestimmte Bewegung dieser Teil-moleküle, Ionen, hervor.

Der Durchgang des Stromes durch einen Elektrolyten ist also stets verbunden mit einer Bewegung der körperlichen Bestandteile des Elektrolyten, der Ionen. Diese Ionen sind aber selbst elektrisch, und es sind nur die Bewegungen dieser Ladungen der Ionen selbst, welche den Strom in dem Elektrolyten bilden. Der Strom in einem Elektrolyten besteht also nach dieser Auffassung in der Wanderung der positiven Ionen nach der Kathode und der negativen Ionen nach der Anode.

ACHTES KAPITEL

Nun sagt aber das Faradaysche Gesetz aus, daß die Ionen in allen Flüssigkeiten immer in äquivalenten Mengen abgeschieden werden. Jedes abgeschiedene Ion war aber vorher ein wanderndes Ion, und daraus folgt, daß jedes Äquivalent eines Kations dieselbe (positive) Elektrizitätsmenge mit sich führt und abgibt, die ein Äquivalent eines Anions an (negativer) Elektrizitätsmenge mit sich führt und abgibt. Da ferner der Satz von den Äquivalenten nicht bloß für eine Flüssigkeit, sondern für alle gilt, so folgt daraus: Das Äquivalentgewicht eines beliebigen Ions muß dieselbe Elektrizitätsmenge mit sich transportieren wie das Äquivalentgewicht eines anderen Ions. Also wenn 1 g Wasserstoff eine gewisse Menge positiver Elektrizität (eine gewisse Anzahl Coulomb) stets mit sich führt, so müssen 23 g Natrium, 39 g Kalium, 31,6 g Kupfer, 107,88 g Silber dieselbe Anzahl Coulomb stets mit sich führen, und ebenso müssen 8 g Sauerstoff, 48 g SO_4 , 62 g NO_3 dieselbe Anzahl negativer Coulomb mit sich führen. Also folgt aus dem Faradayschen Gesetz:

Die Äquivalentgewichte der verschiedenen Ionen führen alle die gleiche Anzahl Coulomb mit sich, und zwar positive, wenn sie Kationen, negative, wenn sie Anionen sind.

In der Chemie bezeichnet man als *Grammäquivalent* einer Substanz diejenige Anzahl Gramme der Substanz, welche gleich dem Äquivalentgewicht ist. Also 1 Grammäquivalent Natrium sind 23 g Na, 1 Grammäquivalent Silber sind 107,88 g Ag, 1 Grammäquivalent Zink sind 32,7 g Zn usw. Wir können nun berechnen, wieviel Coulomb mit jedem Grammäquivalent einer Substanz vorhanden sind. Zu dem Zweck erinnern wir uns, daß, wenn der Strom 1 Ampere während 1 Sekunde durch einen Stromkreis fließt, daß dann gerade 1 Coulomb durch den Stromkreis geht. Nun scheidet der Strom 1 Ampere in 1 Minute aus salpetersaurem Silber (nach S. 11) 67,08, also in 1 Sekunde 1,118 mg Silber und die äquivalente Menge NO_3 (0,6440 mg) ab. Nach der obigen Darlegung besteht nun dieser Strom in dem Elektrolyten darin, daß 1 Coulomb positiver Elektrizität nach der Kathode und zugleich 1 Coulomb negativer Elektrizität nach der Anode wandert. Folglich sind unsere 1,118 mg (= 0,001118 g) Silber mit 1 Coulomb fest verbunden, also ist 1 Grammäquivalent Silber (107,88 g) verbunden mit

$$\frac{107,88}{0,001118} = 96\,494 \text{ Coulomb.}$$

Ebensoviel Coulomb führt 1 Grammäquivalent jeder anderen Substanz mit sich. Wir haben also den Satz:

Ein Grammäquivalent eines jeden Ions ist mit 96 494 Coulomb (positiven oder negativen) verbunden.

Da bei der Zersetzung eines jeden Grammäquivalents einer Substanz die beiden Ionen entstehen, so gehen bei jeder elektrolytischen Zersetzung pro Grammäquivalent der zersetzten Substanz 96 494 Coulomb positive und negative Elektrizität durch die Flüssigkeit.

DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Die Erscheinungen der Elektrolyse, die wir hier, rein aus den Tatsachen heraus, in bestimmter Weise zusammengefaßt haben, sind nun aber offenbar unserer früheren Annahme von *Elektronen*, als den Trägern der Elektrizität, sehr günstig. So wie die gewöhnlichen Stoffe in Atome geteilt auftreten, so erscheint auch die Elektrizität in Atome geteilt. Denn jedes Atom eines einwertigen Stoffes (Natrium, Chlor, Silber) erscheint mit *einer* ganz bestimmten Elektrizitätsmenge, eben nach unserer Vorstellung, mit *einem* Atom der Elektrizität, mit einem Elektron verbunden. Jedes Atom einer zweiwertigen Substanz (Sauerstoff, Kupfer, Zink) erscheint mit zwei Atomen der Elektrizität, jedes drei- oder vierwertige Atom mit drei oder vier Atomen der Elektrizität verbunden. Die Elektrizität zeigt sich als ebenso atomistisch zerteilt wie die gewöhnliche Materie. Ein *Ion* Chlor ist die Verbindung eines Atoms Chlor mit einem Atom der negativen Elektrizität, einem negativen Elektron. Ebenso könnten wir auch sagen, daß ein Ion Wasserstoff (oder Natrium usw.) die Verbindung eines Atoms Wasserstoff (oder Natrium) mit einem Atom der positiven Elektrizität, einem positiven Elektron, ist. Aber ebenso richtig können wir auch sagen, ein Ion Wasserstoff (oder Natrium) ist ein Atom Wasserstoff (oder Natrium usw.), dem ein negatives Elektron fortgenommen ist.

Aus Betrachtungen der kinetischen Gastheorie und aus anderen Betrachtungen hat man berechnet, daß in einem Grammäquivalent einer jeden Substanz, wie Wasserstoff, 618 Tausend Trillionen ($618 \cdot 10^{21}$) Ionen enthalten sind. Da nun jedes Grammäquivalent mit 96 494 Coulomb verbunden ist, so folgt, daß 618 Tausend Trillionen Elektronen zusammen die Ladung von 96 494 Coulomb besitzen, also enthält jedes Elektron eine außerordentlich kleine Ladung, nämlich

$$\frac{1}{6,4 \text{ Trillionen}} \text{ Coulomb} \left(\frac{1}{6,4 \cdot 10^{18}} \text{ Coulomb} \right)$$

Diese kleine Ladung, die jedes Elektron besitzt, nennt man das *elektrische Elementarquantum*. Sie ist nach der Vorstellung der Elektronentheorie die kleinste überhaupt mögliche unteilbare Elektrizitätsmenge.

Die Elektrolyse gibt nun auch die Aufklärung, woraus ein Strom, der von einem galvanischen Element geliefert wird, seine Energie entnimmt. In einem geschlossenen galvanischen Element selbst, das ja auch von seinem eigenen Strom durchflossen wird, muß elektrolytische Zersetzung der Flüssigkeiten eintreten. In einem Daniellschen Element z. B., das aus Kupfer in Kupfervitriol und Zink in Schwefelsäure besteht, fließt ja der Strom außen vom Kupfer zum Zink, innen aber vom Zink zum Kupfer, also ist für den inneren Strom Kupfer die negative Elektrode. Es tritt infolgedessen das aus dem Kupfervitriol abgeschiedene Kupfer an die Kupferelektrode heran, und diese bedeckt sich, während der Strom fließt, mit einer glänzenden Schicht von reinem metallischem Kupfer. An der positiven Elektrode, dem Zink, tritt aus der elektrolysierten Schwefelsäure das SO_4 auf und verbindet sich mit

ACHTES KAPITEL

diesem sofort zu schwefelsaurem Zink (Zinkvitriol), SO_4Zn . Das Resultat dieser chemischen Vorgänge in dem Element ist also das, daß fortwährend Zink sich in Schwefelsäure auflöst und zu gleicher Zeit eine äquivalente Menge Kupfer sich an der Kupferelektrode niederschlägt.

Wenn sich Zink in Schwefelsäure auflöst, so entsteht, wie die Thermochemie lehrt, immer eine gewisse Wärmemenge; bei dem Ausfällen von Kupfer aus Kupfervitriol wird dagegen eine andere, und zwar viel kleinere, Wärmemenge verbraucht. Die chemischen Vorgänge in der Kette lassen also eine gewisse Wärmemenge frei werden. Diese Wärmemenge nun bleibt nicht frei im Element, sie dient nicht dazu, die Temperatur des Elements zu erhöhen, sondern die Energie dieser Wärmemenge verwandelt sich eben (wenigstens zum Teil) in elektrische Energie und dient dazu, den elektrischen Strom zu unterhalten. Man kann daher auch direkt sagen: Wenn in einem Element ein elektrischer Strom erzeugt und unterhalten wird, so wird die Energie, die Arbeitsmenge, die der Strom enthält, geliefert auf Kosten der Wärme, welche durch die chemischen Prozesse in der Kette frei wird.

Eine neue Tatsache, die bei dem Stromdurchgang durch einen Elektrolysen auftritt, ist folgende. *Wenn man einen galvanischen Strom durch eine Zersetzungs- zelle schickt, so entsteht in der Zelle eine elektromotorische Kraft, welche selbst um- gekehrt imstande ist, einen Strom zu erzeugen.* Man hat für diese Erscheinung das Wort *Polarisation* eingeführt. Man sagt, die Elektroden werden bei der Elektrolyse *polarisiert*. Immer, wenn ein Strom durch eine Zersetzungs- zelle hindurchgesendet wird, werden die Elektroden in dieser Zelle polarisiert, und wenn man sie nun durch einen Draht miteinander verbindet, so fließt durch diesen Draht und die Zersetzungs- zelle ein elektrischer Strom. Man nennt diesen Strom den *Polarisationsstrom*.

Der Polarisationsstrom fließt durch die Zelle immer in entgegengesetzter Rich- tung wie der ursprüngliche Strom, den man auch den polarisierenden nennt. Zum Beispiel bei der Wasserzersetzung fließt der polarisierende Strom ja in der Zelle von der Sauerstoffelektrode zur Wasserstoffelektrode, da die erstere mit dem positiven Pol, die letztere mit dem negativen Pol des polarisierenden Elements verbunden ist. Der Polarisationsstrom aber fließt umgekehrt in der Zelle von der Wasserstoffelektrode zur Sauerstoffelektrode.

Die *elektromotorische Kraft* des Polarisationsstromes hängt davon ab, welche Metalle und welche Flüssigkeiten in der elektrolytischen Zelle sich befinden. Zum Beispiel bei Platinelektroden in verdünnter Schwefelsäure entsteht eine elektromotorische Kraft von 2,7 Volt, bei Bleielektroden in verdünnter Schwefel- säure eine solche von fast genau 2 Volt.

Da also eine elektrolytische Zersetzungs- zelle durch den polarisierenden Strom zu einem galvanischen Element wird, so bezeichnet man sie auch als *sekundäres Ele- ment*. Der polarisierende oder primäre Strom, der die Zelle zu einem sekundären Element macht, *ladet*, wie man sagt, diese Zelle. Man nennt ihn deswegen auch den *Ladungsstrom*, während der Polarisationsstrom der *Entladungsstrom* genannt wird.

DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

Da der Polarisationsstrom durch das sekundäre Element in der entgegengesetzten Richtung fließt wie der ladende Strom, so bringt er in dem Element Elektrolyse hervor, die der primären gerade entgegenwirkt. Wo also z. B. bei der Wasserzersetzung Sauerstoff auftritt, tritt im Polarisationsstrom Wasserstoff auf und umgekehrt. Folglich *vermindert* sich durch den Polarisationsstrom die Polarisation der Elektroden, und daher muß der Polarisationsstrom, den das sekundäre Element liefert, schließlich aufhören, wenn aller Wasserstoff von der einen und aller Sauerstoff von der anderen Elektrode sich wieder zu Wasser verbunden haben. Der Entladungsstrom hört auf, sobald die vorher eingeführte Ladung wieder ausgegeben ist.

Das Verdienst, durch sehr viele und sorgfältige Versuche zuerst ein sehr zweckmäßiges sekundäres Element hergestellt zu haben, hat *Gaston Planté*. Er fand nämlich, daß sich das *Blei* ganz besonders dafür eigne. Planté tauchte zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure. Diese wandeln sich oberflächlich in der Schwefelsäure in Bleisulfat (PbSO_4) um. Sendet man nun durch dieses System den primären Strom hindurch, so zerlegt sich, wenn wir nur die Hauptprozesse in Betracht ziehen, die Schwefelsäure (SO_4H_2) in Wasserstoff (H_2) und das nicht frei bestehende SO_4 . Dieser Schwefelsäurerest tritt mit zwei Molekülen Wasser und mit einem Molekül des Bleisulfats an der Anode in solche Umwandlung ein, daß sich ein Molekül Bleisuperoxyd (PbO_2) und zwei Moleküle Schwefelsäure (SO_4H_2) bilden. An der Kathode dagegen reduziert der auftretende Wasserstoff (H_2) das dortige Bleisulfat zu reinem Blei und bildet dabei Schwefelsäure. Wenn also die Polarisation vollständig ist, ist aus dem System ein galvanisches Element geworden, bestehend aus

Bleisuperoxyd | verdünnter Schwefelsäure | Blei.

Ein solches Element hat eine elektromotorische Kraft von fast genau 2 Volt. Wird ein solches Element durch einen äußeren Stromkreis geschlossen, so fließt der Polarisationsstrom und zerlegt durch Elektrolyse wieder die Schwefelsäure, und es bildet sich jetzt an dem Bleisuperoxyd Wasserstoff, während an der reinen Bleiplatte sich Sauerstoff bildet. Dadurch wird das Bleisuperoxyd zu Bleioxyd (PbO) reduziert, aber sofort auch durch die Schwefelsäure in Bleisulfat (PbSO_4) umgewandelt, und ebenso wird die reine Bleiplatte zu Bleioxyd oxydiert und gleich in Bleisulfat (schwefelsaures Blei) verwandelt. Der Strom hört auf, wenn beide Platten mit Bleisulfat bedeckt sind. Die gesamte Menge des zuerst erzeugten Bleisuperoxydes hängt nun ab von der Stärke und Dauer des primären Stromes, also von der gesamten Elektrizitätsmenge, welche während der Ladung des sekundären Elements von dem primären Strom hineingesendet wurde. Die gesamte Elektrizitätsmenge, die das sekundäre Element im ganzen abgeben kann, kann also nicht größer, sondern höchstens gleich sein der gesamten Elektrizitätsmenge, die von dem ladenden Strome hineingegeben wurde.

Ist nun ein solches Element geladen, so liefert es zu jeder Zeit, wenn man die

ACHTES KAPITEL

Elektroden durch einen Schließungskreis verbindet, elektrischen Strom, einen Strom, der annähernd im ganzen dieselbe Elektrizitätsmenge mit sich führt wie der ladende Strom. Ein solches sekundäres Element ist also gewissermaßen ein Speicher für eine bestimmte Elektrizitätsmenge, es dient zur *Aufspeicherung von Elektrizität*. Man nennt deshalb auch die sekundären Elemente *Akkumulatoren (Sammler)*.

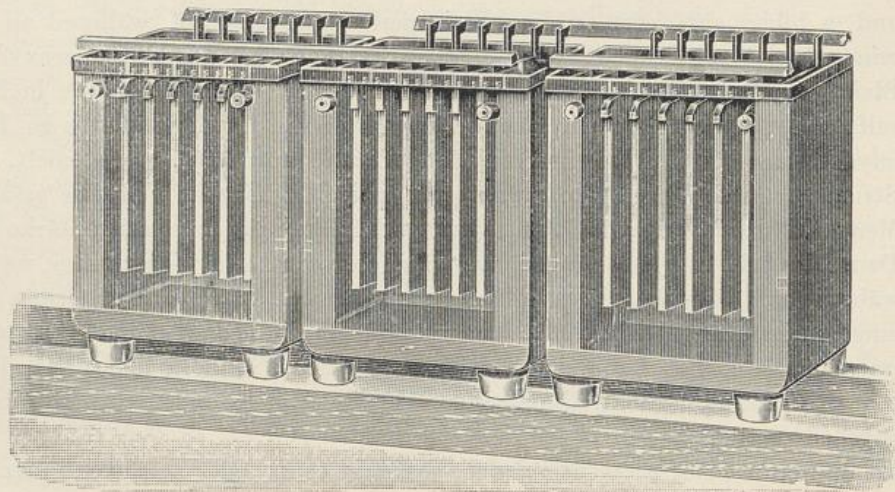
In Deutschland sind am meisten verbreitet die *Afa-Akkumulatoren*, welche von der *Akkumulatorenfabrik in Berlin und Hagen i. W.* fabriziert werden und welche sich durch großen Nutzeffekt und sehr große Haltbarkeit auszeichnen. Da es darauf ankommt, die Oberfläche der Platten recht groß zu machen, damit möglichst viel von dem Blei in Bleisuperoxyd verwandelt werde, so werden die positiven Bleiplatten mit hohen und engen Rippen gebildet, die durch Querrippen zusammengehalten werden. Die Säure kann bei ihnen die ganze Oberfläche bespülen, so daß die Platten leicht vollständig oxydiert werden können.

Die negativen Platten bestehen aus einem weitmaschigen Gitter. In die Maschen wird Bleiglätte gefüllt, welche bei der Ladung vollständig in poröses Blei, Bleischwamm, umgewandelt wird. Da der Bleischwamm aber allmählich zusammensintert, so werden ihm gewisse Stoffe beigemischt, welche das Sintern verhindern und sogar ein Quellen hervorrufen. Damit nun die Masse dabei nicht aus den Maschen herausfällt, werden die negativen Platten mit einem perforierten Bleiblech als Kasten umgeben und werden deshalb auch *Kastenplatten* genannt.

Eine Anzahl solcher positiver und eine Anzahl negativer Platten, je miteinander verlötet, werden nun in ein Gefäß aus Holz oder Glas gebracht, das mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. Dabei wird immer von den negativen Platten eine mehr genommen, so daß jede positive (Bleisuperoxyd-) Platte zwischen zwei negativen hängt.

Fig. 136 zeigt eine Batterie von 3 Akkumulatoren in Glasgefäßen. In jedem

Fig. 136



DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

dieser Akkumulatoren sind 6 positive und 7 negative Platten vorhanden. Für die Dauerhaftigkeit und den Nutzeffekt der Akkumulatoren ist es durchaus nicht gleichgültig, ob sie mit starken oder schwachen Strömen geladen und entladen werden. Es gibt für jede Plattengröße eine bestimmte maximale Stromstärke, bei welcher geladen und mit welcher entladen werden soll, und diese wird jetzt von den Fabriken immer angegeben.

Wird ein Akkumulator mit der vorgeschriebenen Stromstärke geladen, so erhält er wenige Minuten nach Beginn der Ladung eine Spannung von 2,09 Volt. Diese Spannung bleibt ungefähr 6 Stunden lang während der Ladung dieselbe, um dann während der nächsten 4 Stunden langsam auf 2,34 Volt zu steigen. (Diese Änderung rührt von den allmählichen Veränderungen der Säure her. Bei der Ladung entstehen nämlich pro Molekül Bleisuperoxyd 2 Moleküle Schwefelsäure, während 2 Moleküle Wasser verbraucht werden.) Wird dann die Entladung vorgenommen, so ist die Anfangsspannung bei der Entladung 1,95 Volt. Daß dieser Wert so viel kleiner ist als der bei der Ladung erreichte, kommt daher, daß bei der Ladung in unmittelbarer Nähe der Elektroden und in deren Poren die Konzentration der Schwefelsäure eine sehr hohe ist. Die elektromotorische Kraft der Akkumulatoren wächst aber mit der Konzentration der Säure. Bei der Entladung wird diese Säure verbraucht, so daß daraus die niedrigere Spannung resultiert. Die Bleiplatten nehmen nämlich wieder 2 Moleküle Schwefelsäure auf, und es bilden sich wieder 2 Moleküle Wasser. Der Grund dieser Verschiedenheit der Spannungen ist also ein sekundärer. Bei normalem Entladungsstrom bleibt die Spannung lange Zeit auf 1,95 Volt und sinkt dann allmählich auf den Wert 1,80 Volt herab. Dann muß der Akkumulator wieder geladen werden.

Die höchste Ladung, die ein Akkumulator abgeben kann, nennt man seine *Kapazität*.

Die Kapazität eines Akkumulators wird gewöhnlich in *Amperestunden* angegeben. Man konstruiert die Akkumulatoren jetzt gewöhnlich für eine Entladungsdauer von 1—10 Stunden. Je größer die Stromstärke bei der Entladung ist, umso kleiner ist die Kapazität.

Eine wesentliche Frage ist die, wieviel von der aufgespeicherten elektrischen Energie bei der Entladung wieder nutzbar abgegeben werden kann. Das Verhältnis der abgegebenen zur aufgewendeten Energie nennt man den *Nutzeffekt* des Akkumulators.

Die vielfachen Anstrengungen, die Akkumulatoren zu verbessern, ihren Nutzeffekt und ihre Haltbarkeit zu erhöhen, haben allmählich zu dem Resultat geführt, daß man leicht und sicher 70—75 Proz. der eingeführten Energie von den Akkumulatoren wiedererhält.

Von Interesse ist es, die in einem Akkumulator aufgespeicherte Energie, die man in Wattstunden ausdrückt, mit seinem Gewicht zu vergleichen. Bei den Akkumulatoren, die fest aufgestellt werden, kommt es auf dieses Verhältnis von aufgespeicherter Energie zum Gewicht nicht an. Wohl aber bei solchen

ACHTES KAPITEL

Akkumulatoren, die fahrbar sein sollen. Bei diesen soll bei möglichst kleinem Gewicht möglichst viel Energie aufgespeichert sein. In der Tat ist bei transportablen Afa-Akkumulatoren das Gewicht so stark reduziert, daß bei ihnen pro Kilogramm etwa 30 Wattstunden aufgespeichert sind, während bei festen Akkumulatoren pro 1 Kilogramm Gewicht nur etwa $7\frac{1}{2}$ Wattstunden Energie aufgespeichert sind.

Für geringen Bedarf an Elektrizität, wie z. B. bei physikalischen Experimenten, sind die Akkumulatoren ein sehr vorzüglicher Ersatz der galvanischen Elemente. **Fig. 137** zeigt z. B. einen für derartige Zwecke geeigneten, tragbaren Bleiakкумуляtor von 16 Volt Spannung, der also 8 größere Zellen enthält. Diese sind in einem Holzkasten mit beweglicher Seitenwand D enthalten, die für gewöhnlich zugeklappt wird. Bei a und b sind die Pole der Batterie.

Ein solcher Akkumulator muß also von Zeit zu Zeit geladen werden, um immer wieder Strom abgeben zu können. Diese Ladung nimmt man da, wo durch städtische Zentralen Gleichstrom vorhanden ist, natürlich am besten mit dem Zentralstrom vor. Da dieser aber gewöhnlich eine Spannung von 110 Volt besitzt, also dem Akkumulator, wenn er direkt eingeschaltet würde, viel zu starken Strom liefern würde, so schaltet man zweckmäßig eine Glühlampe vor. Der in die Akkumulatoren fließende Strom kann dann höchstens so groß sein, wie ihn die Glühlampe bei der angewendeten Spannung durchläßt. Bei der richtigen Verbindung muß der + Pol der Zentrale mit dem + Pol des Akkumulators zusammengeschaltet werden, und dann leuchtet die eingeschaltete Lampe schwächer als normal. Bei falscher Verbindung leuchtet sie heller. Durch die Fortschritte in der Konstruktion leichter Akkumulatoren ist ihnen allmählich auch das Gebiet zugänglich geworden, als Kraftquelle auf Fahrzeugen zu dienen. Die preußischen Eisenbahnen haben nach vielfachen Versuchen für schwächeren Bahnverkehr, wie er auf vielen Lokallinien vorhanden ist, die Dampfbahnen durch Akkumulatorbahnen ersetzt. Auf diesen laufen einfache Züge, sogenannte *Akkumulatortriebwagen*, die aus zwei oder drei Wagen bestehen und deren Elektromotoren durch mitgeführte Akkumulatoren angetrieben werden.

Fig. 137

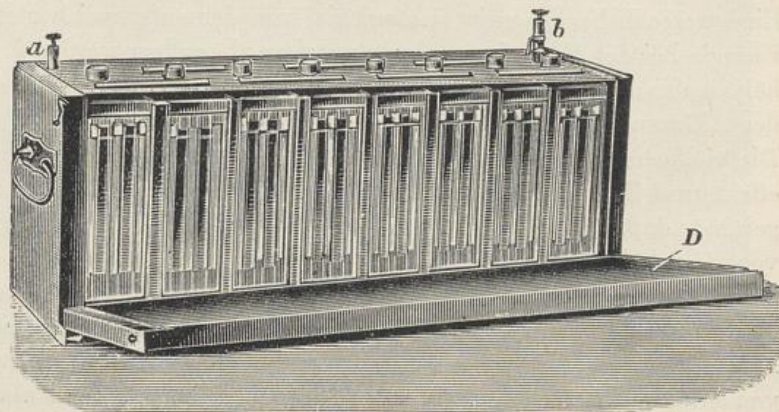
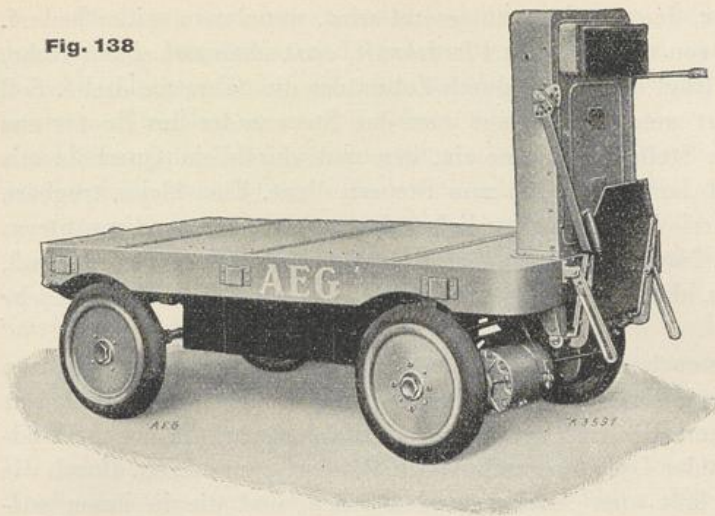


Fig. 138



Auch zum Betreiben von *Automobilen* haben sich die Akkumulatoren bewährt. Um ein elektrisches Automobil, das man zweckmäßig als *Elektromobil* bezeichnet, zu betreiben, muß man außer dem Motor, der an sich leicht ist, noch eine Akkumulatorenbatterie mitführen. Erst seitdem die Akkumulatorenfabriken besonders leichte und haltbare Akkumulatoren für Elektromobile herzustellen gelernt haben, sind diese in Wettbewerb mit den anderen Automobilen für den Stadtverkehr getreten. Doch haben sie sich in Deutschland für den Personenverkehr nicht durchsetzen können. Nur als Lastautomobile werden sie oft benutzt.

Dafür aber haben sich die *Elektrokarren*, die zuerst von der AEG. eingeführt wurden, für größere Fabriken oder sonstige Betriebe, in welchen viel Material von einer Stelle zur anderen transportiert werden muß, z. B. bei der Post und Eisenbahn, bewährt. **Fig. 138** zeigt eine Ausführung derselben. Der Karren trägt in der Mitte unten eine Akkumulatorenbatterie von 40 Zellen, welche den sichtbaren Motor betreibt, der auf die Hinterräder wirkt. Hinten ist der Stand des Führers mit den Anlaß- und Lenkvorrichtungen. Auf die Plattform des Karrens werden die zu befördernden Güter gelegt. Die Geschwindigkeit beträgt bei Vollast (1500 kg) 12 km, im Leerlauf 14 km pro Stunde. Bei geeigneter Größe kann der Karren auch als Schlepper für Anhängewagen dienen. Zur Zurücklegung größerer Strecken wird er zuweilen mit einem Führersitz ausgestattet.

Auch kleine Boote werden zuweilen, wenn man keine Benzinmotoren in ihnen anbringen will, mit Elektromotoren, die von Akkumulatoren gespeist werden, betrieben. Eine hübsche und bequeme Einrichtung wird neuerdings an kleinen Booten, namentlich Segelbooten, aber auch Ruderbooten, angebracht, wenn diese vorübergehend mit Motorkraft fahren sollen, z. B. erstere bei Windstille oder letztere bei Ermüdung der Ruderer. **Fig. 139** stellt einen Außenbordmotor

ACHTES KAPITEL

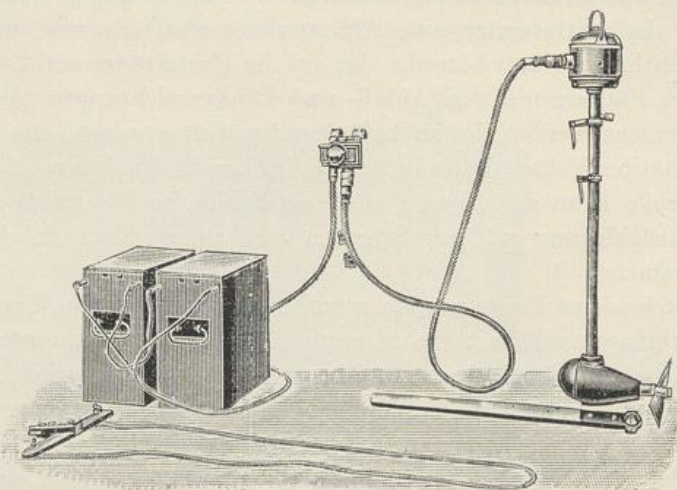
(„Gelop“-Motor) dar, der nur dann eingesetzt wird, wenn man seiner bedarf. Ein kleiner Motor, von ungefähr 0,2 Pferdekraft, sitzt oben auf einem Rohr, welches eine Welle trägt, die unten durch Zahnräder die Schraube dreht. Soll der Motor gebraucht werden, so hängt man das Steuerruder des Bootes aus und hängt an seine Stelle den Motor ein, den man durch ein Querholz mit Seilen befestigt und der dann selbst zum Steuern dient. Eine kleine tragbare Akkumulatorenbatterie in zwei Kästen liefert den geringen notwendigen Strom 5—8 Stunden lang. Natürlich ist die Geschwindigkeit des Bootes nicht groß, 6—7 km pro Stunde, aber für die angegebenen Zwecke ausreichend und oft sehr erwünscht.

Man hat auch an manchen Orten angefangen, mit Hilfe der Akkumulatoren unregelmäßig wirkende Naturkräfte nutzbar zu machen, indem man ihre Arbeit ansammelt. Man kann die *Kraft des Windes* dazu benutzen, um durch Windmühlen oder Windräder Dynamomaschinen in Bewegung zu setzen. Durch die Dynamomaschinen läßt man Akkumulatoren laden, und die in ihnen aufgespeicherte Arbeit kann man dann zu beliebiger Zeit benutzen. In Schweden und Norwegen und auch in Norddeutschland an einigen Orten, wo die Windmühlen viel verbreitet sind und man fast stets auf genügenden Wind rechnen kann, hat man bereits angefangen, auf diese Weise die Kraft des Windes noch mehr auszunutzen, als es bisher geschah.

Die Aufspeicherung der Elektrizität ist aber nicht die einzige technische Anwendung, die von der Elektrolyse zu machen ist.

Die wunderbare Eigenschaft des elektrischen Stromes, daß er gelöste Metallsalze bei seinem Durchgang in ihre Bestandteile zerlegt und daß diese Bestandteile an den Elektroden frei auftreten, führte schon im Jahre 1837 *Jacobi* dazu, diese Eigenschaft zum Überziehen von Körpern mit Metallen zu benutzen. Dadurch gab er den Anstoß zu der *Galvanoplastik*, der Kunst, auf galvanischem Wege Metallniederschläge auf den Oberflächen von Körpern hervorzubringen,

Fig. 139



DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

und seit dieser Zeit hat sich die Galvanoplastik zu einem bedeutenden Industriezweig ausgebildet und immer neue Aufgaben in ihre Domäne gezogen. Um Metallgegenstände, die eine beliebige Form haben können, mit einer Schicht eines Metalls zu überziehen, läßt man sie als *negative* Elektrode in eine Lösung eines Metallsalzes tauchen, und je nach dem Metallsalz, das man anwendet, kann man so Gegenstände verkupfern, vernickeln, vergolden, verzinnen, verchromen, verplatinieren, verstählen. Jedoch eignet sich nicht jedes Metallsalz gleich gut, um solche galvanoplastische Niederschläge zu liefern, es haben sich im Gegenteil durch die Erfahrung für die verschiedenen Metallniederschläge bestimmte Salze als besonders zweckmäßig erwiesen, und es haben sich insbesondere bestimmte Konzentrationen der Lösungen vorteilhafter gezeigt als andere. Man bezeichnet in der Galvanoplastik die Gefäße mit der Flüssigkeit, welche elektrolysiert wird, als die *Bäder*.

Bei jedem galvanoplastischen Prozeß muß man die Stromstärke je nach der Größe der Oberfläche der Kathode passend wählen. Für große Oberflächen kann man größere Stromstärken nehmen als für kleinere. Da ja durch einen bestimmten Strom in jeder Sekunde eine bestimmte Menge des Metalls an der Kathode niedergeschlagen wird, so setzen sich bei zu starkem Strom die ausgeschiedenen Metallteilchen nicht glatt und fest an die Kathode an, sondern sie bilden unebene, rauhe und leicht abbröckelnde Flächen. Man bezeichnet das Verhältnis der Stromstärke in einem Bade zur Größe der Kathodenfläche als die *Stromdichtigkeit*. Diese ist also experimentell so auszuprobieren, daß der Niederschlag auf der Kathode möglichst schön wird.

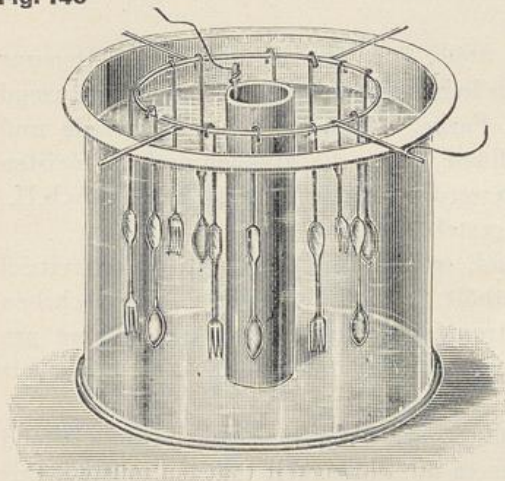
Wenn ein leitender Körper, also gewöhnlich ein Metall, mit einem galvanoplastischen Überzug versehen werden soll, *der auf ihm haften soll*, so ist es vor allen Dingen nötig, die Oberfläche des Metalls ganz von allen Verunreinigungen zu befreien oder, wie man sagt, zu *dekapieren*, was entweder auf chemischem Wege, indem man es in Säuren eintaucht, oder auf mechanischem Wege, durch

Bürsten und Reiben, geschehen kann.

Es werden dann die zu überziehenden Gegenstände, also z. B. Löffel und Messer und Gabeln, alle zusammen in das Bad getaucht, z. B. in ein Silberbad, und alle *parallel* miteinander geschaltet und mit dem negativen Pol der Stromquelle verbunden. Als Anode taucht dann eine Silberplatte in das Bad.

Fig. 140 zeigt ein solches Bad. Die zylindrische Silberanode ist in der Mitte, die zu versilbernden

Fig. 140



ACHTES KAPITEL

Gegenstände hängen alle an einem Ring, der mit dem negativen Pol der Batterie verbunden ist, und sind durch den Ring alle parallel geschaltet.

Das Bad zur *Versilberung* besteht aus einer Lösung von Zyansilberkalium, welche man in der für die Versilberung passenden Zusammensetzung erhält, wenn man in 10 l Wasser 120 g reines Zyankalium auflöst und dazu 460 g Kaliumsilberzyanid gibt, welches sich ebenfalls auflöst. Die passende Stromdichte für guten Silber Niederschlag ist 0,5 Ampere pro Quadratdezimeter.

Zum *Verkupfern* nimmt man gewöhnlich eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol) oder eine Lösung von Zyan kupferkalium, letztere namentlich bei der Verkupferung von Eisen- und Zinkgegenständen. Die letztere enthält auf 10 l Wasser 170 g Soda, 250 g doppelt schwefelsaures Natron, 200 g essigsaures Kupfer und 200 g Zyankalium. Die passende Stromdichte ist dabei etwa 0,4 Ampere pro Quadratdezimeter, während sie bei dem Kupfervitriolbad sehr viel größer sein kann, bis zirka 3 Ampere pro Quadratdezimeter.

Zum *Vergolden* braucht man am vorteilhaftesten eine Lösung von Zyangoldkalium. Es wird als passendes Goldbad empfohlen eine Lösung, die in 10 l Wasser 10 g Zyankali, 500 g phosphorsaures Natron, 15 g doppelt schwefelsaures Natron und 15 g Chlorgold enthält. Das Bad wird bei 50° benutzt, und pro Quadratdezimeter werden 0,2 Ampere angewendet.

Zum *Vernickeln* nimmt man ein Bad, welches pro Liter 75 g schwefelsaures Nickel oxydul ammoniak enthält, also mit dem Nickelsalz gesättigt ist, ferner 25 g Ammoniumsulfat und 5 g Zitronensäure enthält. Die Stromdichte ist 0,5—0,7 Ampere pro Quadratdezimeter. Nickelüberzüge sind namentlich bei Eisengegenständen sehr wertvoll, weil sie das Rosten hindern. Auch Messinggegenstände werden bekanntlich sehr häufig vernickelt. Zu einer haltbaren Vernicklung gehört unbedingt vollständigste Reinheit der zu behandelnden Flächen. Zum Vernickeln muß man, wegen der hohen Polarisierung, eine größere Spannung als für die anderen Bäder anwenden, nämlich so, daß man an jedem Nickelbad 4 Volt Spannung erhält.

Seit einigen Jahren beginnt man an Stelle der Vernickelung die *Verchromung* anzuwenden. Chromüberzüge sind sehr hart und dauerhaft, lassen sich glänzend polieren, haben eine platinähnliche Farbe, vertragen hohe Hitzegrade und sind gegen alle atmosphärischen Einflüsse, gegen die Alkalien und die meisten Säuren unempfindlich. Die Bäder dazu werden von der Elektro-Chrom-G.m.b.H., Berlin, nach eigenem Verfahren hergestellt.

Zum *Verstählen* benutzt man ein Bad, welches pro Liter 150 g Eisenvitriol und 125 g Magnesiumsulfat gelöst enthält. In die Flüssigkeit werden Säckchen mit Magnesia alba gehängt. Die Stromdichte beträgt nur 0,1 Ampere pro Quadratdezimeter. Zum Verstählen von Druckplatten nimmt man Bäder aus säurefreier Eisen chlorürlösung.

Die Gegenstände, welche galvanisch überzogen sein sollen, müssen stets leitend sein, da sie ja als negative Elektroden in die Flüssigkeit tauchen müssen. Das

DIE CHEMISCHEN WIRKUNGEN DES ELEKTRISCHEN STROMES

einfachste ist daher, auf Metallen galvanische Niederschläge hervorzubringen. Aber auch nichtleitende Körper kann man galvanoplastisch überziehen, wenn man bloß ihre Oberfläche leitend macht, wenn man sie *metallisiert*. Das einfachste und gewöhnlich angewendete Mittel dazu ist das, die Oberfläche des betreffenden Körpers mit ganz feinem Graphitpulver einzureiben. So kann man Gipsmedaillen oder -figuren, ebenso Figuren aus Holz, Alabaster, Marmor einfach durch Bestreichen mit Graphitpulver an der Oberfläche leitend machen. Will man den galvanoplastischen Überzug von dem Gegenstand nachher leicht entfernen können, so muß man die Bürste, mit welcher man den Graphit aufstreicht, etwas mit Talg einfetten.

Auf diese Weise kann man auf jedem beliebigen Körper einen galvanischen Überzug hervorbringen und den Überzug nachher auch leicht von dem Objekt trennen. Gerade diese Aufgabe ist es, welche bei nichtmetallischen Gegenständen meistens gestellt wird, man will *Abdrücke* des Gegenstandes. Meistenteils und am leichtesten werden diese Abdrücke in Kupfer gemacht. Der leitende oder metallisierte Gegenstand wird, etwas gefettet, als negative Elektrode in eine Lösung von schwefelsaurem Kupfer gebracht, und wenn die niedergeschlagene Schicht eine gewisse Dicke erreicht hat, ist es leicht, sie einfach abzunehmen.

Die elektrolytischen Vorgänge lassen sich aber zu sehr viel bedeutenderen Aufgaben, als die Galvanoplastik sie stellt, benutzen, wenn man die starken Ströme, wie die Dynamomaschinen sie liefern, verwendet. Es hat sich in den letzten Jahrzehnten eine eigene Technik, die *Elektrochemie*, herausgebildet, welche die Aufgabe hat, wertvolle chemische Stoffe — Elemente und Verbindungen — aus minder wertvollen durch Anwendung des elektrischen Stromes herzustellen. Doch fällt die Darlegung dieser Aufgaben und der Methode ihrer Lösung nicht in den Rahmen dieses Buches.

NEUNTES KAPITEL

DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE DIE RÖNTGENSTRAHLEN

Die Luft und andere Gase treten im Gebiet der Elektrizität zunächst als sehr vollkommene Isolatoren auf. Die geringste Luftstrecke, in den Kreis eines galvanischen Stromes eingeschaltet, verhindert das Weiterfließen des Stromes. Nur wenn der Strom sehr starke Spannung besitzt, dann wird der Widerstand der Luft von ihm überwunden, und es bildet sich ein elektrischer Funke. Diesen fast vollkommenen Mangel an Leitungsfähigkeit besitzen aber die Gase nicht unter allen Umständen. Man kann ja die Gase vermittle der Luftpumpen in einem Raum beliebig verdünnen, und solche verdünnte Gase zeigen durchaus nicht mehr die elektrische Starrheit, wie Gase unter gewöhnlichem Druck, sie gestatten vielmehr der Elektrizität recht leicht den Durchgang, zeigen aber dabei eine ganze Reihe von merkwürdigen Erscheinungen, die für die Erklärung der Elektrizität hervorragend wichtig geworden sind. Um durch ein verdünntes Gas die Elektrizität hindurchsenden zu können, muß man in das Gefäß, welches das Gas enthält, zwei Drähte oder Platten einführen (einschmelzen oder einkitten), welche mit der Elektrizitätsquelle verbunden werden können. Diese bezeichnet man auch hier als *Elektroden* und unterscheidet auch hier *Anode* und *Kathode* (positive und negative Elektrode). In **Fig. 141** ist ein Rohr abgebildet, in welches zwei Elektroden eingeschmolzen sind, und zwar eine Spitze und eine Platte. Solche Röhren werden vor dem Zuschmelzen an eine Luftpumpe angesetzt und ausgepumpt, bis die Luft genügend verdünnt ist. Die dazu nötigen Verbindungsstücke sind in der Figur weggelassen. Wenn man nun in einem solchen Rohr die Luft mit der Luftpumpe allmählich verdünnt und die Elektroden des Rohres mit der sekundären Rolle eines Induktionsapparates verbindet, so sieht man (**Fig. 142**), wenn der geringe Druck von

Fig. 141



Fig. 142



DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRAHLEN

etwa 6 bis 8 mm erreicht ist, zwischen den beiden Elektroden ein helles, violettes Lichtband sich erstrecken, welches nicht die Breite der Röhre ausfüllt, welches auch nicht ganz geradlinig verläuft, welches aber scheinbar vollkommen von der einen Elektrode bis zur anderen sich erstreckt. Macht man den Druck noch geringer, 1—3 mm, so bleibt immer ein solches violettes Licht zwischen den Elektroden, welches aber allmählich die ganze Breite der Röhre ausfüllt. Von einem bestimmten Druck an aber erkennt man, daß dieses Licht *geschichtet* ist. Es sind auf der ganzen Länge der Röhre abwechselnd *helle und dunkle Schichten* in nahezu gleichem Abstand voneinander vorhanden.

Röhren von sehr verschiedener, oft sehr kunstvoller Form, die so weit evakuiert sind, wurden von Geißler in Bonn in den Handel gebracht und heißen deshalb *Geißlersche Röhren*. Ist ein solches Rohr gebogen oder gekrümmt, wie in **Fig. 143**, so folgt die Entladung, das violette Licht, allen Krümmungen des Rohres, und der Strom geht auf ihm durch die Luft in dieser geschichteten Weise von der positiven zur negativen Elektrode über.

Bei schärferer Beobachtung findet man aber, daß doch nicht die violette Entladung sich von der positiven bis ganz zur negativen Elektrode erstreckt. Vielmehr sieht man, daß die negative Elektrode mit einem bläulichen Licht umgeben ist und daß das violette Licht nur bis nahe an dieses bläuliche Licht herankommt, aber doch von diesem noch durch einen kleinen dunkeln Zwischenraum getrennt ist. Die leuchtende Entladung geht also von der positiven Elektrode aus, aber nicht ganz bis zur negativen Elektrode hin. Man nennt deshalb dieses helle, im Falle der Luft violette, bei anderen Gasen anders gefärbte Licht das *positive Licht* oder die *positive Entladung*. Den dunkeln Zwischenraum zwischen dem Ende des positiven Lichts und der Kathode nennt man den (*Faradayschen*) *Dunkelraum*.

Die negative Elektrode ist mit bläulichem Licht bedeckt. Bei genauer Beobachtung aber erkennt man, daß man an der negativen Elektrode noch mehrere Schichten zu unterscheiden hat. Unmittelbar auf der Kathode findet man nämlich in Luft eine Schicht goldgelben Lichts, welches man als *erste Kathodenschicht* bezeichnet. Das eigentliche, leicht erkennbare blaue Licht, das man als *zweite Kathodenschicht* bezeichnet, ist von der ersten Kathodenschicht durch einen kleinen dunkeln Zwischenraum getrennt, den man den *Hittorfschen Dunkelraum* nennt. Die beiden Kathodenschichten und diesen Zwischenraum zusammen bezeichnet man als *negatives Glimmlicht*. **Fig. 144** gibt schematisch

Fig. 143

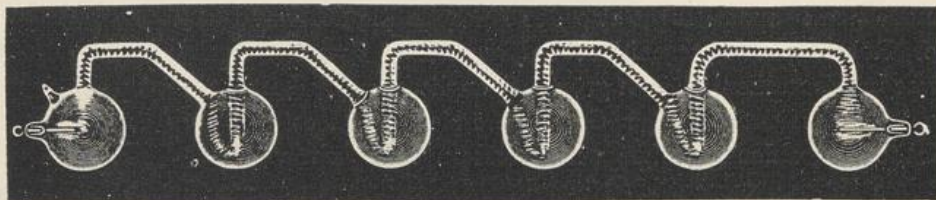
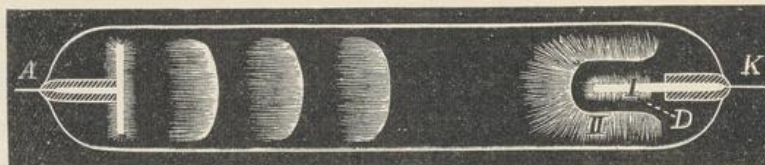


Fig. 144



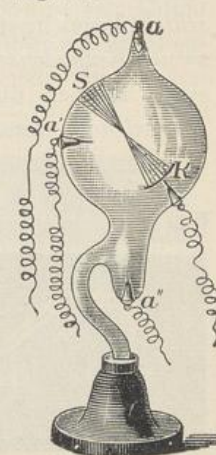
das Aussehen der Entladung in einer solchen Röhre. K ist die drahtförmige Kathode, die von der ersten Kathodenschicht I bedeckt ist; nach dem *Hittorfschen* Dunkelraum D folgt die zweite Kathodenschicht II, nach dieser der *Faradaysche* Dunkelraum und dann die positive, hier geschichtete Lichtsäule bis zur plattenförmigen Anode A.

Das Leuchten der Gase in den Geißleröhren ist im allgemeinen nur durch eine Stromquelle von hoher Spannung, wie sie der Induktionsapparat bietet, zu erzielen. Es hat sich aber gezeigt, daß einige Edelgase, insbesondere das *Neon*, schon bei der geringen Spannung von 220 Volt in geeignet gestalteten Röhren zum Leuchten kommen. Darauf beruht die *Glimmlampe*, die wir schon S. 99 angeführt haben und welche besonders wegen ihres schönen orangeroßen Lichts für Reklamezwecke angewendet wird.

Wenn man aus einer Röhre, die eine Erscheinung bietet, wie sie in Fig. 144 dargestellt ist, die Luft noch viel weiter auspumpt, also noch höhere Verdünnungen hervorbringt, etwa bis 0,01 mm oder 0,001 mm Druck, so werden die Erscheinungen andere. Zunächst werden sie weniger glänzend. Das positive Licht geht nämlich dann immer weniger weit von der Anode fort, der *Faradaysche* Dunkelraum wird immer größer. Man kann es durch genügende Evakuierung bewirken, daß das positive Licht ganz verschwindet und daß das ganze Innere der Röhre dunkel ist. Aber mit der allmählich steigenden Verdünnung beginnt, wie zuerst *Hittorf* 1869 entdeckt und dann 1879 *Crookes* nachentdeckt hatte, eine andere Erscheinung. Es zeigt sich nämlich, daß die Glaswand der Röhre da, wo sie der Kathode gegenüberliegt, hellgrün zu leuchten anfängt.

Man erklärt sich das so, und der Beweis dafür wird im folgenden geführt werden, daß von der Kathode Strahlen ausgehen, welche an sich unsichtbar sind, welche aber das Glas, auf das sie treffen, zum hellen Selbstleuchten, *Fluoreszieren*, anregen. Diese Strahlen nennt man *Kathodenstrahlen*, und Röhren, welche sie zeigen, *Hittorfsche* oder *Crookesche* Röhren. Die Kathodenstrahlen gehen immer genau senkrecht zur Kathode fort, ganz unabhängig davon, wo die Anode sich befindet. Liegt also der Kathode die Glaswand der Röhre gerade gegenüber, so fluoresziert diese, und zwar bei deutschen Gläsern grün, bei englischen (bleihaltigen) blau. Nicht bloß das Glas fluoresziert, wenn es von Kathodenstrahlen getroffen wird, sondern auch sehr viele andere Körper, namentlich Mineralien. Befestigt man etwa

Fig. 145



absichtlich in einer Röhre ein Mineral so, daß es der Kathode gegenüberliegt, so fluoresziert dieses in einer ihm eigentümlichen Farbe. Wenn man, wie in **Fig. 145**, die Kathode K hohlspiegelförmig macht, so vereinigen sich die Kathodenstrahlen, da sie immer senkrecht zur Kathode austreten, in dem Mittelpunkt des Hohlspiegels, einem *Brennpunkt*, und gehen dann auseinander und erregen die Glaswand bei S zur Fluoreszenz, wobei es ganz gleichgültig ist, ob man a oder a' oder a'' als Anode benutzt.

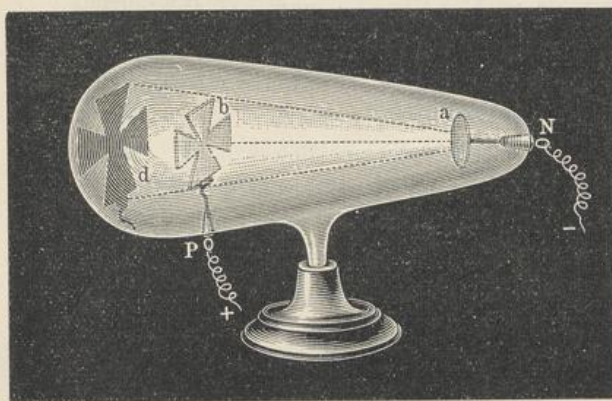
Der schärfste Beweis dafür, daß die Kathodenstrahlen sich ganz geradlinig ausbreiten, ist von Crookes durch eine Röhre, wie **Fig. 146**, geliefert worden. Dieser Apparat zeigt nämlich, daß, wenn man einen undurchlässigen Körper in den Weg der Kathodenstrahlen stellt, dieser dann einen scharfen Schatten wirft. In der Röhre ist bei b ein Metallkreuz befestigt. Bei a ist die Kathode, bei P die Anode. Die Kathodenstrahlen, die von a ausgehen, erregen die gegenüberliegende Glaswand zu heller Fluoreszenz, überall wo sie sie treffen. Wo aber die Kathodenstrahlen durch das Kreuz abgefangen sind, bleibt die Glaswand dunkel. Man sieht daher ein dunkles Kreuz d, mit ganz scharfen Rändern, auf grünem Grunde an der Glaswand.

Die Kathodenstrahlen laden jeden Körper, auf den sie fallen, negativ elektrisch, sie werden sowohl durch einen genäherten Magneten wie auch durch einen in die Nähe gebrachten elektrisch geladenen Körper von ihrer Bahn abgelenkt. Daraus und aus ihren sonstigen Eigenschaften hat man den Schluß gezogen, daß die Kathodenstrahlen aus elektrisch geladenen Körperchen bestehen, welche von der Kathode geradlinig, und zwar sehr rasch, fortfliegen. Und zwar sind diese Körperchen negativ geladen. Aus der genauen quantitativen Untersuchung dieser Erscheinungen aber hat sich weiter ergeben, daß wir in den Kathodenstrahlen die Atome der negativen Elektrizität selbst, die negativen *Elektronen*, finden, welche mit sehr großer Geschwindigkeit von der Kathode sich fortbewegen. Hier, in diesen gasverdünnten Räumen, treten

die Elektronen frei für sich auf, während sie bei der Elektrolyse, wie wir gesehen haben, immer mit den körperlichen Atomen verbunden erscheinen.

Man muß natürlich fragen: Wenn in den Kathodenstrahlen die negativen Elektronen sich bewegen, wo sind dann die *positiven Elektronen*? Denn da das Gas vor dem Durch-

Fig. 146

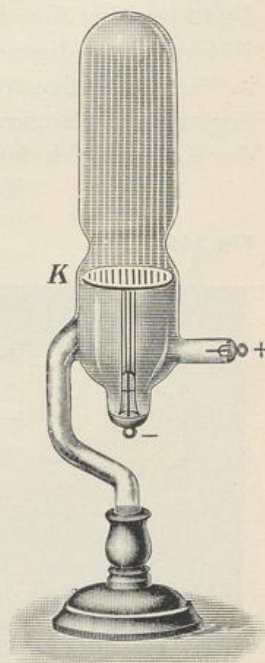


NEUNTES KAPITEL

gang des Stromes unelektrisch ist, so müssen außer den negativen auch positive Teilchen vorhanden sein. In der Tat bewegen sich in einer solchen evakuierten Röhre auch positiv geladene Teile. Während aber die negativen Teilchen von der Kathode fortfliegen, müssen umgekehrt positive Teilchen auf die Kathode zufliegen. Am einfachsten findet man daher die positiven Teilchen, wenn man die Kathode in der Mitte einer Röhre anbringt und sie mit Löchern, Kanälen verseht. Wenn dann ein Strom durch die Röhre hindurchgesendet wird und die Kathodenstrahlen von der Kathode nach der einen Seite der Röhre geradlinig ausgehen (nach derjenigen Seite, an welcher die Anode sich befindet), so findet man, daß von den Löchern aus nach der anderen Seite der Röhre sich ebenfalls leuchtende strahlenartige Gebilde ausbreiten, die von Goldstein entdeckt wurden und die man eben wegen dieser Kanäle in Deutschland *Kanalstrahlen* nennt. Im Ausland werden sie als *positive Strahlen* bezeichnet. **Fig. 147** zeigt eine solche Kanalstrahlenröhre. Man sieht in der Röhre eine scheibenförmige Elektrode K, mit Schlitzten versehen. Diese wird zur Kathode gemacht. Die Anode befindet sich rechts. Von der Kathode aus gehen dann die Kathodenstrahlen in der Röhre nach unten, in denjenigen Raum, in welchem sich die Anode befindet. Dagegen sieht man durch die Schlitzte rosa gefärbte Strahlen nach oben in die Röhre gehen. Dies sind die Kanalstrahlen. Es hat sich gezeigt, daß diese stets *positive* Ladung besitzen. Während aber die negativen Elektronen sich frei von Materie für sich bewegen können, sind die positiven Elektronen auch hier in verdünnten Gasen noch immer mit den Atomen oder Molekülen fest verbunden. Man muß deshalb besser sagen, daß in den Kanalstrahlen positive *Ionen*, nicht positive Elektronen sich bewegen.

Wenn das Vakuum einer Röhre immer größer und größer gemacht wird, wenn also die Luft aus der Röhre immer weiter ausgepumpt wird, so braucht man immer größere Spannung an den Enden der Röhre, um Kathodenstrahlen in ihr zu erzeugen. Und man kommt dabei schließlich an eine Grenze, in welcher mit unseren Mitteln direkt keine Entladung mehr durch die Röhre geht. Hier aber hilft ein anderer Vorgang. Wenn man nämlich die Kathode einer Röhre stark erhitzt, bis auf Weißglut, so fliegen von dieser Kathode aus negative Elektronen von selbst in die Röhre hinein, auch wenn diese auf das äußerste evakuiert ist. Und wenn der Kathode eine positiv geladene Anode gegenübersteht, so bekommen diese Elektronen auch große Geschwindigkeiten, so daß sie wie Kathodenstrahlen wirken. Man nennt die Erscheinung, daß von erhitzten Kathoden negative Teilchen fortfliegen, *Elektronenemission* und bezeichnet

Fig. 147



die Lehre von dieser als *Thermionik* und hat von dieser Erscheinung eine Anzahl höchst wichtiger Anwendungen gemacht, von denen wir sprechen werden.

Außer den Kathodenstrahlen und den Kanalstrahlen tritt aber in evakuierten Röhren noch eine dritte Art von Strahlen auf, welche *Röntgen* 1896 entdeckte und die wichtige praktische Anwendungen zeitigte. Röntgen fand nämlich, daß von derjenigen Stelle des Glases einer Hittorfschen Röhre, welche von den Kathodenstrahlen getroffen und zur Fluoreszenz erregt wurde, daß von dieser Stelle neue Strahlen in die Luft ausgehen. Diese wirken nämlich auf photographische Platten, die außerhalb der Röhre sich befinden, und sie erregen fluoreszenzfähige Körper außerhalb der Röhre zum Leuchten (Fluoreszieren). Umhüllt man also eine Hittorfsche Röhre mit einem schwarzen Karton oder mit schwarzem Tuch und bringt man in die Nähe der von den Kathodenstrahlen getroffenen Stelle des Glases einen Papierkarton, der mit Bariumplatinzyanür, einem stark fluoreszierenden Körper, bestrichen ist, so findet man, daß dieser hellgrünlich aufleuchtet. Bringt man ebenso in die Nähe eine photographische Platte, so wird diese belichtet. Denn wenn man sie in gewöhnlicher Weise entwickelt, so zeigt sie sich vollkommen geschwärzt.

Diese Strahlen, die *Röntgenstrahlen*, gehen von derjenigen Stelle aus, welche von den Kathodenstrahlen getroffen ist, sei es von dem Glas der Röhre oder von irgend einem innerhalb der Röhre eingeschmolzenen Körper, den man so angebracht hat, daß ihn die Kathodenstrahlen treffen.

Die wichtigste Eigenschaft dieser Strahlen ist die, daß sie eine sehr große Durchdringungsfähigkeit für die verschiedensten Körper besitzen. Sie gehen durch die meisten nichtmetallischen Körper leicht hindurch, durch die gewöhnliches Licht nicht hindurchdringt. Insbesondere ist das Holz für diese Strahlen sehr leicht durchlässig. Sie passieren das Holz ebenso leicht wie die gewöhnlichen Lichtstrahlen das Glas. Daraus folgt, daß, wenn man eine photographische Platte durch sie belichten lassen will, man diese Platte ruhig in eine Holzkassette eingeschlossen ihnen exponieren darf. Ebenso wie das Holz sind aber auch andere undurchsichtige Körper, Ebonit, Kautschuk, Wachs, Kork, Kohle, Graphit, leicht durchlässig, ja auch Aluminium gestattet diesen Strahlen ganz ebenso leicht den Durchgang wie Glas. Die schweren Metalle sind viel undurchlässiger, aber auch nicht vollständig. Auch durch Eisen, Silber, Gold, Kupfer in dünnen Schichten gehen die Strahlen. Blei ist am allerwenigsten durchgängig. Überhaupt läßt sich in erster Annäherung sagen, daß ein Körper umso leichter den Röntgenstrahlen den Durchgang gestattet, je leichter er spezifisch ist, umso schwerer also, je dichter er ist. Aluminium und Glas, die ziemlich gleich dicht sind, haben die gleiche Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen, obwohl das eine für gewöhnliches Licht durchsichtig, das andere ganz undurchsichtig ist. Unterschiede in der Dichtigkeit zwischen verschiedenen Körpern geben auch Unterschiede in der Durchlässigkeit. Darauf beruht nun der Versuch, der diesen Strahlen so rasch ihre Popularität verschafft hat. Es gelingt dadurch, aus umhüllten oder verschlossenen Körpern den Inhalt zu photogra-

NEUNTES KAPITEL

phieren, wenn der Inhalt dichter ist als die Umhüllung. So kann man aus einem verschlossenen Portemonnaie das Geld, aus Holzblöcken etwa darin enthaltene Schrauben, aus der Hand die Knochen photographieren, wie letzteres in **Fig. 148** dargestellt ist, weil eben die Geldstücke weniger durchlässig sind als das Leder, die Schrauben weniger als das Holz, die Knochen und der Ring weniger als das Fleisch.

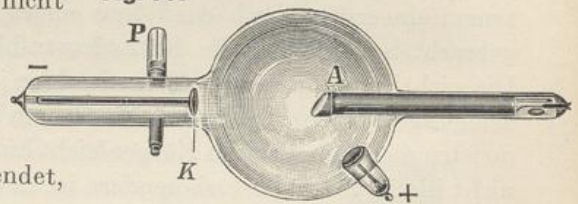
Jeder Körper, der von Kathodenstrahlen getroffen wird, ob er innerhalb der Röhre oder an der Röhrenwand sich befindet, wird an der getroffenen Stelle Ausgangsstelle von Röntgenstrahlen. Der Körper kann sichtbar fluoreszieren, wie es das Glas der Röhrenwand oder eingeschmolzene Mineralien tun, der Körper kann aber auch ein Metall sein, welches nicht fluoresziert. Allgemein bezeichnet man einen in die Röhre eingeschmolzenen Körper, welcher von den Kathodenstrahlen getroffen wird und daher Röntgenstrahlen aussendet, als die *Antikathode* der Röhre.

Um möglichst scharfe photographische oder fluoreszierende Bilder zu erhalten, muß man danach trachten, die Röntgenstrahlen möglichst von einem Punkt ausgehen zu lassen, nicht von einer ganzen Fläche. Das erzielt man einfach dadurch, daß man die Kathode der Röhre hohlspiegelartig macht, da ja die Kathodenstrahlen dann in einem Punkt, dem Mittelpunkt des Hohlspiegels, zusammentreffen. Bringt man nun ungefähr an die Stelle dieses Mittelpunktes ein Metallblech in das Innere der Röhre, so wird dieses die Antikathode, und von ihm gehen dann die Röntgenstrahlen aus. Man bezeichnet derartige Röntgenröhren als *Fokusröhren*. **Fig. 149** zeigt eine solche Röhre. Man sieht links bei K die hohlspiegelartig geformte Kathode, rechts bei A die Antikathode, eine abgeschrägte Platinfläche an einem dicken Kupferstab, die in dem Brennpunkt der Kathodenstrahlen angebracht ist. Bei + ist die Anode der Röhre, doch kann man auch die Antikathode selbst zur Anode machen. Die Platinantikathode, auf der je nach der genauen Einstellung ein kleiner oder größerer *Brennfleck* sichtbar ist, sendet von der bestrahlten Seite aus die Röntgenstrahlen durch den vor ihr liegenden Teil der Glaskugel, welche dabei schön grün fluoresziert, nach außen.

Fig. 148



Fig. 149



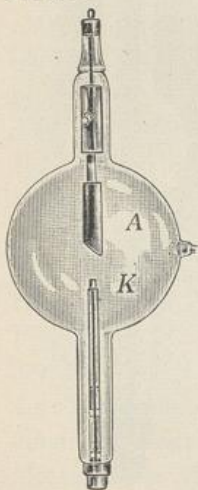
DER DURCHGANG DER ELEKTRIZITÄT DURCH GASE • DIE RÖNTGENSTRAHLEN

Je höher das Vakuum der Röhre ist, umso größer muß die Spannung sein, die an sie angelegt werden muß, um Kathodenstrahlen zu erzeugen, um so durchdringender werden aber auch die Röntgenstrahlen. Man unterscheidet die Röntgenstrahlen als *harte* und *weiche*, harte gehen durch dicke Schichten von Stoffen hindurch, weiche nur durch dünne.

Die Röntgenröhren werden aber jetzt fast ausschließlich nach dem Prinzip der *Glühkathoden* konstruiert. Bei diesen werden die Elektronen, die durch ihren Anprall auf die Antikathode die Röntgenstrahlen erzeugen sollen, durch eine glühende Kathode entwickelt. Wir haben oben S. 150 f. diese Erscheinungen der Thermionik besprochen. Durch solche *Elektronenemission* glühender Körper kann man also in einer möglichst gasfreien Röhre die genügende Zahl von Elektronen, und zwar in regulierbarer Anzahl, frei machen, damit sie beim Aufstoßen auf die Antikathode Röntgenstrahlen erzeugen. Dieses Prinzip ist zuerst von *Coolidge* in der jetzt üblichen Art angewendet worden.

Die *Glühkathodenröhre* (*Coolidge*röhre), **Fig. 150**, unterscheidet sich dem äußeren Ansehen nach wenig von einer der früher gebräuchlichen Röntgenröhren, aber sie ist eben möglichst gasfrei gemacht. Die Kathode jedoch ist besonders eingerichtet, sie besteht aus einer Heizspirale aus Wolfram, die von einer konischen Hülle aus Molybdän umgeben ist. Ihr gegenüber steht eine starke Antikathode A aus Wolfram, die bei dem Betrieb der Röhre infolge des Elektronenbombardements zu heller Gelbglut kommt. Die Kathode wird von einem regulierbaren Heizstrom geheizt. Je höher die Temperatur der Kathode wird, umso mehr Elektronen gehen von ihr aus, umso größer ist daher die Menge, also die *Intensität* der Röntgenstrahlen. Je höher die Spannung ist, die zwischen Kathode und Antikathode angelegt wird, umso rascher bewegen sich die Elektronen, umso *härter* sind die erzeugten Röntgenstrahlen. Man kann so die Stärke und die Härte der Strahlen unabhängig voneinander regulieren.

Fig. 150



Bei den Röhren für medizinische Diagnostik kommt es wesentlich darauf an, erstens sehr scharfe Bilder zu erhalten und zweitens sehr intensive Röntgenstrahlen anzuwenden, um die Expositionszeit zu verkürzen. Scharfe Bilder verlangen einen sehr kleinen Brennfleck auf der Kathode, der möglichst punktförmig wirken soll. Sehr intensive Strahlen aber, die große Energie besitzen, erhitzen die Antikathode sehr stark, so daß man intensive Wasserkühlung anwenden muß. Ein wesentlicher Fortschritt in dieser Richtung ist durch die *Mediaröhre* von C. H. F. Müller in Hamburg erzielt. Bei dieser, die durch **Fig. 151** dargestellt ist, besteht die Kathode nicht aus einer Spirale, sondern aus einem Glühfaden, der auf der nur wenig abgeschrägten Antikathode einen strichförmigen Brennfleck (*Strichfokus*) erzeugt (von 4×16 mm). In der Hauptstrahlrichtung erscheint er aber nur von der Größe 4×4 mm, so daß er

NEUNTES KAPITEL

ziemlich punktförmig, namentlich für größere Entfernungen, wirkt und doch eine starke Belastung verträgt. In der Tat kann diese Röhre mit 10 Kilowatt belastet werden (z. B. 125 Milliampere bei 80 000 Volt Spannung). Durch das oben angesetzte Wassergefäß wird die Antikathode gekühlt. Bei den Diagnostikröhren verwendet man meistens Spannungen bis etwa 80 Kilovolt und Stromstärken bis über 100 Milliampere, während bei den Röhren für die ärztliche Therapie sehr viel höhere Spannungen, bis 250 Kilovolt, angewendet werden, dafür aber die Stromstärke bedeutend geringer bleibt (4—8 Milliampere).

Die Röntgenstrahlen erlauben auch eine direkte *Durchleuchtung* des Körpers, so daß man, auch ohne Photographie, direkt das Innere desselben sehen kann. Dies beruht auf ihrer Eigenschaft, daß sie fluoreszenzfähige Körper zu sehr hellem Leuchten bringen. Man stellt Fluoreszenzschirme käuflich her, die aus einem schwarzen Karton mit aufgestrichenem Bariumplatinzyanür, einem grünlichgelben Pulver, bestehen. Diese Schirme leuchten im Dunkeln, wenn sie von der Rückseite durch den Karton hindurch von Röntgenstrahlen getroffen werden, außerordentlich hell, weiß mit einem Stich ins Grünliche. Bringt man nun zwischen die Röhre und den Schirm etwa eine Hand, so gehen

die Röntgenstrahlen durch die Knochen der Hand nur schwach hindurch, und infolgedessen wird der Schirm an diesen Stellen nicht leuchtend, während er an den Stellen, wo die Strahlen das Fleisch passiert haben, hell aufleuchtet. Daher sieht man auf dem Schirm direkt ein Schattenbild der Knochen der Hand mit bloßem Auge, also ohne jede Photographie. Nicht bloß die Knochen der Hand und des Fußes kann man auf diese Weise sofort sehen, sondern auch die des Unter- und Oberarmes, des Unter- und Oberschenkels und auch die Rippen des Brustkastens. Durch Drehen und Bewegen der Körperteile kann man die entsprechende Bewegung der Knochen direkt verfolgen. Ja, die Schirme leisten noch mehr. Man kann nämlich auch, wegen ihrer verschiedenen Durchlässigkeit, innere weiche Organe, das Herz, das Zwerchfell, den Magen, sogar die Lunge direkt mit ihnen beobachten. Ja, man kann sogar die Bewegung des Zwerchfells beim Atmen und die Bewegung des Herzens bei seiner fortwährenden Tätigkeit direkt mit bloßem Auge dabei verfolgen.

Die Erfolge, die mit dieser Methode in der Medizin täglich erzielt werden, namentlich zur Auffindung von Fremdkörpern, Kugeln,

Fig. 151

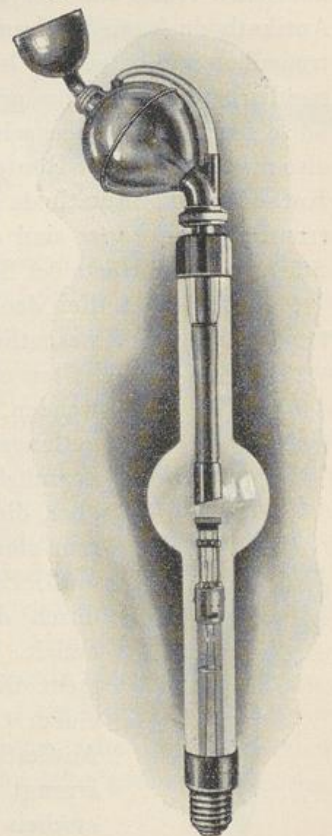
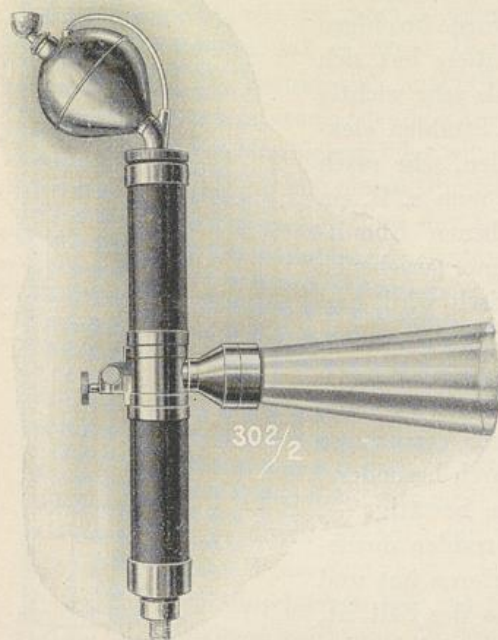


Fig. 152



Nadeln, Metallsplintern im Körper, aber auch zur Untersuchung der inneren Organe, der Größe des Herzens usw., sind unschätzbar. Unzählige in dem Kriege Verwundete konnten dadurch auf möglichst einfache Weise und mit geringsten Schmerzen, da man die Lage des Geschosses sofort erkennen konnte, geheilt werden. Aber nicht bloß für die Diagnose, sondern auch für die Bekämpfung und Heilung von Krankheiten, namentlich in der Gynäkologie, und speziell zur Heilung des Krebses, haben sich die Röntgenstrahlen wertvoll erwiesen. Allerdings sind die Röntgenstrahlen für den menschlichen Körper nicht ungefährlich, ja, bei gewissen Personen haben sie sehr schwere Krankheiten hervorgebracht, so daß jedenfalls die Röntgenstrahlen am menschlichen Körper nur von durchaus er-

fahrenen Ärzten mit Vorsicht gebraucht werden dürfen.

Bei diesen medizinischen Anwendungen ist es notwendig, daß die Ärzte und die Krankenschwestern durchaus vor den Strahlen geschützt werden; denn sie sind nicht, wie der Patient, bloß einige Minuten den Strahlen ausgesetzt, sondern dauernd, solange sie Kranke behandeln. Man hat deswegen überall Schutzmaßregeln getroffen, indem man die Röhren von dem Arzte durch Bleiplatten und Bleiglasfenster trennte. Ja man hat große Aufbauten in den Krankenhäusern gemacht, die bewirken sollten, daß von der Strahlung einer Röhre niemand getroffen werden könne als bloß der Patient und dieser bloß an der gewollten Stelle. In der einfachsten Weise ist aber diese Aufgabe durch neue Röhren der Röhrenfabrik Philips in Einthoven gelöst worden. Sie konstruiert sowohl für Durchleuchtung wie für Therapie *vollständig metallisch umschlossene Röhren*, welche überhaupt nur an einer Stelle Strahlen nach außen lassen. Eine Ansicht einer solchen Röhre für Diagnostik, von H. F. Müller A.-G. in Hamburg, der „Müller Media-Metalix“ (Lizenz Philips), gibt **Fig. 152**. Die innere Einrichtung der Röhre ist in **Fig. 153** gezeichnet. Die Strahlenerzeugung zwischen der Kathode *f* und der Antikathode geht in einem Chromeisenzylinder von 2,5 mm Stärke vor sich, der an Glas angeschmolzen ist; dieser Zylinder ist von einem Bleimantel von 5 mm Stärke umgeben und dieser endlich von einer Messinghülse von 1,5 mm Stärke. An der Stelle, an der die Strahlen austreten

NEUNTES KAPITEL

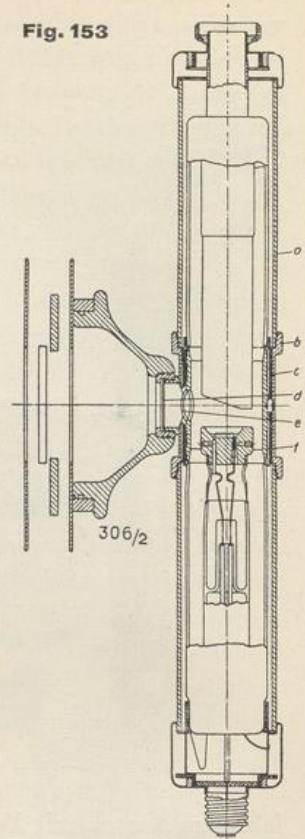
sollen, sind die äußeren Schutzschichten entfernt, und entweder ist die Wand des Chromeisenzylinders passend dünner gemacht oder dort ein Fenster eingesetzt.

Eine Eigenschaft der Röntgenstrahlen wurde im obigen noch gar nicht berührt, und gerade diese hat sich für den Fortschritt der Wissenschaft als sehr wichtig erwiesen. Sie besteht darin, daß diese Strahlen elektrisch geladene Körper, auf die sie fallen, sehr rasch entladen, unelektrisch machen. Ladet man z. B. ein Goldblattelektroskop mit einer geriebenen Ebonitstange, wodurch es negativ, oder mit einer geriebenen Glasstange, wodurch es positiv elektrisch wird, und läßt man nun Röntgenstrahlen auf dasselbe fallen, so gehen die Blättchen des Elektroskops sehr rasch zusammen, ein Beweis, daß es dadurch entladen wurde. Am einfachsten läßt sich dieser Versuch so deuten — und diese Deutung wird durch besondere, zu ihrer Prüfung angestellte Versuche bestätigt —, daß die Luft, die von den Röntgenstrahlen durchstrahlt ist, ihr Isolationsvermögen verloren hat und selbst leitend geworden ist. Wenn das der Fall ist, wenn die Luft leitend ist, so kann natürlich eine Ladung auf einem Körper nicht bestehen bleiben, sondern sie muß abgeleitet werden auf die Umgebung und schließlich auf die Erde, so daß dadurch der geladene Körper entladen wird. Natürlich wird die durchstrahlte Luft nicht etwa ein so guter Leiter wie Kupfer oder auch nur wie eine Salzlösung, die Leitungsfähigkeit ist noch außerordentlich gering, aber sie genügt doch, um die geladenen Körper, die Spannungen von einigen hundert oder tausend Volt gegen die Erde haben, sehr rasch zu entladen. Man nimmt auf Grund besonderer Erfahrungen an, daß durch die Strahlen die Moleküle der Luft in ihre Ionen zerspalten werden, so daß nun freie positive und negative Ionen in der durchstrahlten Luft enthalten sind, welche dann die Ladung des Goldblattelektroskops neutralisieren. Man sagt deshalb auch, die Luft werde durch die Röntgenstrahlen *ionisiert*.

Wenn Röntgenstrahlen auf einen Körper treffen, so wird dieser Körper Ausgangsstelle von neuen solchen Strahlen, die man als *sekundäre Röntgenstrahlen* bezeichnet. Diese sind immer weicher, also leichter absorbierbar als die sie erzeugenden Strahlen.

Über das Wesen der Röntgenstrahlen, ob sie wie die Lichtstrahlen auf einer Wellenbewegung des Äthers oder wie die Kathodenstrahlen auf einer Massenbewegung beruhen, ob sie also eine *Ätherstrahlung* oder eine *Elektronenstrahlung* darstellen, darüber hat man durch Experimente eine Entscheidung treffen

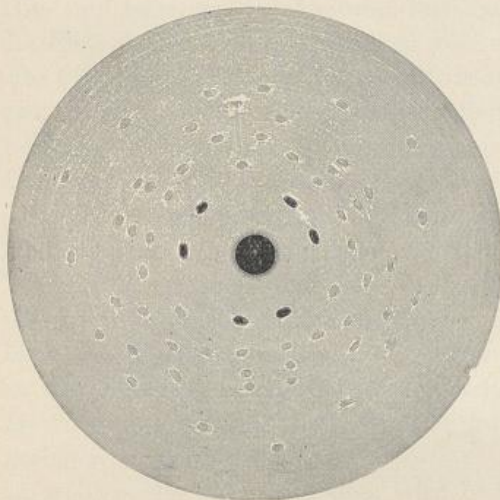
Fig. 153



können. Man kann nämlich direkt beweisen, daß die Röntgenstrahlen eine Wellenbewegung des Äthers sind, also sich wie die Lichtstrahlen verhalten. Daß das Licht eine Wellenbewegung ist, wird nämlich streng dadurch bewiesen, daß es sich nicht, wie der erste Anschein glauben macht, durchaus geradlinig fortpflanzt, sondern daß es, wenn Hindernisse sich ihm entgegenstellen, um diese Hindernisse herum sich ausbreitet, ebenso wie sich die Wasserwellen eines Teiches, wenn ihnen Steinblöcke oder Schiffe im Weg stehen, um diese Hindernisse herum umbiegen, oder wie die Schallwellen um Ecken herumgehen und um Ecken herum von einem Ohr gehört werden. Nur sind natürlich, wegen der außerordentlichen Kleinheit der Lichtwellen, auch bloß sehr kleine, sehr wenig ausgedehnte Hindernisse imstande, das Licht stark von seiner sonst geradlinigen Ausbreitung abzubiegen. In der Tat, wenn man Licht durch ein System von regelmäßig angeordneten, sehr engen Spalten, ein sogenanntes *Beugungsgitter*, gehen läßt, so beobachtet man, daß man das Licht sehr stark von seiner geradlinigen Bahn abbeugen kann; man erhält ganz weit seitlich von dem einfallenden Lichtstrahl noch starke Lichtwirkungen.

Die Natur bietet uns nun in den *Kristallen*, in denen ja die Atome regelmäßig angeordnet sind, Gitter von außerordentlicher Feinheit. Und in der Tat zeigt es sich, daß man durch sie auch mit den Röntgenstrahlen starke Beugungswirkungen erhält. Wenn man ein schmales Bündel Röntgenstrahlen durch eine Kristallplatte hindurchgehen läßt, so zeigen sich auch weitab von der geradlinigen Fortpflanzungsrichtung Wirkungen, die eben auf der Beugung der Strahlen beruhen. In **Fig. 154** ist ein solches Beugungsbild bei Röntgenstrahlen abgebildet. Als Kristall diente Zinkblende, durch welche ein schmales Bündel Röntgenstrahlen hindurchgesendet wurde, das nach dem Durchgang durch den Kristall auf eine photographische Platte fiel. Man sieht in der Mitte der Figur

Fig. 154



den direkten Durchstoßungspunkt des Röntgenstrahlbündels als scharfen schwarzen Fleck. Aber man sieht weiter rings um diesen mittleren Fleck in wunderbarer Schärfe und Regelmäßigkeit noch weitere schwarze Flecke, welche eben den abgelenkten, den von der geraden Bahn abgelenkten Strahlen entsprechen. Dabei zeigen diese Flecke eine ganz symmetrische Anordnung, die ganz genau der Symmetrie entspricht, welche der Kristall um die Richtung der Röntgenstrahlen herum besitzt.

Aus solchen Beugungserscheinungen

NEUNTES KAPITEL

nungen kann man berechnen, daß die bei der obigen Figur benutzten Röntgenstrahlen Wellenlängen haben, die zwischen 0,3 und 1,5 AE (Ångströmeinheiten) liegen, wobei 1 AE gleich dem zehnmillionsten Teil eines Millimeters ist¹.

Wenn wir oben harte und weiche Röntgenstrahlen unterschieden haben, so können wir jetzt genauer sagen, die Röntgenstrahlen verschiedener Härte unterscheiden sich durch ihre Wellenlänge. Je kleiner ihre Wellenlänge ist, umso größer ist ihre Härte.

Nach der neuesten Entwicklung der Physik ist übrigens ein scharfer Unterschied zwischen Korpuskularstrahlung und Wellenstrahlung nicht vorhanden, vielmehr ist jede Korpuskularstrahlung mit Wellen, jede Wellenstrahlung mit Korpuskeln verbunden.

¹ Ausführliches darüber siehe L. Graetz, Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwicklung. 5. Aufl. Stuttgart, J. Engelhorn, 1925.

TELEGRAPHIE UND TELEPHONIE AUF DRÄHTEN

Weitaus die wichtigste Anwendung, welche die elektromagnetischen Wirkungen des Stromes erfahren haben, ist diejenige zur raschen Übertragung von Nachrichten auf weite Entfernungen, also zur *Telegraphie* und *Telephonie*. Das Geburtsjahr der Telegraphie ist 1833, das der Telephonie 1861 resp. 1877.

Nach vielen mehr oder weniger unbrauchbaren Vorschlägen waren es zum ersten Male zwei deutsche Professoren, *Gauß* und *Weber*, welche in Göttingen 1833 telegraphisch miteinander verkehrten, ein Beweis, daß die so häufig als unpraktisch verlachten Professoren doch hie und da recht praktische Dinge erfinden können. Sie verbanden das magnetische Observatorium und das physikalische Kabinett miteinander durch zwei Drähte, die zusammen etwa 300 m lang waren, und konnten sich auf dieser Leitung elektromagnetisch dadurch verständigen, daß der eine einen Magneten in eine Rolle hineinsteckte oder aus ihr herauszog, welche mit der Drahtleitung in Verbindung war. Dadurch entstanden jedesmal kurz dauernde Induktionsströme nach der einen und nach der anderen Richtung, und auf der Empfangsstation wurde durch diese Ströme die Magnetnadel eines Galvanometers, welches mit der Drahtleitung verbunden war, nach der einen oder anderen Seite abgelenkt. Durch zweckmäßige Kombination der Ausschläge nach rechts oder links konnten sie so eine große Anzahl Zeichen bilden. Als *Steinheil* in München Versuche mit diesem Telegraphen zwischen Nürnberg und Fürth machte, kam er zufällig auf die Beobachtung, daß es gar nicht nötig sei, die beiden Stationen durch *zwei* Drähte, einen zur Hin- und einen zur Rückleitung, miteinander zu verbinden, sondern daß man die *Erde* als Rückleitung benutzen könne. Man braucht von jeder Station nur eine Platte in die Erde zu führen und sie dort einzugraben, dann fließt der Strom zwischen den beiden Stationen durch die Erde hindurch, welche ja ebenfalls ein Leiter des Stromes ist. Es ist dann also nur ein einziger Draht zwischen beiden Stationen nötig. Die Anschauung, wie sie *Steinheil* von der *Erdleitung* hatte, daß die Erde eben direkt den Strom zurückleitet, ist nicht richtig. Vielmehr fließen die Ströme in die Erde und verbreiten sich in ihr auf unregelmäßigen Wegen und treten aus der Erde da wieder hinaus, wo sie eine Leitung finden, die zur Stromquelle zurückführt. Aber die von *Steinheil* entdeckte Tatsache bleibt deswegen ungeändert, und durch sie konnte die Telegraphie sich so rasch zu einem allgemein gebrauchten Verkehrsmittel erheben, weil durch die Ersparung der einen Hälfte der Drahtleitung natürlich auch die Kosten erheblich geringer wurden.

In weitaus den meisten Fällen wird heute in allen Ländern mit dem Morse-

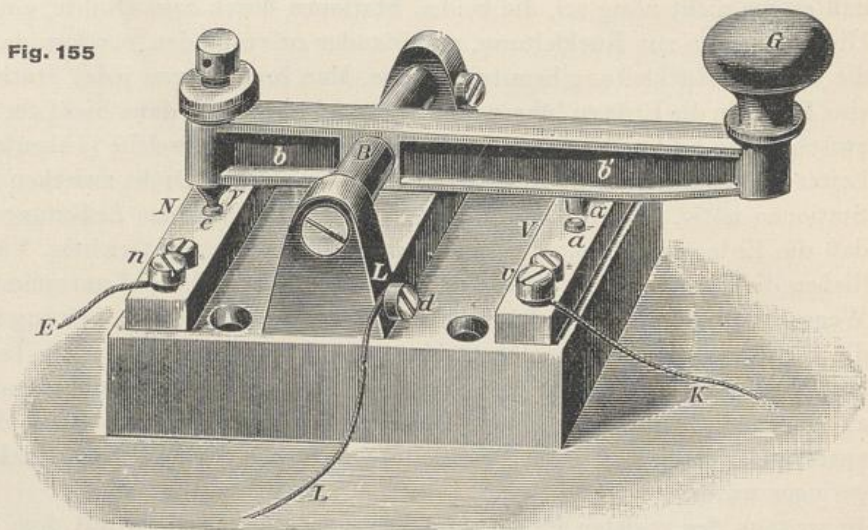
ZEHNTES KAPITEL

schen Schreibtelegraphen und dem Hughesschen Typendrucktelegraphen telegraphiert, nur die ganz großen Stationen benutzen noch andere Telegraphen. Wir wollen uns hier nur mit dem Morseschen Telegraphen beschäftigen.

Bei dem *Morsesystem* werden die Zeichen durch kürzeres oder längeres Schließen eines Stromes gegeben, der durch die beiden verbundenen Stationen hindurchfließt. In der Aufgabestation steht eine Batterie, die den Strom liefert, der durch die Drahtleitung in die entfernte Station fließt, und ferner ist an der Aufgabestation ein Apparat vorhanden, durch welchen der Strom dieser Batterie beliebig geöffnet und geschlossen werden kann, ein sogenannter *Taster* oder *Morse-schlüssel*. Der Strom fließt dann von der Aufgabestation in die entfernte Station. Dort erregt er einen Elektromagneten, der dadurch seinen Anker anzieht. Die Bewegung dieses Ankers wird nun dazu benutzt, auf einem abrollenden Papierstreifen längere oder kürzere Zeichen einzudrücken oder einzuschreiben.

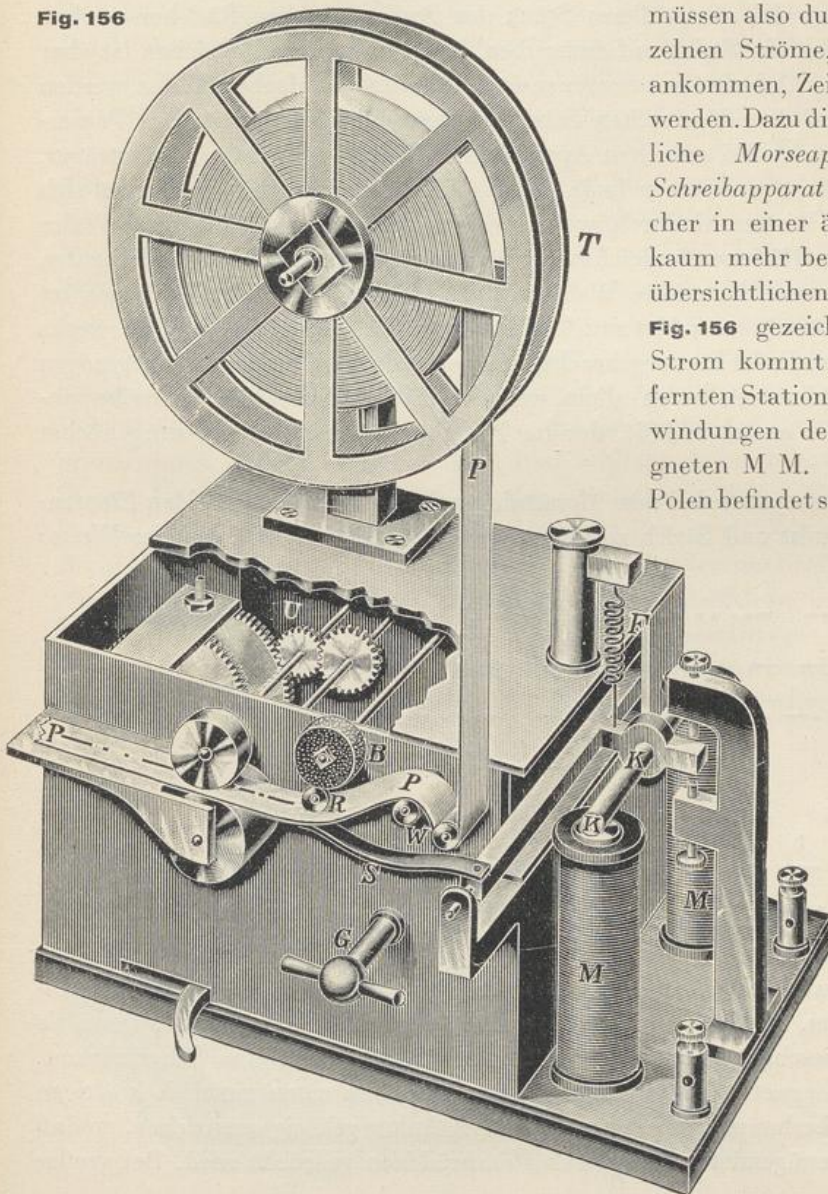
Der Taster zunächst ist ein sehr einfacher Apparat. Er ist in **Fig. 155** abgebildet. Ein metallischer Hebel $b\ b'$ kann um seine Achse B gedreht werden, indem er durch den Knopf G niedergedrückt oder losgelassen wird. Ist er losgelassen, wie in der Figur, so ruht er mit seinem Ende γ auf einem Metallknopf c , der auf einer Metallschiene sitzt, während sein anderes Ende α frei in der Luft sich befindet. Wird er dagegen heruntergedrückt, so berührt der Stift α den Knopf a , der ebenfalls auf einer Metallschiene sitzt, und γ ist von c getrennt. Der Leitungsdraht L zwischen beiden Stationen ist nun bei d an der Achse befestigt, während die vordere Schiene V bei v mit dem einen Pol K einer Batterie verbunden ist. Die hintere Schiene N ist bei n mit der Erde E verbunden. Der andere Pol der Batterie ist auch zur Erde abgeleitet. In jeder der beiden Stationen befindet sich ein solcher Schlüssel und ein Telegraphenapparat. Jeder dieser beiden Telegraphenapparate wird zwischen n und die Erde geschaltet.

Fig. 155



Steht der Schlüssel in der Aufgabestation in der gezeichneten Position, so fließt kein Strom von ihm durch die Leitung, denn bei a ist der Strom unterbrochen. Wird dagegen der Schlüssel heruntergedrückt, so geht der Strom von dem einen Pol K des Elements durch v, a, α , b', B, d in die Leitung L und kommt dadurch in die zweite Station an den dortigen Schlüssel, und zwar an das d desselben. Der dortige Schlüssel ist aber nicht heruntergedrückt, sondern in der gezeichneten Lage. Folglich geht der Strom dort durch d, B, γ , c, n zum dortigen Telegraphenapparat und von diesem zur Erde.

Fig. 156



An der Empfangsstation müssen also durch diese einzelnen Ströme, welche dort ankommen, Zeichen gegeben werden. Dazu dient der eigentliche *Morseapparat* (auch *Schreibapparat* genannt), welcher in einer älteren, heute kaum mehr benutzten, aber übersichtlichen Form in **Fig. 156** gezeichnet ist. Der Strom kommt von der entfernten Station in die Drahtwindungen des Elektromagneten M M. Über dessen Polen befindet sich der eiserne

ZEHNTES KAPITEL

Anker K K, der an einer Feder F befestigt ist. Bei jeder Abwärtsbewegung des Ankers wird ein mit ihm hebelartig verbundener Arm S in die Höhe gehoben und drückt einen Papierstreifen P P P, der sich an ihm vorbeibewegt, gegen ein kleines Rädchen R, dessen Rand immer blau gefärbt ist, da es bei seiner Drehung immer von der mit blaugetränktem Filz bekleideten Rolle B Farbe aufnimmt. (Bei einer etwas anderen Konstruktion wird umgekehrt das Rädchen gegen das Papier gedrückt.) Ist der Strom nur ganz kurz, so wird der Magnet nur momentan erregt, der Anker also nur momentan angezogen: dann macht das Rädchen einen Punkt auf den Papierstreifen. Dauert der Strom etwas längere Zeit, so bewegt sich ein größeres Stück des Papiers an dem Rädchen vorbei, und es erscheint ein Strich auf demselben. Aus Punkten und Strichen ist aber das Morsesche Alphabet zusammengesetzt. In dieser einfachen Weise werden die Zeichen bei dem Morseschen Schreibapparat hervorgebracht. Das Papierband befindet sich bei manchen Apparaten aufgerollt auf einem Papierträger, bei anderen liegt es in einer Lade am Boden des Apparates. Es bewegt sich zwischen zwei Walzen hindurch, welche aufeinander aufliegen. Die obere Walze wird durch ein Räderwerk gleichmäßig bewegt und nimmt durch Reibung den Papierstreifen und die untere Walze mit. Das Räderwerk U befindet sich im Inneren des Kästchens und ist zum Teil zu sehen. Die Bewegung des Räderwerks wird durch eine Feder hervorgebracht, welche durch den Schlüssel G aufgezogen wird. Das Räderwerk ist es allein, welches diesen Morseschen Schreibapparat kompliziert aussehen läßt, der im Prinzip und in der Benutzung höchst einfach ist.

Das Buchstabensystem bei dem Morsetelegraphen wird aus den beiden Elementarzeichen Punkt und Strich zusammengesetzt, und zwar in folgender Weise:

a	ä	b	c	d	e	f	g	h	i
· —	· · —	— · ·	· — ·	— · ·	· · ·	· · ·	— · ·	· · ·	· · ·
j	k	l	m	n	o	ö	p		
· — ·	· · —	· — ·	— · ·	· — ·	· · —	· · —	· · —	· · —	· · —
q	r	s	t	u	ü	v	w	x	
— · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·
	y	z	ch						
— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·
1	2	3	4	5	6				
· — ·	· · —	· — ·	· · —	· · —	· · —	· · —	· · —	· · —	· · —
7	8	9	0						
— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·	— · ·

Außer diesen Zeichen sind noch eine große Zahl einzelner Dienstzeichen international verabredet.

Wenn nun zwei Stationen je einen Taster, eine Batterie und einen Schreibapparat haben, so können sie miteinander telegraphisch verkehren, wenn sie nur die Morseschrift kennen. Indes zeigte sich hier bald eine Schwierigkeit. Die Elektromagnete des Schreibapparates brauchen einen ziemlich kräftigen Strom, um überhaupt imstande zu sein, den Anker gehörig anzuziehen, so daß das Papier genügend stark gegen das Farbrädchen gedrückt wird. Bei großer

Entfernung der beiden Stationen ist aber der Widerstand der Drahtleitung so groß, daß man schon eine sehr große Batterie von galvanischen Elementen anwenden müßte, um den Elektromagneten der entfernten Station kräftig zu erregen.

Deshalb hat *Wheatstone* zuerst ein sehr sinnreiches Mittel angegeben, welches diese Schwierigkeit beseitigt. Man läßt nämlich den Strom, der durch die ganze Leitung fließt, nicht direkt den Elektromagneten des entfernten Morseapparates erregen, sondern erregt vielmehr durch ihn einen anderen Magneten auf der Empfangsstation, dessen Anker nur eine ganz geringe Bewegung zu machen braucht, um einen besonderen Strom zu schließen, welcher dann seinerseits den Morseapparat in Tätigkeit bringt. Einen solchen Apparat nennt man ein *Relais* (Vorspann). In **Fig. 157** ist die Abbildung eines solchen gegeben. Der Elektromagnet *M M* desselben, der mit sehr vielen Umwindungen, 7000 bis 10 000, eines dünnen Drahtes umgeben ist, wird von dem Strom, der von der entfernten Station kommt, erregt, auch wenn dieser sehr schwach ist (da es auf die Zahl der Amperewindungen [oben S. 38] ankommt), und zieht dadurch den Anker *A* ein wenig an. Der Anker *A* aber ist an einem langen Hebel *B B'* befestigt, der sich um eine von dem Ständer *C* getragene Achse drehen kann und dessen Ende *B* sich mit kleinem Spielraum zwischen zwei Spitzen bewegen kann, die durch die Schrauben *D* und *D'* in passendem Abstand eingestellt werden können. Durch die geringste Anziehung des Ankers aber wird das Hebelende *B* an die untere Spitze gedrückt, die aus Metall ist (während die obere Spitze durch Elfenbein isoliert ist), und schließt dadurch einen besonderen Strom. Es wird nämlich an der Empfangsstation ein Strom einer besonderen Batterie bei *x* eingeleitet, geht durch die Säule *E* und die Spitze *D'* und, wenn *B* auf *D'* aufliegt, durch *B B'* und die Säule *S* zur Klemmschraube *y* und dann durch den Morseapparat und zur Batterie zurück. Auf diese Weise erregt der Strom von der entfernten Station gar nicht den Morseapparat selbst, sondern stellt bloß einen Kontakt her, durch den eine besondere Batterie den Morsemagneten erregt. Hört der Strom in der Leitung (der *Linienstrom*) auf, so wird

Fig. 157

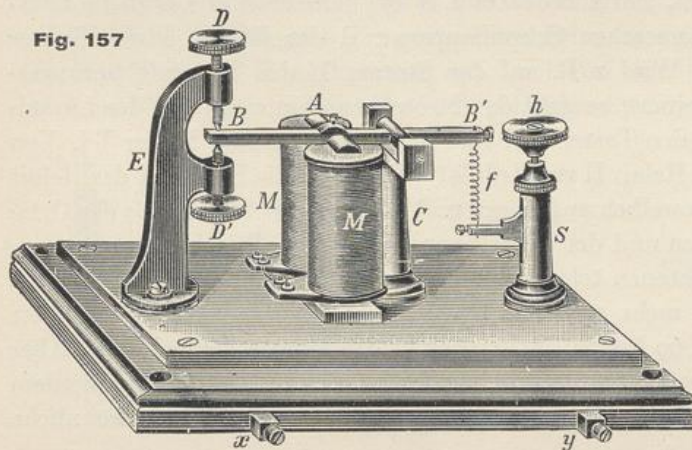
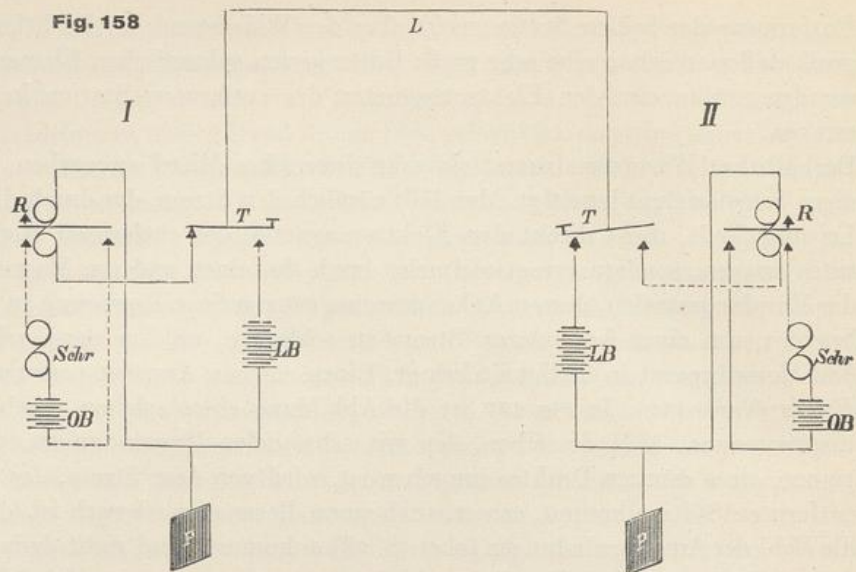


Fig. 158



der Hebel B B' durch eine Feder f von D' abgehoben und gegen den isolierten Ruhekontakt D gedrückt. Die Spannung der Feder f kann durch die Schraube h passend reguliert werden und dadurch auch der Abstand des Ankers A von den Magnetpolen. Durch diese Einrichtung des Relais ist also die große Schwierigkeit, die das Telegraphieren auf weite Entfernungen hat, beseitigt. Die schwächsten Ströme genügen schon, um den Anker des Relais in eine geringe Bewegung zu bringen, und eine ganz geringe Verschiebung desselben genügt schon, um den Strom einer Batterie zu schließen, die den Morseapparat in Tätigkeit bringt.

Bei der Anwendung eines Relais muß aber jede Station zwei verschiedene Batterien haben, eine für den Strom nach der anderen Station, die sogenannte *Linienbatterie*, und eine für den eigenen Morseapparat, die *Ortsbatterie*. Wie zwei Stationen mit diesen Apparaten eingerichtet und verbunden sein müssen, ist aus Fig. 158 zu ersehen. Darin bedeutet LB die Linienbatterie, OB die Ortsbatterie, Schr den Morseschen Schreibapparat, R das Relais, T den Taster und P die Erdplatte. Wird z. B. auf der Station II der Taster T heruntergedrückt, also telegraphiert, so geht der Strom von dem einen Pol der Linienbatterie LB II durch den Taster T II und die Leitung L zum Taster T I. Von diesem geht er um das Relais R zur Erdplatte P. Durch die Erregung des Relais wird aber der Anker desselben angezogen und dadurch der Stromkreis der Ortsbatterie OB geschlossen und der Schreibapparat Schr in Tätigkeit versetzt.

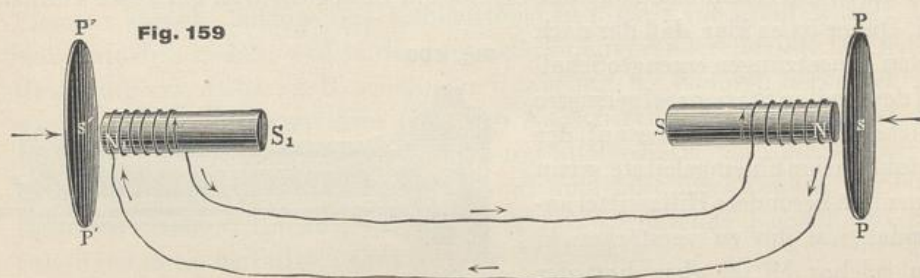
Für den enorm gewachsenen telegraphischen Verkehr reicht der Morseapparat im allgemeinen nicht mehr aus. Mit einem Morseapparat kann ein geübter Telegraphist ungefähr 60 bis 70 Buchstaben in der Minute depeschieren. Aber für die Verbindung großer Städte miteinander ist dies zuwenig, und außerdem wird dabei zuviel Zeit mit der Übertragung der Morseschrift in gewöhnliche

Schrift verbraucht. Für diese Zwecke hat zuerst Hughes einen *Typendrucktelegraphen* hergestellt, der seit 1868 auf allen großen Ämtern im Gebrauch ist. Mit ihm kann man 125 Buchstaben in der Minute depeschieren und gleich in lesbarer Schrift erzeugen. Noch weiter kommt man mit dem *Bandottelegraphen*, bei dem 400, ja bis 800 Buchstaben in der Minute abtelegraphiert werden können. Und bei dem *Schnelltelegraphen* von Siemens & Halske werden bis zu 1000 Buchstaben in der Minute telegraphiert. Die Einrichtung dieser Apparate kann hier nicht besprochen werden, sie sind in Spezialwerken über Telegraphie enthalten.

Die Bedeutung der Telegraphie im menschlichen Verkehr nimmt übrigens von Jahr zu Jahr durch die immer weitere Entwicklung der *Telephonie* ab.

Das *Telephon* in der Gestalt, wie es sich in wenigen Jahren einen Platz unter den wichtigsten Verkehrsmitteln der Menschheit errungen hat, ist einer der genialsten Apparate, die die Physik kennt, umso genialer, da er in überaus einfacher Weise konstruiert ist. Es war ein Deutscher, *Philipp Reiß*, der zuerst 1861 ein *Telephon* nach richtigem Prinzip herstellte, aber ein Amerikaner, *Graham Bell*, der ihm, unabhängig von Reiß, die einfache praktische Form gab, die heute jedermann bekannt ist.

Die Art und Weise, wie das Problem des Fernhörens und Fernsprechens mit den einfachsten Mitteln gelöst wurde, wird aus der schematischen **Fig. 159** klar hervorgehen. Wir erinnern nur an *Faradays* Entdeckung der *Magnetoinduktion*, welche aussagt, daß eine jede Veränderung in der Lage und Stärke eines Magneten einen Induktionsstrom in einem in der Nähe befindlichen Drahtkreise erzeugt. Diese Wirkung geht nun bis zu den allerkleinsten Veränderungen, bis zu den kleinen Veränderungen, die in der Lage einer magnetischen Eisenplatte gegenüber einer Drahtrolle eintreten, wenn diese Platte in Schallschwingungen versetzt ist. In der Figur sind zwei Stahlmagnete *N S* und *N₁ S₁* gezeichnet, die an ihren Nordpolen *N* und *N₁* mit einem Draht umwickelt sind, der die beiden Magnete miteinander verbindet. Vor jedem Nordpol steht in der Nähe eine dünne Platte aus weichem Eisen, die man sich an den Rändern befestigt denken muß. In diesen Platten wird durch die Wirkung der Magnete je ein Südpol *s* und *s'* auf der den Magneten zugewendeten Seite erzeugt. Drückt man nun die eine Eisenplatte, z. B. *s*, ein wenig mit der Hand ein, so wird der Südpol dadurch dem Magneten und der diesen umgebenden Spule genähert. Infolgedessen



ZEHNTES KAPITEL

entsteht in dieser Spule ein Induktionsstrom, welcher sich durch den Draht zu dem anderen Nordpol N_1 fortpflanzt und diesen, da er umgekehrt wie der Zeiger einer Uhr um ihn fließt, verstärkt. Dadurch wird aber nun die Platte s' , infolge der stärkeren Wirkung des Nordpols N_1 , ein wenig an N_1 angezogen. Im Moment also, wo man s ein wenig gegen N herandrückt, wird s' ein wenig gegen N_1 herangezogen. Hätte man s ein wenig von N entfernt, so würde auch s' sich sofort von N_1 entfernen. Einer jeden noch so kleinen Bewegung von s entspricht also eine ebensolche Bewegung von s' . Wenn man nun gegen die Platte s spricht, so wird diese dadurch in sehr kleine Bewegungen, in sehr kleine Schwingungen versetzt. Jede Schwingung erzeugt einen Induktionsstrom und daher dieselbe Schwingung an der Platte s' . Diese Schwingungen der Platte s' teilen sich dann der Luft mit, und so hört man in s' das, was in s hineingesprochen wird.

Ganz genau nach diesem Schema ist das Telephon in der Tat eingerichtet. Statt eines Magnetstabes wird bei ihm häufig ein Hufeisenmagnet angewendet. Die innere Einrichtung eines solchen Telephons zeigt **Fig. 160**. Man sieht in einem Holzgehäuse einen Hufeisenmagneten a a liegen. Die Pole desselben sind mit eisernen Ansätzen, sogenannten *Polschuhen*, b b versehen, die ganz eng aneinander stehen und mit je einer Drahtspule umwickelt sind. Diese sind miteinander passend verbunden, so daß die in ihnen erzeugten Ströme zusammenwirken. Der Hufeisenmagnet ist unten an einer feinen Schraube d befestigt, durch welche er der Eisenplatte, die in dem Holzgehäuse bei M am Rande rings befestigt ist, genähert oder von ihr entfernt werden kann, damit man die möglichst größte Wirkung erhält. Die Eisenplatte bildet den Abschluß eines Hörtrichters des Telephons, welchen man direkt an das Ohr legt. Eine andere bequeme Form des Telephons zeigt **Fig. 161**, bei der im Innern, wie **Fig. 162** zeigt, ein halbrunder Hufeisenmagnet mit zwei umwickelten Polen enthalten ist.

Das Telephon gibt die Sprache deutlich und auch im allgemeinen in der richtigen Klangfarbe wieder, aber die *Stärke* des an der Empfangsstation wiedergegebenen Tones muß notwendigerweise viel geringer sein als die Stärke des an der Aufgabestation hineingesprochenen. Die Bewegungsenergie der Luftteilchen, welche in Schwingungen versetzt sind, muß sich ja zuerst der ersten Eisenplatte mitteilen, wodurch schon ein großer Teil von ihr verloren geht. Durch die Umsetzung dieser Bewegung in elektrischen Strom geht wieder ein Teil verloren, und durch die Rückumsetzung des Stromes in Bewegung tritt ein neuer Verlust ein. Daher ist es klar, daß der nach vielen Umsetzungen erzeugte Schall auf der zweiten Station viel geringere Stärke haben muß als der auf der ersten Station hineingeleitete, wenn man nicht besondere Hilfsmittel anwendet, um ihn zu verstärken. Ein solches Mittel aber hat der

Fig. 160

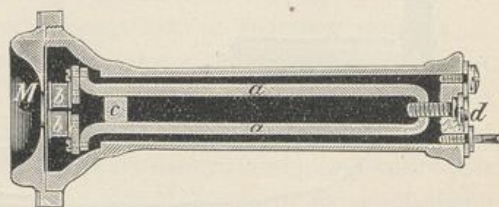


Fig. 161

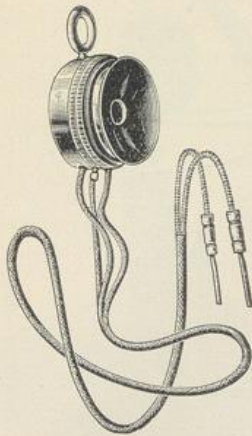
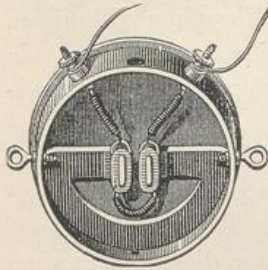
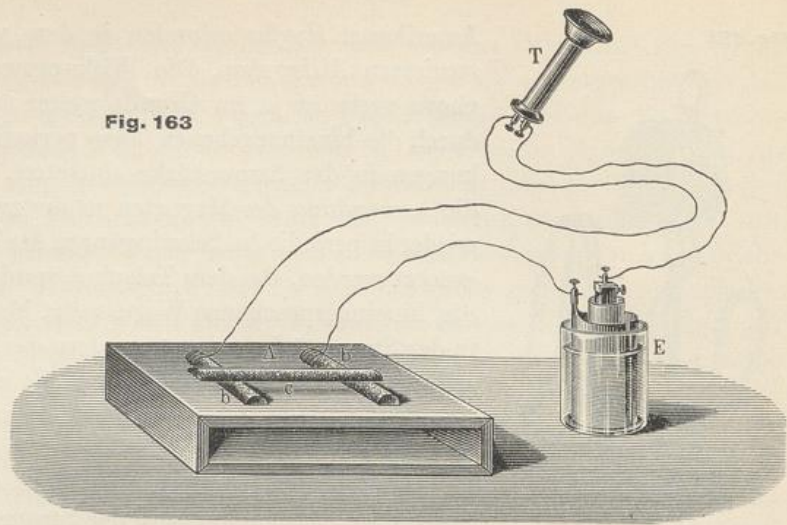


Fig. 162



durchgeht, in engere und weniger enge Berührung miteinander zu bringen und so den Übergangswiderstand derselben und dadurch die Stromstärke in dem Stromkreis in erhebliche Schwankungen zu versetzen. Man kann sehr leicht zeigen, daß man durch ganz geringe Veränderungen des Druckes zweier Kohlen aufeinander sehr erhebliche Stromschwankungen bekommt und daß man dadurch ein Telefon zum lauten Tönen bringen kann. In **Fig. 163** ist eine Vorrichtung dazu abgebildet. Von einem Element E geht ein Strom durch eine Kohle b, dann durch die leise daraufgelegte Kohle c zu der anderen Kohle b, durchläuft dann die Windungen des Telephons und kommt zum Element zurück. Solange das Kohlenstäbchen c ganz ruhig auf b liegt, hört man natürlich nichts, weil ja die Stromstärke unverändert bleibt. Die leiseste Bewegung von c aber, z. B. schon eine Bewegung, die dadurch hervorgebracht wird, daß eine Fliege auf dem Kästchen A spazieren geht, bringt sofort ganz erhebliche Stromschwankungen hervor, und infolgedessen wird der Magnet des Telephons verstärkt und geschwächt, und man hört im Telefon ein lautes Geräusch. Diesen Apparat, ein Paar lose sich berührende Kohlen, auf einer Schallmembran befestigt, nennt man ein *Mikrophon*.

Fig. 163



Hier hat man also ein einfaches Mittel, um in einem Telephon ganz erhebliche Stromschwankungen hervorzubringen. Daß aber das Mikrophon allmählich so vollkommen entwickelt wurde, daß es die Sprache sehr deutlich und rein in Stromschwankungen umsetzt, ohne störende Nebengeräusche, ist eine wirkliche Glanzleistung der Technik.

Je mehr bewegliche Berührungspunkte zwischen den Kohlen vorhanden sind, desto größer sind die Stromschwankungen, die man durch das Sprechen erzeugen kann, und desto lauter wird also der übertragene Ton sein, resp. auf desto größere Entfernungen wird man sprechen können. Von diesem Gedanken ausgehend, konstruiert man jetzt hauptsächlich die Mikrophone so, daß sie

Fig. 164

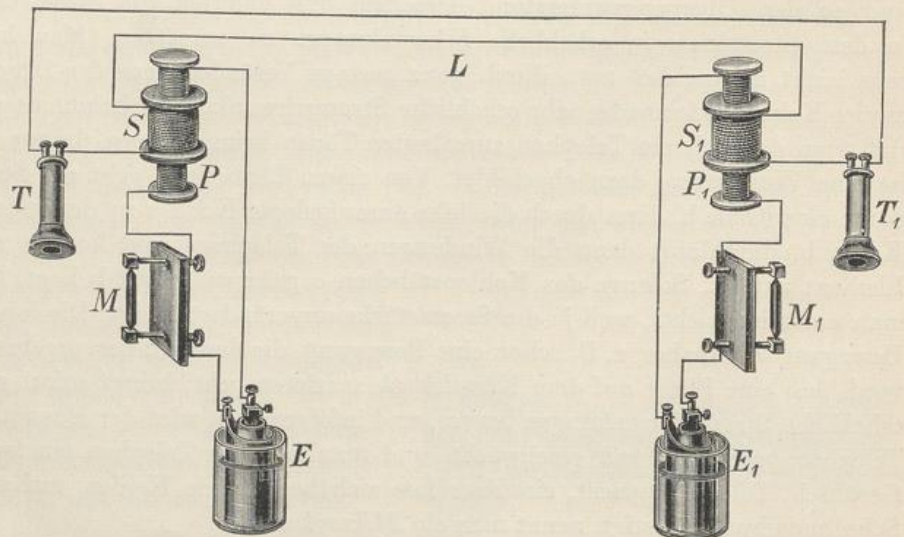
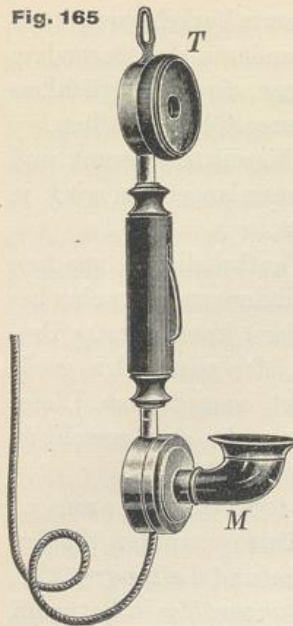


Fig. 165



aus einer großen Zahl von *Kohlenkörnern* bestehen. Bei solchen *Körnermikrophonen* ist das Hauptaugenmerk darauf zu richten, daß Zusammenbackungen der Körner vermieden werden.

Zu dem Zweck macht man oft die Kapsel, in der sich die Körner befinden, drehbar, so daß man dadurch das Zusammenbacken vermeidet.

Um Telefon und Mikrophon in zwei Stationen zusammenzuschalten, hat sich eine besondere Anordnung als zweckmäßig erwiesen. Man sendet nämlich (**Fig. 164**) den Strom des Elements E an der Aufgabestation durch das Mikrophon M und dann in die primäre Rolle P einer Induktionsspule (S. 49) und von dieser zum Element zurück. Die in der sekundären Spule S dieser Induktionsrolle erzeugten Induktionsströme läßt man dann durch die Leitung L nach der zweiten Station und durch das dortige Telefon T₁ gehen. In jeder Station ist also das Element E resp. E₁ durch das zugehörige Mikrophon

M resp. M₁ und die primäre Rolle P resp. P₁ geschlossen, während die beiden Telefone T und T₁ und die zugehörigen sekundären Rollen S und S₁ auf beiden Stationen zusammen durch die Leitung L verbunden sind.

Wenn das Telefon und Mikrophon nicht benutzt werden, so ist es natürlich angebracht, den Strom des Elementes zu öffnen, damit dasselbe weniger rasch verbraucht wird. Man hat dazu zweckmäßig eine automatische Einrichtung angebracht. Es wird nämlich das Telefon nach Beendigung des Gesprächs einfach an einen Haken gehängt und dadurch der Strom des Mikrophonkreises unterbrochen. Durch dieselbe Operation stellt man aber noch eine andere Verbindung her, nämlich mit einer *elektrischen Klingel*, die durch eine besondere Batterie betrieben wird. Man drückt an der Aufgabestation auf einen Knopf und schließt dadurch einen Stromkreis, in dem die Klingel der zweiten Station sich befindet. Der dazu nötige Strom wird eben von der Klingelbatterie geliefert.

In den größeren Städten ist man jetzt dazu übergegangen, die notwendigen galvanischen Elemente nicht mehr bei den einzelnen Telefonabonnenten aufzustellen, sondern sie in einem Vermittelungsamt zu *zentralisieren*. Dann hat jeder Telefonabonnent bloß einen kleinen Apparat, welcher Telefon, Mikrophon und Glocke enthält, aber keine Elemente mehr. Am bequemsten sind die Apparate, bei denen das Mikrophon und Telefon zusammen von einer Unterlage abgenommen und das erste vor den Mund, das zweite gleichzeitig vor das Ohr gehalten werden können. Ein solches *Mikrotelephon*, bei welchem T das Telefon und M der Schallbecher des Mikrophons ist, zeigt **Fig. 165**.

Für den inneren *Stadtverkehr* zwischen vielen Telefonbesitzern ist es notwendig,

ZEHNTES KAPITEL

ein *Vermittlungsamt* einzurichten, durch welches der gesamte Verkehr vermittelt wird. Denn sonst müßte jeder Teilnehmer mit jedem anderen eine besondere Verbindungsleitung haben, was, abgesehen von den Kosten, eine Unmöglichkeit wäre wegen der vielen Drähte, die über und in die Häuser führen müßten.

Deswegen geht von jedem Teilnehmer ein Draht zu dem Vermittlungsamt, und dem Beamten desselben fällt die Aufgabe zu, immer, wenn angerufen wird, je zwei Teilnehmer miteinander in Verbindung zu bringen.

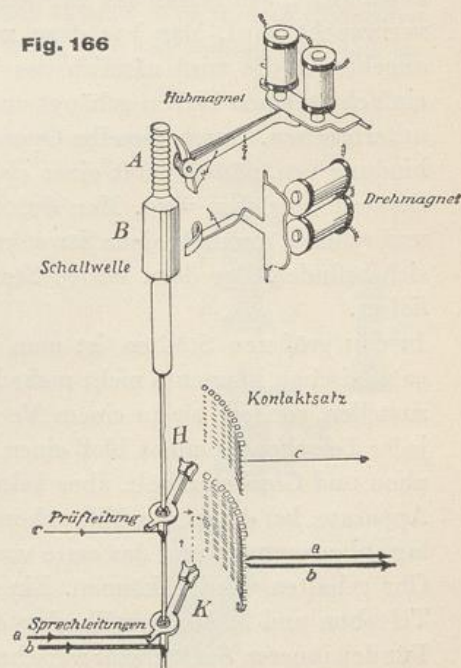
Die menschliche Tätigkeit in einem Vermittlungsamt entbehrlich zu machen und *automatische*, durch Elektrizität vermittelte Verbindungen je zweier beliebiger Abonnenten herzustellen, ist natürlich ein äußerst kompliziertes Problem. Und doch ist es gelungen, ein solches System, das ohne allzu große Kompliziertheit und dabei mit großer Sicherheit arbeitet, auszudenken. Dieses System, das *Strowgersche System*, breitet sich immer mehr aus, sowohl in Amerika wie auch in Europa und namentlich in Deutschland.

Zum Verständnis desselben nehmen wir zunächst bloß 100 Teilnehmer an.

Das Wesentliche bei dem Strowgerschen System sind die sogenannten *Wähler*, die unterschieden werden in Vorwähler, Gruppenwähler und Leitungswähler. Bei dem Amt von 100 Anschlüssen kommen nur die *Leitungswähler* in Betracht. Das sind Apparate, welche, durch Elektromagnete angetrieben, sich sowohl um 1 bis 10 Schritte heben wie auch um 1 bis 10 Schritte drehen können. In **Fig. 166** sieht man das Schema eines solchen Leitungswählers. Eine Achse, die oben zehn horizontale Nuten A und darunter zehn vertikale Nuten B hat, trägt zwei (in anderen Fällen drei) mit ihr fest verbundene Kontaktarme H und K, von denen K in der Figur aus zwei voneinander isolierten Teilen besteht.

Durch den oben gezeichneten Hubmagneten kann der anrufende Abonnent 1 bis 10 kurz dauernde Ströme schicken. Dadurch wird der Anker dieses Magnets jedesmal angezogen, und seine Spitze greift in die Nuten A ein und hebt dadurch die Achse und mit ihr die Kontaktarme um 1 bis 10 Schritte. Darauf kann der Anrufer den zweiten, darunter gezeichneten Drehmagneten durch 1 bis 10 kurz dauernde Ströme erregen. Dessen Anker greift dann in die Nuten B ein und dreht die Achse und mit ihr die Kontaktarme um 1 bis 10 Schritte. Die Kontaktarme bewegen sich dabei vor je einem Kontaktsatz, der aus 100 Kontakten in 10 Reihen à je 10 Kontakten besteht. Je ein Kontakt ist mit der Leitung zu

Fig. 166



je einem Abonnenten verbunden, und zwar geht die Leitung jedes Abonnenten zu dem entsprechenden Kontakt bei allen Leitungswählern, von denen für jeden Abonnenten einer aufgestellt ist. Auf diese Weise hat der rufende Teilnehmer sich selbst die Verbindung mit dem gewünschten Teilnehmer hergestellt, und das Gespräch kann nun in der gewohnten Weise stattfinden. Um die Magnete zu betätigen, besitzt jeder Abonnent an seinem Telephonapparat einen sogenannten *Nummernschalter*. Eine Scheibe mit 10 Löchern, von 1 bis 9 und 0, kann durch Einstecken eines Fingers in eines der Löcher im Sinne des Uhrzeigers bis zu einem Anschlag gedreht werden. Der Abonnent, der z. B. Nr. 48 anrufen will, schiebt die Scheibe von dem Loch 4 bis zum Anschlag und läßt sie dann los. Beim Zurückschnellen der Scheibe werden dadurch vier kurze Ströme in das Amt gesendet, welche den Hubmagneten betätigen, so daß der Kontaktarm in derselben Höhe wie die Kontakte der Abonnenten 40 bis 49 steht. Durch das weitere Drehen der Scheibe von 8 an werden nun beim Zurückschnellen acht kurze Ströme in das Amt gesendet, welche auf den Drehmagneten wirken und den Wähler um 8 Schritte drehen, so daß der Kontaktarm am Schluß gerade mit dem Kontaktstück 48 Verbindung hat und dadurch den anrufenden mit dem angerufenen Abonnenten in Verbindung gebracht hat.

So einfach das System bei 100 Teilnehmern ist, so läßt sich doch dasselbe nicht sofort auf mehr Teilnehmer ausdehnen, weil nicht mehr als die 10 vertikalen und die 10 drehenden Schritte gemacht werden können. Aber erfahrungsgemäß sprechen von allen Abonnenten einer Telephonzentrale höchstens 10 Proz. gleichzeitig. Man braucht deswegen bei 1000 Abonnenten gar nicht für jeden Abonnenten einen eigenen Leitungswähler (für die Zehner und Einer), also im ganzen 1000, sondern es genügt, wenn man 100 solche Leitungswähler aufstellt und nur dafür sorgt, daß der Abonnent, der den Anruf machen will, einen gerade unbenutzten von diesen Wählern selbsttätig sich aussuchen kann. Bei einem Amt bis zu 1000 Abonnenten muß man nun noch einen eigenen Wähler für die Hunderter haben. Diesen Wähler nennt man *Gruppenwähler*. Er ist ebenso eingerichtet wie der Leitungswähler, nur daß die Drehung der Kontaktarme bei ihm ohne zugeführte Ströme, also selbsttätig erfolgt. Auch von solchen Gruppenwählern braucht man nur 10 Proz. der Zahl der Abonnenten, also in unserem Fall 100. Die Einrichtung ist dann die folgende. Für jeden der 1000 Abonnenten ist ein sogenannter *Vorwähler* in dem Amt. Das ist ein kleiner Apparat, der elektrisch angetrieben wird und der sich, sobald der Anrufende seine erste Nummer dreht, selbsttätig durch einen Drehmagneten Zahn um Zahn so lange weiterdreht, bis er aus den Kontakten, die er bei der Drehung berührt, denjenigen erreicht hat, der zu einem *freien*, unbenutzten Gruppenwähler gehört. Dort bleibt er stehen und verbindet so den anrufenden Abonnenten leitend mit diesem Gruppenwähler. (Wie der Apparat, der Vorwähler, das merkt, daß ein Gruppenwähler frei ist, das läßt sich auf mehrfache Weise erreichen, mechanisch oder elektrisch; mechanisch dadurch, daß die schon benutzten, also nicht freien Gruppenwähler ja nicht in der Ruhelage sind, elektrisch dadurch, daß sie Ströme füh-

ZEHNTES KAPITEL

ren.) Jedes Hundert der Abonnenten ist mit 10 Gruppenwählern in Verbindung. Hat also der Vorwähler des Abonnenten einen freien von den 10 Gruppenwählern gefunden, so dreht nun der Abonnent seine Nummernscheibe, um die Hunderter einzustellen, z. B. bei 637, von der Zahl 6 an. Beim Rückschnellen der Nummernscheibe gehen 6 Ströme in das Amt, die den vorher ausgewählten Gruppenwähler um 6 Schritte in die Höhe heben. Sobald er aber diese Höhe erreicht hat, dreht sich sein Kontaktarm selbsttätig um 1 bis 10 Schritte, an 10 Kontakten vorbei, an deren jedem ein Leitungswähler angeschlossen ist (nämlich die 10 Leitungswähler für 600 bis 699). Der Kontaktarm bleibt stehen, sobald er einen gerade unbenutzten Leitungswähler gefunden hat, und zwar merkt er das auf dieselbe Weise, wie es vorher der Vorwähler gemerkt hat, wenn ein Gruppenwähler frei war. Bei dem freien Leitungswähler bleibt er stehen. Da dieser Leitungswähler mit den 100 Abonnenten 600 bis 699 verbunden ist, so braucht der Anrufende jetzt diesen nur in bekannter Weise um 3 Schritte zu heben und dann um 7 zu drehen, um mit dem gewünschten Abonnenten 637 seine Verbindung zu haben. So hat er durch vier Bewegungen (eine für den Vorwähler und drei für die Nummern) sich aus 1000 Abonnenten den richtigen herausgesucht. Ist nun dieser Abonnent frei, so kann das Gespräch beginnen; ist er belegt, gehen also durch seinen Kontakt schon Ströme, so bringen diese in dem Telephon des anrufenden Abonnenten ein Summen oder dergleichen hervor, so daß er das Belegtsein erkennt und sofort sein Telephon wieder anhängen und auf eine bessere Zeit zum Sprechen warten kann. Nach Anhängen des Telephons gehen nämlich die Wähler, der Vorwähler, Gruppenwähler und Leitungswähler, von selbst wieder in die Ruhelage zurück.

Dieses automatische Vermittlungssystem breitet sich wegen seiner Einfachheit und Sicherheit von Jahr zu Jahr mehr aus. Schwierig ist bei ihm nur die Montage, welche trotz der vielen Leitungen so übersichtlich gehalten sein muß, daß Störungen rasch erkannt und beseitigt werden können.

Während der telephonische Verkehr innerhalb der Städte sich sehr intensiv entwickelte, zeigten sich erhebliche Schwierigkeiten bei der Verbindung der Telephonnetze verschiedener Städte. Je länger die Strecken sind, auf welche telephoniert werden soll, desto stärker werden die Ströme durch die Leitung geschwächt, und man kam so zu einer Grenze, an welcher eine Verständigung nicht mehr möglich war, falls man nicht noch neue Einrichtungen dazu nimmt, wie es tatsächlich geschieht.

Die Schwächung der Telephonströme beruht nämlich hauptsächlich auf folgendem Umstand. Jedes Kabel, aber auch jede freie Luftleitung kann als eine Art Kondensator angesehen werden. Beim Kabel ist die innere Leitung die eine Belegung, die durch die isolierende Umhüllung von dem Wasser oder dem Erdboden getrennt ist, welche die zweite Belegung bilden. Bei der Luftleitung ist der Draht selbst die eine Belegung, die Luft ist die isolierende Zwischenschicht, und der Erdboden resp. die in der Nähe des Drahtes befindlichen Stangen und die Metallteile derselben sind die andere Belegung.

Daraus ergibt sich, daß jede Kabelleitung, aber auch jede Freileitung *Kapazität* besitzt. Gehen nun Ströme durch eine solche Leitung, so laden sie den Kondensator, d. h. auf der freien Oberfläche des Drahtes sammelt sich Elektrizität an. Wenn nun Wechselströme in dem Draht fließen, wie es die Telephonströme sind, so wird der Kondensator auch abwechselnd entgegengesetzt geladen und entladen, es treten also noch solche hin und her gehende Ladungs- und Entladungsströme auf, welche für die eigentliche Tonübermittlung schädlich sind. Sie verlaufen nämlich nicht in derselben Phase wie die eigentlichen Telephonströme, sondern bringen *Phasenänderungen* hervor, wodurch die Klangfarbe der übertragenen Laute verändert und zum Teil bis zur Unverständlichkeit verzerrt wird. Diese Wirkung wird nur auf langen Leitungen merklich, ist aber da imstande, die ganze telephonische Übertragung unmöglich zu machen.

Diesen Übelstand aber kann man dadurch verringern, daß man in die Leitung in bestimmten Abständen Rollen einsetzt, welche *Selbstpotential* besitzen. In diesen Rollen entstehen Extraströme, welche selbst ebenfalls Phasenveränderungen des Stromes hervorbringen, aber im umgekehrten Sinne.

Darauf beruht ein Leitungssystem, das von *Pupin* ausgearbeitet ist und das gerade die Einschaltung solcher Selbstinduktionsspulen benutzt, und das von Siemens & Halske mit großem Erfolge praktisch eingeführt wurde. Durch Anbringung solcher Spulen, sogenannter *Pupinspulen*, wird die Länge der Leitung, auf welche man sicher telephonieren kann, bedeutend vergrößert, nicht bloß bei Freileitungen, sondern auch bei Kabeln. Schon im Jahre 1911 haben Siemens & Halske von der Reichspostverwaltung den Auftrag übernommen, ein Fernsprechkabel von Berlin nach dem Rheinland auf 1000 km zu legen, welches mit Einschaltung von Pupinspulen tadellos funktionieren sollte, und sie haben diese Arbeit nach dem Krieg 1921 glänzend vollendet.

Unterdes aber hat die Fernsprechtechnik auf weite Entfernungen sehr große Fortschritte gemacht. Um nämlich hierin weiterzukommen, um auf beliebig große Entfernungen einen telephonischen Verkehr unterhalten zu können, wäre ein notwendiges Erfordernis, ebenso wie man in der Telegraphie ein Relais anwendet, ein *Telephonrelais* zu konstruieren, also einen Apparat, welcher die schwachen ankommenden telephonischen Wechselströme in ausreichendem Maße verstärken würde, ohne doch ihren Charakter zu ändern. Dieses Problem ist in sehr vollkommener Weise gelöst durch die *Elektronenröhren*, welche man, wenn nur ihre Anwendung als Verstärker für Telephonströme in Betracht kommt, als *Lautverstärker* bezeichnet.

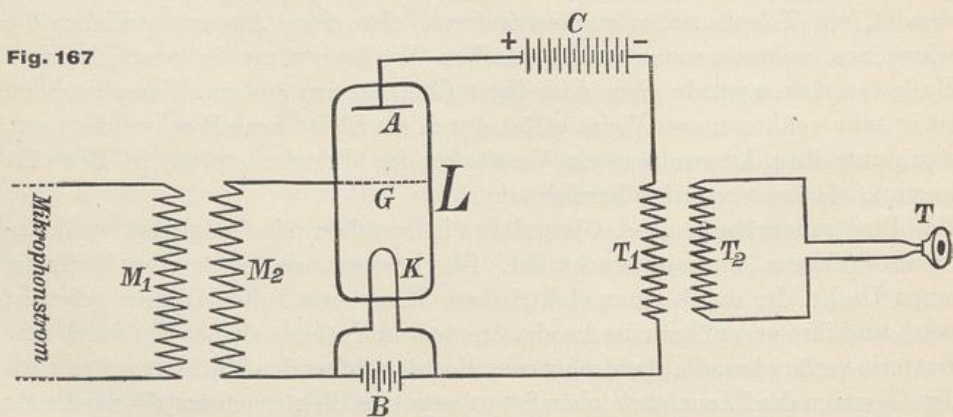
Die Elektronenröhren sind Glasgefäße, in welchen ein möglichst vollkommenes Vakuum hervorgebracht ist. Sie besitzen zunächst eine Kathode, einen Draht, der durch einen elektrischen Strom zum hellen Glühen gebracht wird, und ihm gegenüber eine Anode. Anode und Kathode sind außen durch eine Batterie verbunden, die *Anodenbatterie*. Von der glühenden Kathode gehen nach den Gesetzen der *Thermionik* (oben S. 150) negative Elektronen aus, die zur Anode

ZEHNTES KAPITEL

hinfliegen, indem sie durch das Feld zwischen Anode und Kathode beschleunigt werden. Die Geschwindigkeit dieser von der erhitzten Kathode ausgehenden Kathodenstrahlen kann man nun aber in bestimmter periodischer Weise ändern, nämlich gerade in dem Tempo, welches etwa die Wechselströme eines Mikrophons besitzen, dadurch, daß man zwischen Anode und Kathode noch eine Elektrode, die sogenannte *Gitterelektrode* oder *Steuerelektrode*, anbringt.

Wie nun die Geschwindigkeiten der Kathodenstrahlen dadurch sinnreich von den Wechseln der Mikrophonströme beeinflusst werden, das geht aus der schematischen Zeichnung **Fig. 167** hervor. *L* ist die Elektronenröhre, *K* die erhitzte Kathode, die durch eine Batterie *B* geheizt wird, *A* die Anode. Zwischen *K* und *A* geht der von der Anodenbatterie *C* gelieferte Strom, den man *Anodenstrom* nennt, über. Zwischen diese beiden Elektroden des Vakuumrohres ist aber eine mit Löchern versehene Elektrode eingesetzt, die verschiedene Form haben kann und welche man die *Gitterelektrode* nennt. Diese wird in gleich anzugebender Weise durch die Mikrophonströme bald positiv, bald negativ geladen. Die negativen Elektronen, die von *K* ausgehen und durch die Löcher von *G* hindurchfliegen, werden nun zwischen *K* und *G* in ihrer Geschwindigkeit verlangsamt, wenn *G* negativ ist, weil sie dann durch Abstoßung zurückgedrängt werden, und sie werden beschleunigt, wenn *G* positiv ist, weil sie dann angezogen werden. Dadurch erhält man also wechselnde Geschwindigkeiten der von *K* ausgehenden negativen Elektronen, und dadurch wird bewirkt, daß der Anodenstrom, der zwischen *A* und *K* übergeht, selbst im gleichen Tempo seine Stärke verändert, wie die das Gitter beeinflussenden Mikrophonströme. Die Schaltung ist nun derartig, daß erstens die Kathode von einer Batterie von 2 bis 6 Volt zum Glühen gebracht wird, und zwar wird in den Heizstrom, um ihn regulieren zu können, gewöhnlich noch ein variabler Widerstand eingeschaltet. Die Elektronenröhre selbst wird von der Anodenbatterie, von 50 bis 100 Volt, betrieben, deren negativer Pol an die Kathode, deren positiver Pol an die Anode angelegt wird. In die Leitung ist noch die Primärspule T_1 eines Transformators $T_1 T_2$, des *Ausgangstransformators*, eingeschaltet. Die Gitterelektrode *G* ist mit

Fig. 167



der Kathode K durch die Sekundärspule M_2 eines Transformators $M_1 M_2$, des *Eingangstransformators*, verbunden. Kommen nun von einem entfernten Mikrophon wechselnde Ströme in die Primärspule M_1 , so wird das Gitter abwechselnd positiv und negativ elektrisch, es entstehen also Ströme von wechselnder Stärke in der Röhre zwischen A und K, die durch die Primärspule des Transformators $T_1 T_2$ gehen. In dessen Sekundärspule erhält man daher von diesen Stromschwankungen entsprechende Induktionsströme. Diese läßt man in unserem Falle durch ein Telephon T gehen, das damit die erheblich verstärkten Wechselströme erhält. Erheblich verstärkt. Denn während die Mikrophonströme etwa eine Stärke von 10^{-6} bis 10^{-8} Ampere haben, haben die Anodenströme der Röhre eine Stärke von etwa 10^{-4} Ampere. Eine solche Verstärkeröhre zeigt **Fig. 168**. In dieser ist die Kathode ein dünner horizontal gespannter Draht, der von der Gitterelektrode, einem spiralig gebogenen Draht, umgeben ist, während die Anode ein zylinderförmig gebogenes Metallblech ist. Indem man die verstärkten Ströme durch ein zweites, die wieder verstärkten Ströme durch ein drittes Elektronenrohr gehen läßt, indem man also die Elektronenröhren kaskadenförmig anwendet, kann man die Verstärkung auf sehr hohe Beträge anwachsen lassen. Bei Verwendung von vier solchen Röhren, einem *Vierfach-Lautverstärker*, hat man eine Verstärkung auf das Zwanzigtausendfache erzielt, wobei die Form der Ströme bei sorgfältiger Anordnung noch immer ohne Verzerrung genau dieselbe blieb.

Die wesentlichen Konstruktionsgrundsätze der Elektronenröhren rühren von Professor Langmuir in Schenectady (Amerika) her. Er hat gezeigt, daß die Röhren zweckmäßig möglichst hoch evakuiert sein müssen, so hoch, daß praktisch keine Gasreste, die ionisiert werden, in der Röhre mehr vorhanden sind. Die Folge dieser hochgradigen Evakuierung ist die, daß der Strom in der Röhre nur durch die aus dem glühenden Draht herausgesendeten Elektronen zustande kommt, nicht durch Ionen, die in dem Gas durch Ionisierung erzeugt werden. Die Röhren zeigen also dann auch keine Fluoreszenz. Zu guter Wirksamkeit gehört ferner, daß die Kathode und das Gitter *sehr nahe beieinander* angeordnet werden.

Fig. 168



Es sind verschiedene Formen der Elektronenröhren entstanden, welche für die verschiedenen Verwendungszwecke besondere Vorteile aufweisen. Wir kommen im nächsten Kapitel auf diese Elektronenröhren zurück. Es geht [aus der Darlegung hervor, daß es nicht bloß schwache Telephonströme sind, die durch die Elektronenröhre verstärkt werden, sondern daß überhaupt schwache elektrische Schwingungen jener Art durch dieselbe in ihrer Stärke vervielfacht werden können.

Indem man nun solche Verstärkeröhren anwendet, kann man offenbar auf viel weitere Entfernungen mit Drähten von demselben oder auch kleinerem Durchmesser telephonieren als bisher, und insbesondere kann man den telephonischen Kabel-

ZEHNTES KAPITEL

verkehr, dessen Reichweite bisher eine ziemlich beschränkte war, auf viel größere Entfernungen ausdehnen. Es ist so gelungen, einen telephonischen Verkehr zwischen Deutschland und Buenos Aires herzustellen.

Während so das Schreiben in die Ferne durch den Telegraphen und das Sprechen und Hören in die Ferne durch das Telephon und Mikrophon immer mehr vervollkommenet wurde, hat man einer dritten Aufgabe, nämlich der Aufgabe, *in die Ferne zu sehen*, immer das größte Interesse entgegengebracht. Die Vorfrage dafür ist die, ob man nicht ganze *Zeichnungen oder Photographien telegraphisch nach einer entfernten Station übermitteln* könne. Diese Frage birgt im Hintergrund eine viel bedeutendere. Kann man nämlich in angemessen kurzer Zeit Photographien übertragen, so kann man vielleicht auch in entsprechend kurzer Zeit bewegte Bilder, also Kinobilder übertragen, und damit wäre der wichtigste Schritt zum *Fernsehen* gemacht. Die Erreichung dieses Zieles scheint nicht mehr weit entfernt. Und die Übertragung bewegter Kinobilder auf große Entfernungen ist jetzt bereits im kleinen möglich. Wenn man Schriften oder Zeichnungen oder Photographien telegraphisch in die Ferne übermitteln will, so muß man die Fläche, auf der das Bild angebracht ist, irgendwie sukzessive mit einer Vorrichtung bestreichen, welche durch die verschiedene Helligkeit der einzelnen Teile der Fläche in den Stand gesetzt wird, Ströme verschiedener Stärke in die Leitung nach der entfernten Station zu senden. Dieses muß die Einrichtung bei der gebenden Station sein. An der Empfangsstation aber müssen diese rasch aufeinander folgenden Ströme verschiedener Stärke in den Stand gesetzt werden, Lichtwirkungen von entsprechend verschiedener Stärke hervorzubringen, und diese sukzessive aufeinander folgenden Lichtstärken verschiedener Größe müssen nun *synchron* mit der Bewegung des Gebers eine Fläche, etwa eines photographischen Papiers, bestreichen, so daß dies die verschiedenen Lichteindrücke an der richtigen Stelle festhält. Damit ist dann die Aufgabe im Prinzip gelöst. Praktisch aber kommt es darauf an, diese Bestreichung des Bildes im Geber und damit die Reproduktion der einzelnen Bildelemente im Empfänger

Fig. 169



Fig. 170

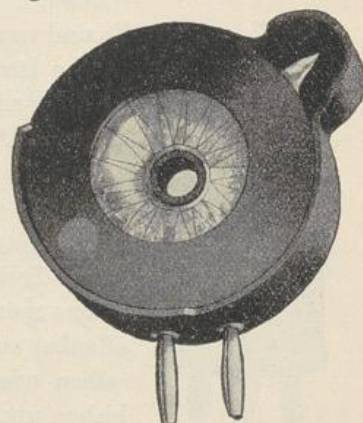
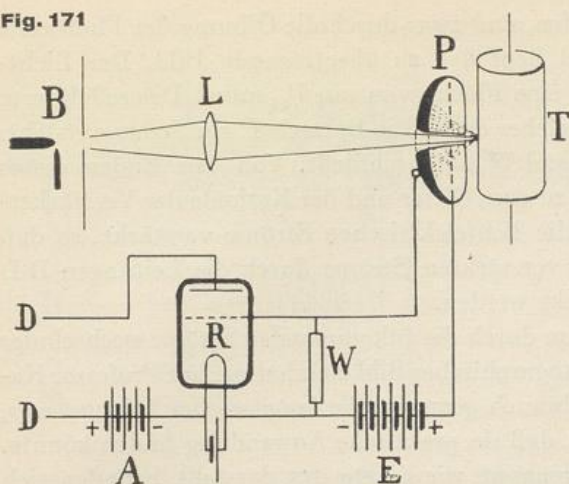


Fig. 171



einem Belag aus Kaliumamalgam versehen sind. Mit diesem Belag ist die rechts sichtbare Klemmschraube außen verbunden. Innerhalb des Glasgefäßes ist ein maschenförmig gebogener Draht aufgestellt, der mit der Klemmschraube unten verbunden ist. Durch diesen Draht hindurch kann man einen Lichtstrahl auf den Belag senden. Ist nun der Belag mit dem negativen Pol einer Stromquelle (von etwa 100 Volt Spannung) verbunden, so gehen unter dem Einfluß des auffallenden Lichtes negative Elektronen von dem Belag fort und fallen auf den Draht, in dem sie dann zur unteren Klemmschraube und durch eine angesetzte Leitung weitergeleitet werden können. Hier haben wir also ein Mittel, und zwar ein trägheitsloses Mittel, um Licht in elektrischen Strom zu verwandeln. Sobald das Licht aufhört, hört auch der Strom auf, sobald Licht auf die Zelle fällt, fließt ein Strom. Diese *photoelektrischen* oder *lichtelektrischen* Ströme sind jedoch sehr schwach. Wir haben aber in den *Elektronenröhren*, von denen oben S. 173 ff. gesprochen wurde, ein Mittel, um schwache Ströme erheblich zu verstärken. Professor *Karolus*, von dem die neuen Einrichtungen dieser Bildtelegraphie herrühren, die von der Telefunkengesellschaft in Berlin ausgeführt werden, benutzt an der Sendestation eine photoelektrische Zelle, welche in **Fig. 170** abgebildet ist. Sie ist ein ringförmiges Glasgefäß, das auf einer Seite innen mit Kaliumamalgam belegt ist und mit Helium gefüllt ist. Diese Belegung wird mit dem negativen Pol einer Batterie verbunden, der positive Pol ist mit einem kreisförmigen Draht verbunden, der vor der belegten Fläche in der Zelle angebracht ist. Die kreisförmige Öffnung des Ringgefäßes erlaubt Licht von einer Bogenlampe durch diese Öffnung auf das zu telegraphierende Bild zu senden, welches auf einer rotierenden und sich dabei fortschiebenden Trommel befestigt ist. Das von den einzelnen Stellen des Bildes *zurückgeworfene* Licht fällt dann auf die Zelle, die mit einer Batterie verbunden ist, und löst die Elektronen aus, die auf den Anodendraht fallen und so einen Strom hervorbringen. **Fig. 171** zeigt die Anordnung. Von der Bogenlampe B wird durch eine Linse L ein Licht-

möglichst rasch vor sich gehen zu lassen, da die Benutzung der Leitungen umso mehr Aufwand erfordert, je länger sie dauert. Daraus ergibt sich die Folgerung, daß die nötigen Vorrichtungen keine oder möglichst geringe *Trägheit* besitzen dürfen, daß sie nicht nachhinken dürfen. Solche Vorrichtungen hat man in den *lichtelektrischen Zellen*, wie sie **Fig. 169** zeigt. Das sind Glasgefäße, welche auf einer Seite innen mit

ZEHNTES KAPITEL

kegel auf die Trommel T geworfen, und zwar durch die Öffnung der Photozelle P hindurch. Auf der Trommel liegt das zu übertragende Bild. Der Lichtkegel bedeckt an der Trommel eine Fläche von nur $\frac{1}{25}$ qmm. Das reflektierte Licht fällt auf die Zelle P, in welcher durch die Batterie E ein Strom entsteht, der durch den großen Widerstand W hindurchfließt. Von den Enden dieses Widerstandes führen Leitungen zu dem Gitter und der Kathode der Verstärkerröhre R, und dadurch werden die lichtelektrischen Ströme verstärkt, so daß von der Anodenbatterie A die verstärkten Ströme durch die Leitungen D D in die entfernte Station geschickt werden.

Um nun an der entfernten Station durch die ankommenden Ströme wechselnder Stärke wieder ein optisches, photographisches Bild zu erhalten, hat Professor Karolus von einer Erscheinung Gebrauch gemacht, die lange vorher bekannt war, von der man aber nicht glaubte, daß sie praktische Anwendung finden könnte. In einer kleinen Zelle, *Kerrzelle* genannt, wie sie **Fig. 172** darstellt, befinden sich zwei Elektroden nahe beieinander in einer Flüssigkeit, als welche am besten Nitrobenzol genommen wird. Diese Zelle befindet sich zwischen zwei sogenannten Nikolschen Prismen, die so gestellt sind, daß das Licht einer Bogenlampe nicht durch sie hindurchgeht. Sobald aber die Elektroden der Kerrzelle mit einer wechselnden Spannung verbunden werden, entsteht in dem Nitrobenzol eine Veränderung, sogenannte Doppelbrechung, und das Licht geht durch die Zelle hindurch, in demselben Tempo und mit veränderlicher Stärke, ganz so, wie sie die angelegte Spannung besitzt. Die Schaltung an der Empfangsstation ist danach in **Fig. 173** gezeichnet. Von der Sendestation kommen die Ströme variabler Stärke durch die Leitungen D D an die Empfangsstation und gehen dort durch einen Transformator S, dessen sekundäre Wicklung durch eine Batterie E zu den beiden Elektroden K K der Kerrzelle führt. Von der Bogenlampe B wird Licht durch eine Linse L in schmalem Bündel durch die beiden Nikols N₁ und N₂ und die dazwischen aufgestellte Kerrzelle K K hindurchgeschickt und wird durch eine weitere achromatische Linse L₂ auf die Trommel T konzentriert, die synchron mit der Trommel in der Sendestation läuft. Die Spannung der Elektroden in der Kerrzelle wird durch den Transformator S in dem Tempo und entsprechend der Stärke der ankommenden Ströme gesteuert, und das Licht geht dann in demselben Tempo und in entsprechender Stärke durch die Zelle hindurch und fällt auf die bewegte Trommel und bringt auf photographischem Papier abgestufte Helligkeitsschwankungen hervor. Auf diese Weise werden Handschriften und Bilder in verhältnismäßig kurzer Zeit übertragen. So zeigt **Fig. 174** die Übertragung einer Photographie (des Grafen Arco, Leiter der Telefunkengesellschaft), die in 20 Sekunden über-

Fig. 172

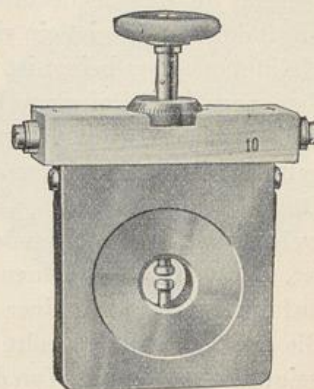
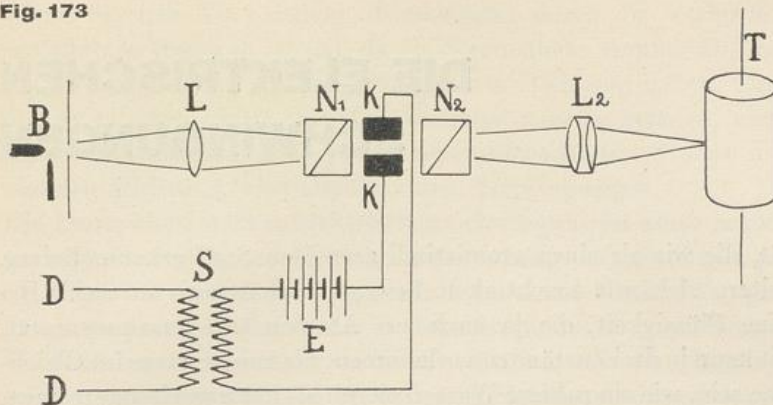
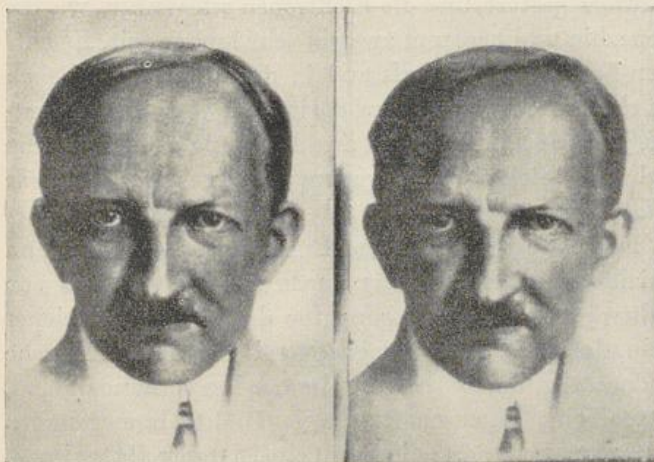


Fig. 173



tragen wurde (links ist das Original, rechts die Kopie). Um rasch bewegte Kinobilder zu übertragen oder gar um ein Fernsehen zu ermöglichen, muß man etwa 100 000 Bildelemente pro Sekunde erzeugen, während man bisher nur zu zirka 20 000 gelangt ist. Doch ist im kleinen das Fernsehen nach dieser Methode schon geglückt. Allerdings fehlt dabei immer noch die Farbe, so daß das Fernsehen doch wohl nur ein zweifelhaftes Surrogat der lebendigen Anschauung geben wird.

Fig. 174



DIE ELEKTRISCHEN SCHWINGUNGEN

Die Elektrizität, die wir als einen atomistisch zerteilten Stoff erkannt haben, der in den Leitern sich mit Leichtigkeit bewegt, verhält sich in vieler Beziehung wie eine Flüssigkeit, die ja auch aus Atomen sich zusammensetzt. Eine Flüssigkeit kann in drei Zuständen vorkommen. Sie kann erstens im Gleichgewicht, in Ruhe sein, wie ein ruhiger Wasserspiegel, sie kann zweitens strömen, wie in den Flüssen, und sie kann drittens in schwingender, wellenförmiger Bewegung sein. Dieselben drei Zustände zeigt auch die Elektrizität in Leitern. Wir haben die Elektrizität auf Leitern im Gleichgewicht, in der Ruhe, erkannt bei den elektrostatischen Erscheinungen, wir haben die strömende Bewegung der Elektrizität in Leitern als elektrischen Strom untersucht, und wir werden jetzt zeigen, daß sich die Elektrizität in Leitern auch in schwingende, wellenförmige Bewegung versetzen läßt.

Wenn ein Gleichgewichtszustand rasch und plötzlich gestört wird, so finden wir fast immer in der Natur, daß dann *periodische* Bewegungen stattfinden, daß sich der Gleichgewichtszustand durch solche periodische Bewegungen wieder einzustellen sucht. Wenn wir in einen ruhigen Wasserspiegel einen Stein fallen lassen, so wird das Gleichgewicht plötzlich gestört, und es entstehen periodische Schwankungen des Wassers, bis das Gleichgewicht sich wieder allmählich herstellt. Ebenso, wenn wir eine Klavier- oder Violine saite anschlagen oder zupfen oder streichen, so wird ihr Gleichgewicht plötzlich gestört, und der erzeugte Ton beweist die periodische Bewegung, die dabei entsteht. Ganz so wird auch durch einen plötzlich einsetzenden *Funken* das Gleichgewicht der Elektronen auf den Belegungen eines Kondensators gestört, und die Elektronen schwanken, wie die Luftteilchen bei einem Tone, hin und her, und zwar in sehr kurzer Zeit. Es entstehen durch einen solchen Funken in der Luft und in den Drähten, zwischen denen der Funke übergeht, elektrische Bewegungen, die in jeder Sekunde hunderttausendmal, millionenmal, ja sogar milliardenmal ihre Richtung ändern. Solche außerordentlich rasch wechselnde elektrische Bewegungen nennt man *elektrische Schwingungen* oder *Oszillationen*.

Daß in dem elektrischen Funken eine periodische Erscheinung, ein Hin- und Herschwingen der Elektrizitäten stattfindet, das wurde zum ersten Male von *Feddersen* experimentell bewiesen. Die Bedingung für das Auftreten solcher Oszillationen besteht darin, daß die beiden Belegungen einer Leidener Flasche oder allgemein eines Kondensators durch Drähte miteinander verbunden sind, die Selbstpotential besitzen, eine Eigenschaft, die ja Drähte immer haben und die besonders groß ist, wenn die Drähte die Form einer Drahtrolle besitzen.

DIE ELEKTRISCHEN SCHWINGUNGEN

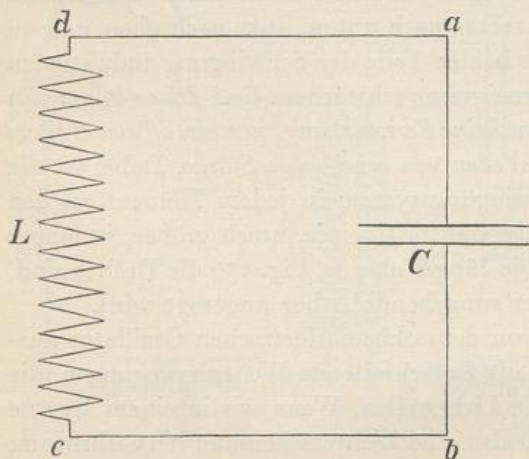
Wenn nämlich der geladene Kondensator durch die Verbindungsdrähte sich entladet, so treten in diesen, da die Stromstärke veränderlich ist, Extraströme (S. 54) auf, welche die entgegengesetzte Richtung haben. Dadurch wird die vorher positive Platte des Kondensators negativ geladen, und da nun diese sich wieder entladet usw., so entstehen abwechselnd Ströme in der einen und anderen Richtung, also Oszillationen, Schwingungen.

Die Dauer einer solchen elektrischen Schwingung ist umso größer, je größer die ganze in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge ist, also umso größer, je größer die *Kapazität* der Körper ist, zwischen denen die Funken übergehen. Außerdem hängt sie von der Größe der Selbstinduktion des Schließungskreises ab. Sir W. Thomson und nachher G. Kirchhoff haben aus der Theorie dieser Erscheinungen das Gesetz abgeleitet, daß die Schwingungsdauer elektrischer Schwingungen umso größer ist, je grösser die *Quadratwurzel aus dem Produkt der Kapazität und Selbstinduktion* ist. Dieses Grundgesetz aller elektrischen Schwingungen bezeichnet man als das *Thomson-Kirchhoffsche Gesetz*.

Ebenso wie eine Pfeife umso langsamere Schwingungen macht, umso tiefere Töne gibt, je länger sie ist, je größer also die in Bewegung versetzte Luftmenge ist, ebenso sind auch die elektrischen Schwingungen umso langsamer, ist die Schwingungsdauer umso größer, je größer die in Bewegung versetzten Elektrizitätsmengen, je größer also die Kapazität des Kondensators ist. Daß auch die Selbstinduktion, also die Form der Drähte des Schließungskreises eine Rolle spielt, hat auch seine Analogie in der Akustik. Der Ton einer Trompete ist ja ein anderer als der einer Posaune oder einer Flöte, selbst bei gleichem Luftinhalt, weil eben die Form eine andere ist.

Man bezeichnet ein nahezu geschlossenes System, welches Kapazität (Kondensator) und Selbstinduktion enthält, als einen *Schwingungskreis*. Ein solcher Schwingungskreis ist durch **Fig. 175** dargestellt. C ist die Kapazität, und L,

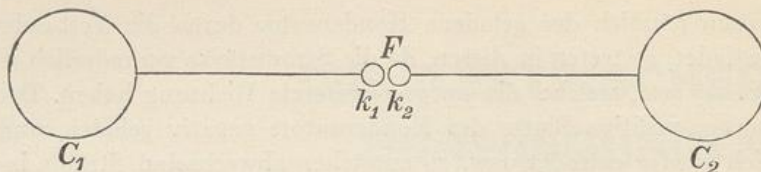
Fig. 175



die Selbstinduktion der Verbindungsdrähte und der Kondensatorplatten hinzukommen.

Während ein solcher Schwingungskreis nahezu geschlossen ist (bloß der Zwischenraum zwischen den Kondensatorplatten ist ja nichtleitend), ist es aber, wie zuerst Hertz zeigte, auch möglich, Schwingungen in offenen Systemen zu erzeugen, wie ein solches in **Fig. 176** dargestellt ist. In diesem sind zwei größere Kugeln C_1 C_2 auf Metallstangen angebracht, die

Fig. 176



andererseits in zwei nahe beieinander stehenden Kugeln $k_1 k_2$ endigen und eine Funkenstrecke F zwischen sich haben. Ladet man die beiden Hälften des Apparates mit entgegengesetzten Elektrizitäten von genügend hohem Spannungsunterschied, so springt ein Funke bei F über. Es entstehen auch hier Schwingungen, deren Schwingungsdauer in derselben Weise, wie oben angeführt, von der Kapazität der Kugeln und der Selbstinduktion der Drähte abhängt. Man bezeichnet ein solches System als ein *offenes Schwingungssystem*.

Bei einem offenen Schwingungssystem sind aber die elektrischen hin und her gehenden Bewegungen nicht durchaus auf das System der beiden Leiter mit ihren Verbindungsdrähten beschränkt. Die elektrischen Bewegungen auf den Leitern erregen auch den umgebenden Äther zu ebensolchen hin und her gehenden Bewegungen, und da der Äther überall zusammenhängt, so gehen diese periodischen Bewegungen weiter und breiten sich von dem in Schwingungen begriffenen Leitersystem nach allen Richtungen, soweit kein Hindernis vorliegt, aus. Das war die große Entdeckung, welche die Wissenschaft *Heinrich Hertz* verdankt, und diese Entdeckung wurde noch präzisiert durch die Feststellung, daß die Geschwindigkeit, mit der diese periodischen Bewegungen durch den Äther sich fortpflanzen, ganz enorm ist, nämlich gleich der Geschwindigkeit, mit der das Licht sich fortpflanzt, daß sie also in jeder Sekunde einen Weg von 300 000 km zurücklegen.

Nur ein *offenes* Schwingungssystem regt auch den Äther zu merklichen Schwingungen an, die sich fortpflanzen, nicht aber ein geschlossener Schwingungskreis. Man erkennt das leicht aus Fig. 175. Wenn in diesem Schwingungskreis einmal Schwingungen erregt sind und die Bewegung in einem bestimmten Moment von a nach b , c , d geht, so geht sie also rechts nach unten, links nach oben, und an einer entfernten Stelle bringen diese beiden Teile der Schwingung Induktionen hervor, welche sich aufheben oder wenigstens schwächen. Und daher folgt: *Ein geschlossenes schwingendes System hat keine Fernwirkung, nur ein offenes System erregt den Äther zu fortschreitenden Wellen von erheblicher Stärke*. Dabei ist die Energie, die von dem offenen Schwingungssystem in jedem Moment an den Äther abgegeben wird, also die ausgestrahlte Energie, umso größer, je länger das offene Schwingungssystem ist, je länger also in Fig. 176 die Drähte sind, da von jedem Teil des Drahtes der umgebende Äther angeregt wird.

Die elektrischen Bewegungen, die von dem obigen Hertzschen Oszillator ausgehen, erzeugen in dem Äther der Luft fortschreitende Wellenbewegungen, die ganz von derselben Art sind wie die Lichtwellen. Wenn wir in einem Raume irgendwo ein Streichholz anzünden, also eine Lichterscheinung hervorbringen,

DIE ELEKTRISCHEN SCHWINGUNGEN

so pflanzt sich die Bewegung, die durch das Leuchten verursacht ist, nach allen Seiten im Lichtäther fort, und zwar in Wellen, ähnlich den Wasserwellen, die ein in einen Teich geworfener Stein hervorbringt. In unserem elektrischen Fall nun wird die Stelle des brennenden Streichholzes von dem Hertz'schen Oszillator eingenommen. Von ihm aus pflanzt sich die Bewegung, die in der oszillierenden Funkenentladung erzeugt wurde, nach allen Seiten im Raume fort, ebenfalls als Wellen und mit derselben Geschwindigkeit wie die Lichtwellen.

Man kann aus der Dauer der Schwingungen auch die Länge der im Äther erregten Wellen berechnen. Denn die Wellenlänge ist immer diejenige Strecke, um welche sich die Bewegung während der Dauer einer Schwingung fortgepflanzt hat. Es ist also die Wellenlänge gleich dem Produkt aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Schwingungsdauer. Also z. B. eine Schwingung, die den fünfhunderttausendsten Teil einer Sekunde dauert, erzeugt eine Welle, deren Länge

$$\frac{300\,000}{500\,000} \text{ Kilometer} = 600 \text{ Meter}$$

ist. Es sind das also Ätherwellen, ganz von derselben Art wie die Lichtwellen. Ätherwellen, welche auf unser Auge als Licht wirken, haben Wellenlängen, die je nach der Farbe zwischen 4 und 7,6 Zehntausendsteln eines Millimeters liegen. Längere Wellen, bis zu einem Drittel eines Millimeters, wirken noch erwärmend, thermisch, auf feine Apparate. Elektrische Wellen sind zwar sehr viel größer; ihre Wellenlängen betragen einige Zentimeter bis zu Hunderten von Metern. Aber der Unterschied ist doch nur graduell. Man kann sagen: *Elektrische Wellen von sehr kurzer Schwingungsdauer erscheinen uns als Lichtwellen, oder Ätherwellen von verhältnismäßig sehr großer Schwingungsdauer sehen wir nicht mehr als Licht, sondern sie zeigen sich uns durch ihre elektrischen Wirkungen an.*

Wenn in einem (geschlossenen oder offenen) Schwingungskreis durch irgend eine

Vorrichtung (z. B. durch einen Funken) elektrische Schwingungen vorhanden sind, so kann man durch sie leicht auch einen anderen Schwingungskreis zum Schwingen anregen. Und zwar kann man das auf verschiedenfache Weise machen. Der übersichtlichste Fall ist in **Fig. 177** gezeichnet. Hier sind zwei Schwingungskreise I und II vorhanden, deren Selbstinduktion S_1 und S_2 ,

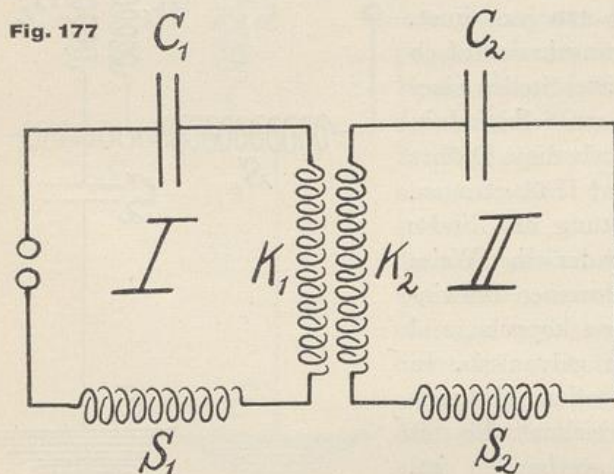
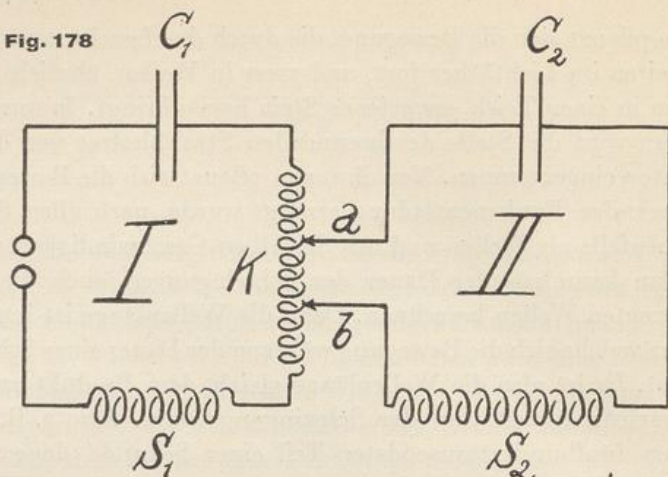
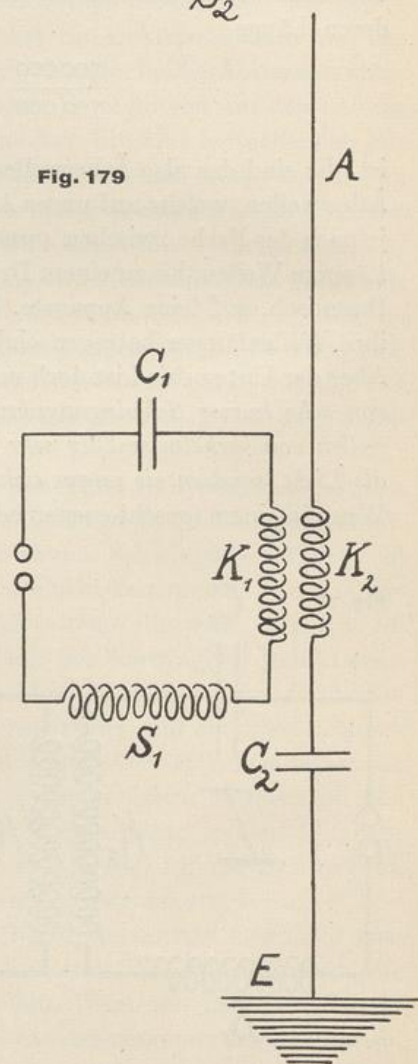


Fig. 178



deren Kapazitäten C_1 und C_2 sind. In jeden der Schwingungskreise ist noch eine Spule K_1 bzw. K_2 eingeschaltet (die natürlich mit zu der ganzen Selbstinduktion des betreffenden Kreises mitgerechnet wird), und diese beiden Spulen sind einander nahe gebracht. Dann werden durch Induktion die Schwingungen im Kreise I auch Schwingungen im Kreise II erregen. Man sagt dann, die beiden Schwingungskreise sind *gekoppelt*, und zwar bezeichnet man diese hier gezeichnete Koppelung, weil sie durch Induktionswirkungen die Schwingungen in II hervorbringt, als *induktive Koppelung*. Die beiden Spulen K_1 und K_2 bezeichnet man als *Koppelungsspulen*. Eine zweite Art der Koppelung ist in Fig. 178 gezeichnet. Hier wird der zweite Schwingungskreis einfach durch Drähte a und b mit zwei Stellen einer Spule K (die ein Teil der ganzen Selbstinduktion ist) verbunden, und durch diese Drähte werden die Schwingungen auf II übertragen. Man bezeichnet diese Schaltung als *direkte* oder *galvanische Koppelung*. In derselben Weise kann man auch einen geschlossenen Schwingungskreis mit einem offenen koppeln, und zwar entweder induktiv oder galvanisch. In Fig. 179 und 180 ist der offene Schwingungskreis als ein Draht gezeichnet, der mit Spulen und Kondensatoren verbunden ist.

Fig. 179

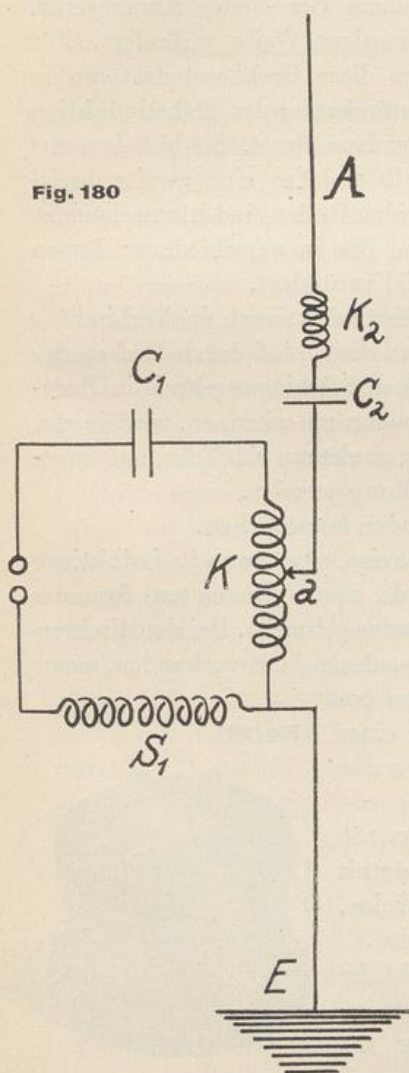


Praktisch wird ein solcher Draht, den man eine *Antenne* nennt, immer mit dem einen Ende zur Erde abgeleitet (geerdet). **Fig. 179** zeigt die induktive Koppelung der Antenne A mit dem geschlossenen Schwingungskreis, **Fig. 180** die galvanische Koppelung. Im letzteren Falle ist die Antenne a an einen Punkt der Spule K angelegt, die selbst zur Erde abgeleitet ist und dadurch auch die Antenne erdet. Die Schwingungen, die im Punkt a stattfinden, erregen auch die Elektronen in dem Antennendraht zu Schwingungen, die sich längs des Drahtes fortpflanzen.

Die Vorgänge bei einer solchen Koppelung zweier Systeme, speziell eines offenen Systems mit einem geschlossenen, lassen sich leicht übersehen. Ganz so, wie in der Akustik jede Pfeife, jede Trompete, jede Saite ihren Eigenton besitzt, den sie angibt, wenn sie zu Schwingungen angeregt wird, ganz so besitzt auch jedes

elektrisch schwingende System gewissermaßen seinen elektrischen Eigenton, d. h. es führt Oszillationen aus, deren Schwingungsdauer nur abhängt von seiner Beschaffenheit in elektrischer Beziehung. Und zwar sind es, wie wir wissen, die zwei Größen, die Kapazität und die Selbstinduktion, welche für die Dauer der Oszillationen maßgebend sind. Also auch eine solche Antenne besitzt eine gewisse ihr eigentümliche Eigenschwingung, die abhängt von ihrer Kapazität und von ihrer Selbstinduktion. Zu der letzteren gehört in **Fig. 180** auch das Drahtsystem der Spule K von a bis zur Erde. Wenn nun der zweite Schwingungskreis (die Antenne) durch die Schwingungen des ersten Schwingungskreises angeregt werden soll, so wird das in erheblichem Maße nur dann stattfinden können, wenn die Schwingungsdauer der Oszillationen in dem zweiten Kreis übereinstimmt mit der Schwingungsdauer der Oszillationen im anregenden Schwingungskreis. Dann findet, wie man es nennt, *Resonanz* zwischen den beiden Systemen statt. Ganz so, wie eine Klaviersaite, z. B. die für den Ton a, zum Tönen angeregt wird, wenn eine a-Stimmgabel in ihrer Nähe angeschlagen wird und ihre Schwingungen auf sie überträgt, weil eben da Resonanz, Übereinstimmung herrscht, ganz so ist es auch bei den elektrischen Schwingungen. Man muß also, um möglichst große Wirkungen zu

Fig. 180



ELFTES KAPITEL

bekommen, die beiden Schwingungskreise aufeinander, wie man es nennt, *abstimmen*. Das geschieht dadurch, daß man in den angeregten Schwingungskreis variable Kapazitäten oder variable Selbstinduktionen (oder beides) einschaltet und diese so lange variiert, bis die Resonanz erreicht ist.

Die Praxis hat die variablen Kapazitäten und die variablen Selbstinduktionen, die man zu jeder Abstimmung braucht, zweckmäßig und einfach gestaltet. Als variable Kapazitäten, die hauptsächlich bei den Empfangsapparaten benutzt werden, wendet man bequem *Drehkondensatoren* an. Dieselben bestehen aus einer Anzahl halbkreisförmiger Messingplatten, die in gleichem Abstand übereinander angebracht sind. Mitten zwischen diese festen Platten kann ein anderes System von halbkreisförmigen Platten, die auf einer Achse befestigt sind, durch Drehung der Achse mehr oder minder weit eingeschoben werden. In **Fig. 181** befinden sich die beiden Plattensysteme in einem Glas- oder Ebonitgefäß. Durch die Drehung wird die Kapazität in stetiger Weise verändert. Für die Zwecke der drahtlosen Telegraphie werden diese Drehkondensatoren in verschiedenen Größen gebaut. Zur leichten Veränderung der Selbstinduktion werden Apparate gebaut, die man als *Variometer* bezeichnet. Sie bestehen aus einer festen kreisförmigen Drahtrolle, innerhalb welcher eine zweite kreisförmige Drahtrolle gedreht werden kann. Die beiden Rollen sind hintereinander verbunden. Durch ihre gegenseitige Induktion, die in verschiedenen Lagen verschiedene Werte hat, wird ihr Selbstpotential verändert.

Durch derartige variable Kapazitäten und Selbstinduktionen in Verbindung mit festen kann man nun mit der größten Leichtigkeit, bloß durch Drehen der Griffe am Drehkondensator und Variometer, einen Schwingungskreis in Resonanz mit einem anderen bringen. Um die Resonanz zu erkennen, wird in der Praxis, worauf wir noch zu sprechen kommen, meistens ein Telephon angewendet, dessen lautes Tönen die Resonanzstellung anzeigt.

Die Koppelung zweier Kreise kann man *eng* oder *lose* machen.

Bei *enger Koppelung* der beiden Schwingungskreise, und zwar in induktiver Schaltung, werden in **Fig. 179** die induzierende Spule des ersten Systems und die induzierte des zweiten sehr nahe aneinander gebracht. Bei der direkten Koppelung (**Fig. 178** und **180**) ist eine enge Koppelung dann vorhanden, wenn viele Windungen der Rolle K beiden Systemen gemeinsam sind. Speziell also bei der Koppelung einer Antenne in **Fig. 180**, wenn der Anschlußpunkt a der Antenne nach oben verschoben wird.

Bei *loser Koppelung* dagegen muß man in **Fig. 180** den Punkt a nach unten hin verschieben, damit wenige Windungen beiden Systemen gemeinsam seien, wodurch eben die Koppelung möglichst lose wird.

Der *außerordentliche Aufschwung*, den die drahtlose Telegraphie und Telephonie seit dem Kriege gewonnen hat, ist der *Elektronenröhre*, von der wir

Fig. 181

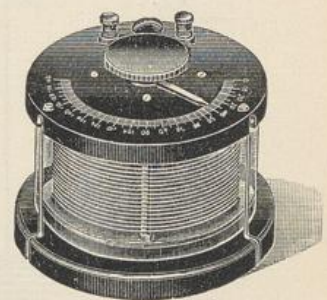
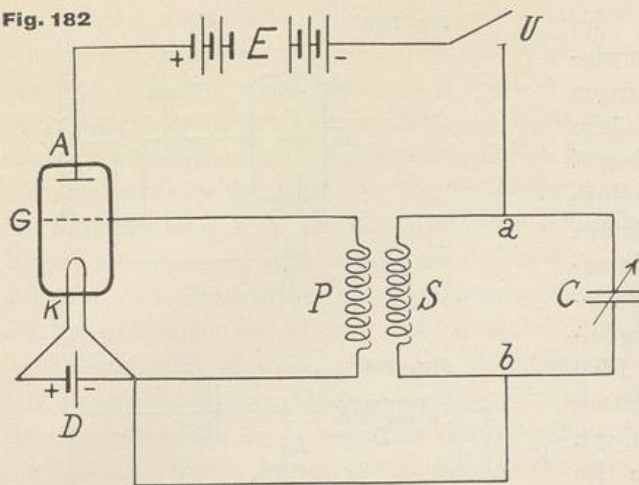


Fig. 182



geeignete Schaltung imstande, elektrische Schwingungen von durchaus gleichbleibender Stärke auszusenden, sie ist der *Sender von ungedämpften Schwingungen*.

In der Elektronenröhre unterscheiden wir zwei Kreise, den *Gitterkreis*, der in der Röhre zwischen Gitter und Kathode verläuft, und den *Anodenkreis*, der in der Röhre zwischen Anode und Kathode verläuft. Verbindet man außen die Anode und Kathode durch eine Batterie, in deren Leitung man noch einen Schwingungskreis (also eine Verbindung von Kapazität und Selbstinduktion) einschaltet, so wird durch Schließen des Batteriestromes, also durch plötzliche Störung des Gleichgewichts, dieser Kreis in Schwingungen geraten, und diese Schwingungen gehen dann auch durch die Röhre von der Anode zur Kathode. Diese Schwingungen sind an sich gedämpft und hören sehr bald auf. Nun aber, *und das ist der neue Gedanke dabei*, läßt man diese Schwingungen induzierend auf eine Rolle wirken, welche mit dem Gitter und der Kathode verbunden ist. Infolgedessen entstehen im Gitterkreis selbst wieder Schwingungen, und diese Schwingungen verstärken in bekannter Weise die des Anodenkreises, diese wieder die des Gitterkreises, und so *schraubt sich ganz von selbst* die Wirkung in die Höhe. In **Fig. 182** ist diese Schaltung gezeichnet. Die Elektronenröhre hat bei A die Anode, bei G die Gitterelektrode und bei K die Kathode, die durch die Batterie D geheizt wird. Von der Anodenbatterie E führt die Leitung einerseits zur Anode, andererseits durch einen Unterbrecher U zu dem Schwingungskreis SC mit Selbstpotential S und Kapazität C und von diesem zur Kathode. Die Rolle S aber wirkt induzierend auf eine zweite Rolle P, die mit der Gitterelektrode G und der Kathode verbunden ist. Diese Koppelung des Anodenkreises und des Gitterkreises nennt man die *Rückkoppelung*. Sie ist zuerst von A. Meißner (Telefunkengesellschaft) erfunden worden, und sie ist das wesentlich Wirksame bei der Anordnung. Man bezeichnet die ganze Anordnung als *Röhrensender*.

schon S. 173 ff. gesprochen haben, zu verdanken. Die Elektronenröhre ist heute das wichtigste Element der *Hochfrequenztechnik*, wie man die Technik der drahtlosen Telegraphie und Telephonie nennt.

Zunächst ist nämlich die Elektronenröhre, die wir bisher nur als Lautverstärker kennen gelernt haben, durch

ELFTES KAPITEL

Durch die Einschaltung des Stromes bei U wird der Schwingungskreis S C in Schwingungen versetzt, deren Periode abhängt von der Größe der Kapazität C und der Größe der Selbstinduktion S und die man durch den Drehkondensator C beliebig ändern kann. (Ein Drehkondensator wird in der Zeichnung immer durch einen schiefen Pfeil angegeben.) Diese Schwingungen verlaufen in der Röhre im Anodenkreis zwischen A und K. Durch Rückkoppelung werden aber in P Schwingungen von derselben Periode erregt, welche nun im Gitterkreis zwischen G und K verlaufen. Das Gitter G wird abwechselnd positiv und negativ geladen und beeinflusst so in der bekannten Weise die ursprünglichen Schwingungen des

Anodenkreises, indem es diese verstärkt und von ihnen wieder verstärkt wird. Die Schwingungen behalten dauernd dieselbe Stärke, sie sind *ungedämpft*, denn die nötige Energie wird ihnen dauernd von der Batterie E nachgeliefert. Je nach der Größe der Selbstinduktion S und der Kapazität C erhält man so ungedämpfte Schwingungen von einigen hundert bis zu vielen tausend Metern Länge.

Statt der induktiven Rückkoppelung, wie sie in Fig. 182 dargestellt ist, kann man auch eine *direkte* (galvanische) Rückkoppelung machen, wie sie in **Fig. 183** gezeichnet ist. Hier ist Rückkoppelung des Schwingungskreises (Selbstinduktion S, Drehkondensator C) mit der Röhre dadurch hervorgebracht, daß der Punkt a der Selbstinduktion mit der Kathode, der Punkt b mit dem Gitter verbunden ist. Es darf nicht etwa a mit dem Gitter und b mit der Kathode verbunden werden. Denn der Schwingungskreis in diesem Fall besteht aus der Kapazität C und den Windungen der Spule S von oben bis a. Dieser Schwingungskreis ist, wie es sein soll, mit Anode und Kathode verbunden. Die unteren Windungen der Spule S von a bis b werden nur induziert, verhalten sich also wie die Rückkoppelungsspule in Fig. 182, so daß deren anderes Ende b mit dem Gitter verbunden werden muß.

Aus praktischen Gründen (wegen der stets anzubringenden Verbindung des

Fig. 183

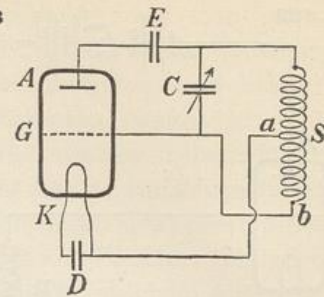
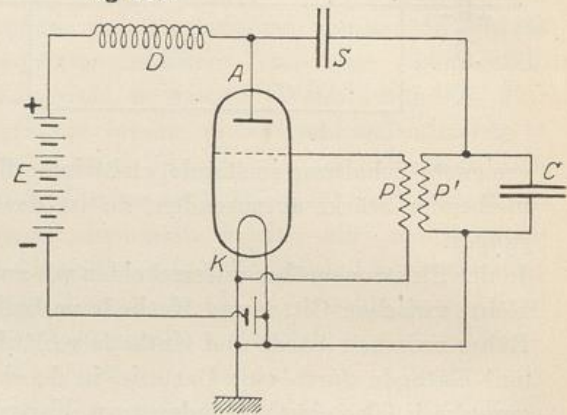


Fig. 184



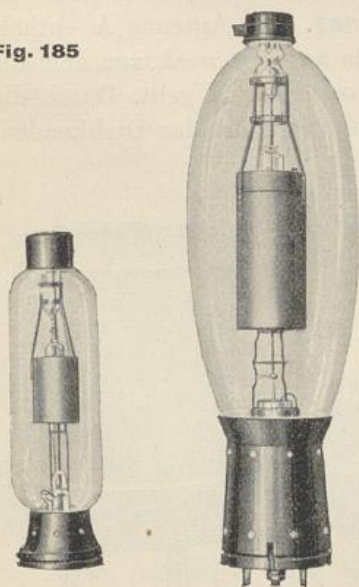
einen Endes des Glühfadens mit der Erde) macht man die Schaltung der verschiedenen Teile eines Röhrensenders gewöhnlich so, wie sie in **Fig. 184** gezeichnet ist¹). Die Anodenbatterie E wird in einen besonderen Zweig gelegt, der mit dem geerdeten Teil der Kathode K einerseits und durch eine Drosselspule D mit der Anode anderseits verbunden ist. Die Drosselspule hat die Aufgabe, die raschen Schwingungen von der Anodenbatterie abzuhalten. Links ist der Schwingungskreis P' C einerseits mit der Kathode, anderseits durch einen Sperrkondensator S mit der Anode verbunden. Der Kondensator S hat die Aufgabe, den Gleichstrom (von E) von dem Schwingungskreis abzuhalten, aber den Schwingungen den Durchtritt zu gestatten. Von dem Schwingungskreis geht die Rückkoppelung P zur geerdeten Kathode und zum Gitter.

Die Konstruktion der Elektronenröhren, die als *Röhrensender* wirken sollen, ist eine besondere, da es bei ihnen darauf ankommt, daß sie möglichst große Energie aufnehmen. In **Fig. 185** ist die Ansicht zweier von Telefunken konstruierten Senderröhren gegeben. Es sind das Röhren mit zylindrischer Anode (aus Tantal), in deren Innerm der Glühfaden, die Kathode gespannt ist, welche selbst von dem Gitter, einem gewebten Schlauch aus sehr dünnen Drähten, umgeben ist. Die erste dieser Röhren kann mit 500 Watt, die zweite mit 5 Kilowatt betrieben werden, und zwar beträgt die Spannung der Anodenbatterie bei der ersten 3000 Volt, bei der zweiten 20 000 Volt. Selbst bei den kleinsten Röhrensendern von 20 Watt Leistung beträgt die Spannung etwa 800 Volt. Diese hohen Gleichstromspannungen werden gewöhnlich durch Gleichrichtung von Wechselstromspannungen erzeugt, worauf wir aber hier nicht eingehen.

Die Schwingungen einer solchen Senderröhre müssen natürlich auch durch Koppelung auf die Antenne übertragen werden, welche die Schwingungen ausstrahlt. Bei der drahtlosen Telegraphie werden die Zeichen in Morseschrift gegeben durch längeres oder kürzeres Einschalten des Schwingungskreises in die Senderröhre.

Um nun in der Ferne die ankommenden Schwingungen zu erkennen, dazu werden jetzt hauptsächlich zweierlei Arten von Apparaten benutzt, die man *Detektoren* nennt, nämlich hauptsächlich das später zu besprechende Audion, vielfach aber auch noch die einfacheren und billigeren *Kristalldetektoren*. Die Detektoren werden immer in einen abstimmbaren Schwingungskreis (mit Drehkondensator) eingeschaltet. Die Kristalldetektoren sind kleine Apparate, wie sie

Fig. 185



¹ Aus Graetz, Handbuch der Elektrizität, Ed. 5. Leipzig 1926.

ELFTES KAPITEL

Fig. 186 geöffnet und geschlossen zeigt, bei denen eine Kontaktstelle zwischen der Spitze eines Drahtes und einem Mineral hergestellt ist, z. B. bei dem sogenannten *Pyritdetektor*, zwischen einer Spitze aus Golddraht und dem Mineral Eisenkies. Leitet man durch diese Kontaktstelle elektrische Schwingungen, so wird sie etwas erwärmt, und es tritt eine thermoelektrische Wirkung ein, die zur Folge hat, daß die nach der einen Richtung gehenden Schwingungshälften verstärkt, die nach der anderen Richtung gehenden geschwächt werden. Jeder ankommende Wellenzug, der auf den Kontaktdetektor auftrifft, bringt also einen schwachen Strom nach *einer* Richtung hervor und erregt dadurch ein mit dem Detektor verbundenes Telephon. Kommen eine Anzahl von solchen Wellenzügen kurz hintereinander auf den Detektor, so erzeugen sie in dem Telephon einen Ton, und zwar in derselben Tonhöhe, wie es der Zahl der pro Sekunde ausgesendeten und ankommenden Wellenzüge entspricht. Durch jeden ankommenden Wellenzug wird der Kristalldetektor angeregt. Schickt man also nur eine kurz dauernde Welle aus, so fließt durch den Kontaktdetektor nur ein kurz dauernder Strom, und man hört in dem Telephon ein kurzes Knacken, einen Punkt. Schließt man aber in der Aufgabestation den Schwingungskreis längere Zeit an, so entstehen eine Reihe von aufeinander folgenden Wellen, die auf den Kreis, in welchem sich der Kontaktdetektor befindet, fallen, so daß man ein längeres Knacken des Telephons hört. So erhält man also an der entfernten Station im Telephon hörbar Punkte oder Striche, kann also mit dem Morsealphabet ohne Draht telegraphieren.

Die Telegramme werden dabei also durch sogenannten *Hörfang* aufgenommen. Praktisch wird oft der Kreis des Kontaktdetektors nicht direkt an die Empfangsantenne angeschlossen, sondern von den ankommenden Schwingungen wird erst ein abstimmbarer *Zwischenkreis* erregt und von diesem erst der Kreis des Kontaktdetektors. Diese Schaltung zeigt **Fig. 187**. Die Antenne A enthält eine Spule S, an welche ein variabler Kontakt a angelegt wird, von dem die Verbindung zu dem Drehkondensator D und der Erde E geht. Durch die Spule S wird die Spule P des Zwischenkreises induziert, der den Drehkondensator D' enthält und der scharf auf die ankommenden Schwingungen abgestimmt wird. Endlich an diesen Zwischenkreis ist der Detektor mit Detektor K, Kondensator C und Telephon T gekoppelt, und zwar direkt (galvanisch) wie in der Zeichnung oder auch induktiv. Der Kondensator C, den man als *Blockkondensator* bezeichnet, hat den Zweck, die

Fig. 186

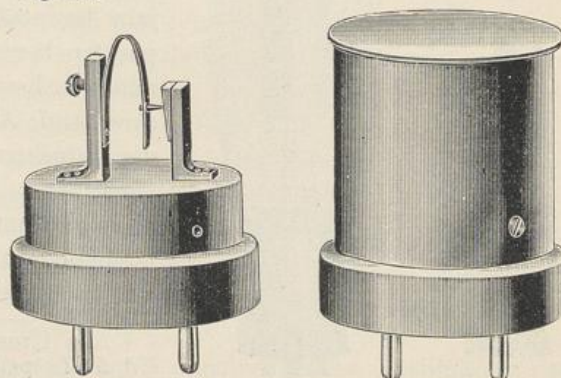
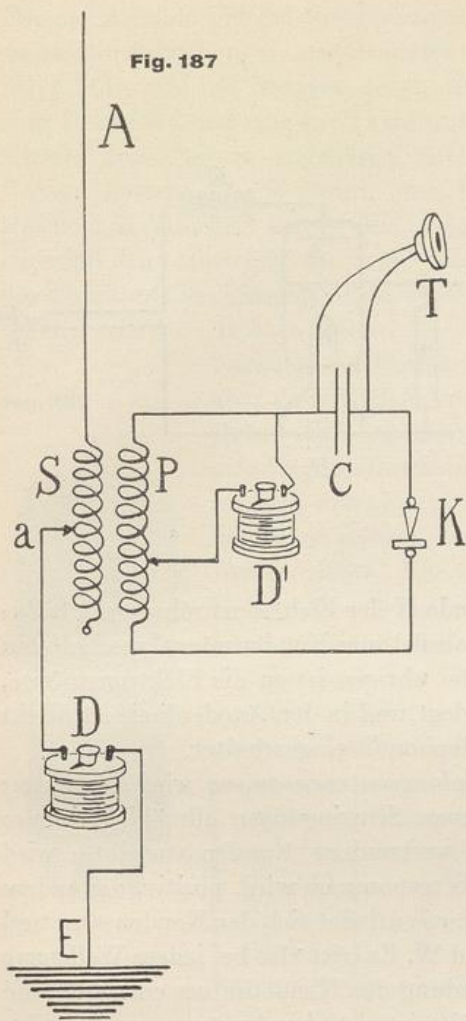


Fig. 187

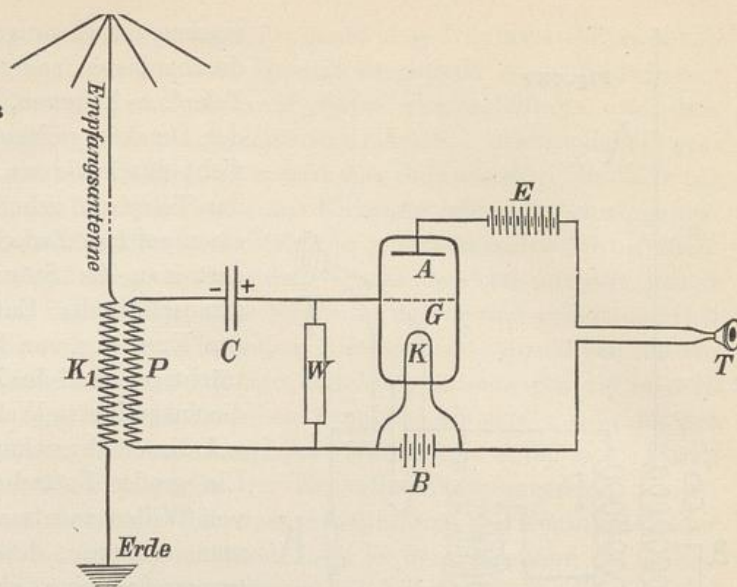


raschen Schwingungen durch sich hindurchzulassen, so daß sie nicht an das Telephon kommen, dagegen die von dem Detektor gleichgerichteten Ströme nicht durchzulassen, so daß sie durch das Telephon gehen müssen. Durch einen solchen Zwischenkreis vermindert man die Störungen, die durch atmosphärische Entladungen häufig den Empfang von Depeschen beeinträchtigen, weil der Zwischenkreis nur die ausgesiebten Wellen hindurchläßt, auf die er abgestimmt ist.

Ein großer Fortschritt im Empfang von Wellen wurde aber gemacht, als man erkannte, daß auch die *Elektronenröhre* eine ebensolche Gleichrichterwirkung wie die Kristalldetektoren, eine einseitige Wirkung bei auffallenden Wellen zeigt. Die Elektronenröhre kann in gewisser Schaltung, in der man sie als *Audion* bezeichnet, auch als Detektor wirken und ist jetzt sogar von allen Detektoren der zuverlässigste und am meisten benutzte. Der Anodenstrom führt ja positive Elektrizität von der Anode durch das Gitter zur Kathode, oder negative Elektrizität von der Kathode durch das Gitter zur Anode. Je stärker

also der Anodenstrom ist, desto mehr negative Elektrizität wird von der Kathode zum Gitter fortgeführt, je schwächer er ist, desto weniger. Läßt man nun auf den Gitterkreis (zwischen Gitter und Kathode) einen Wellenzug fallen, so wird durch die positiven Teile dieser Schwingungen dem Gitter positive Elektrizität zugeführt, die aber durch die von der Kathode ankommenden negativen Elektronen mehr oder minder neutralisiert wird, während die an das Gitter ankommenden negativen Teile der Schwingung das Gitter negativ laden, ohne daß diese Ladung neutralisiert wird. Es wird also dadurch das Gitter durch die aufeinander folgenden Schwingungen des Wellenzuges immer mehr *negativ* geladen. Um diese Eigenschaft des Audions für die Detektorwirkung zu benutzen, machen wir eine Schaltung wie in **Fig. 188**. Von der Empfangsantenne werden durch den Transformator $K_1 P$ die Schwingungen auf den Gitterkreis $P C$ übertragen, der bei C einen Kondensator besitzt. Dieser Kreis ist einerseits

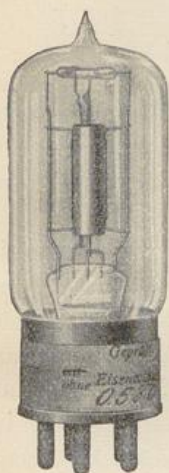
Fig. 188



an das Gitter G , anderseits an die Kathode K der Elektronenröhre gelegt. Zugleich sind diese aber auch durch einen parallel zum Kondensator C geschalteten sehr großen Widerstand W verbunden. Im übrigen ist an die Elektronenröhre, wie gewöhnlich, die Anodenbatterie E gelegt, und in den Anodenkreis ist direkt oder durch einen Transformator ein Telephon T eingeschaltet.

Kommt nun ein Wellenzug an die Empfangsantenne an, so wird das Gitter durch die in dem Wellenzug vorhandenen Schwingungen allmählich immer stärker negativ geladen. Die mit ihm verbundene Kondensatorplatte wird dadurch, daß ihr negative Elektrizität fortgenommen wird, positiv, die andere negativ geladen. Hört der Wellenzug auf, so entladet sich der Kondensator und mit ihm das Gitter durch den Widerstand W . Es tritt also bei jedem Wellenzug (nicht bei jeder Schwingung) eine Entladung des Kondensators ein. Während nun das Gitter negative Ladung enthält, ist der Anodenstrom geschwächt, kommt das Gitter nach Abströmung seiner Ladung durch den Widerstand W wieder in den ungeladenen Zustand, so wird der Anodenstrom verstärkt. Man erhält also Abnahme und Zunahme des Anodenstromes in derselben Zahl, in der die Wellenzüge ankommen, und diese Schwankungen hört man im Telephon als Töne von bestimmter Höhe. *Dadurch ist das Audion zum Detektor geworden.* Es konkurriert darin nicht bloß mit den Kristalldetektoren, sondern, da ja die Anodenströme stärker sind als die Gitterströme, verstärkt es zugleich diese Ströme. Es wirkt gleichzeitig als Detektor und als Verstärker. Der große Widerstand ist jetzt gewöhnlich ein sogenannter *Löwe-Widerstand*, der aus zerstäubtem Metall auf Glas besteht, oder auch ein *Telefunken-Ohm-Widerstand*. Die in einem Audion (oder Kristalldetektor) erzeugten Schwingungen haben nicht die hohe Frequenz wie die ankommenden Schwingungen, sondern sie sind *niederfrequent*, ihre Frequenz ist so groß, wie sie die Töne des Telephons haben.

Für das Audion und die Verstärkerröhren, welche keine so große Energie aufzunehmen brauchen wie die Senderöhren, werden die Röhren jetzt in Formen hergestellt, wie sie **Fig. 189** zeigt. Die Zuleitung zum Gitter, zur Anode, zum Heizfaden und zur Erde sind mit den vier Füßen der Röhre verbunden, mittels deren sie in zugehörige Sockel eingesetzt werden. Der Faden der Röhren besteht aus Wolfram. Man hat aber gefunden, daß Wolframfäden, welche mit Thorium belegt sind, beim Glühen sehr viel stärkere Elektronenemission hervorbringen als reine Wolframfäden. Noch größere Emission als die Thoriumfäden geben Fäden, welche mit Bariumoxyd belegt sind (Oxydfäden). Solche Röhren brauchen also für dieselbe Emission einen viel

Fig. 189

schwächeren Heizstrom als die reinen Wolframfäden. Weil aber diese Fäden durch kleine Gasmengen, die etwa in der Röhre noch vorhanden sind, leiden, so wird das Glas durch eine Magnesiumschicht verspiegelt, weil Magnesium diese Gasmengen absorbiert. Infolge der Verspiegelung sieht man also bei diesen Röhren, von denen **Fig. 190** eine darstellt, von dem Innern nichts. Um einen Anhalt über die Verhältnisse der Röhren zu geben, sei angeführt, wieviel Heizspannung und Heizstrom drei vielbenutzte Röhren brauchen und wie groß ihre Emission ist. Unter *Emission* ist die Stromstärke verstanden, welche der glühende Faden der Röhre bei der gegebenen Temperatur aussendet.

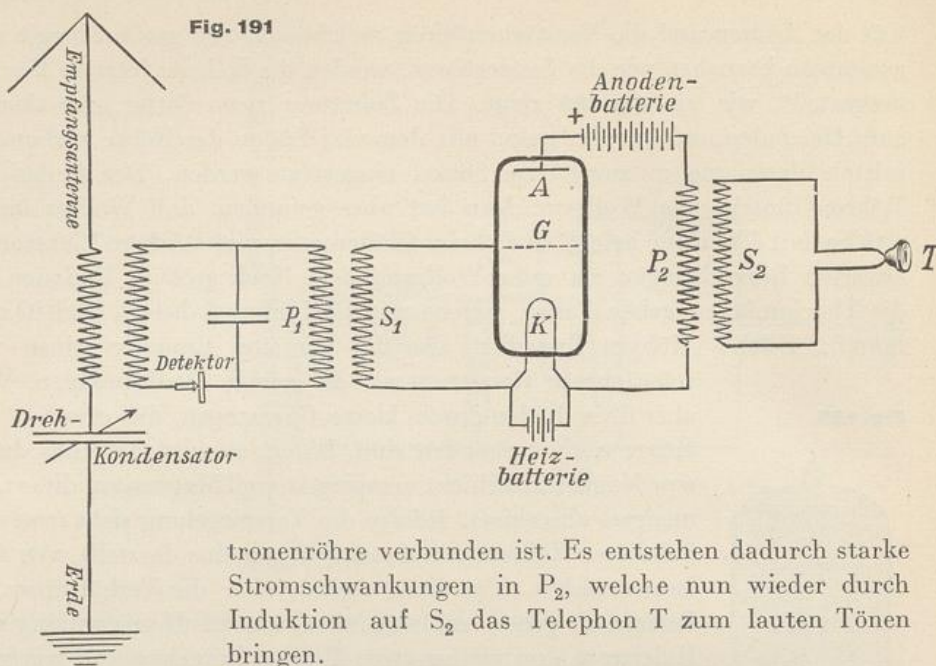
Röhre	Heizspannung	Heizstrom	Emission
RE 0,54	4 Volt	0,06 Amp.	5 Milliamp.
RE 0,74	4 „	0,06 „	20 „
RE 1,54	4 „	0,15 „	50 „

Fig. 190

Die erste Röhre enthält einen Thoriumfaden, die beiden anderen Oxydfäden.

Die niederfrequenten Schwingungen, wie sie durch einen Kristalldetektor oder ein Audion entstehen, kann man nun auch wieder verstärken, indem man sie auf eine Elektronenröhre, und zwar auf deren Gitterkreis, einwirken läßt. Eine dazu dienende Schaltung ist in **Fig. 191** gezeichnet. In der Empfangsantenne entstehen durch die ankommenden Wellen sehr schwache Schwingungen. Diese wirken induzierend auf den Kreis, in welchem der Detektor und eine Spule P_1 enthalten sind. Durch den Detektor entstehen in diesem Kreis bei jedem an die Empfangsantenne ankommenden Wellenzug langsame Stromänderungen. Diese wirken nun wieder induzierend auf die Spule S_1 , welche mit dem Gitter der Elek-

Fig. 191



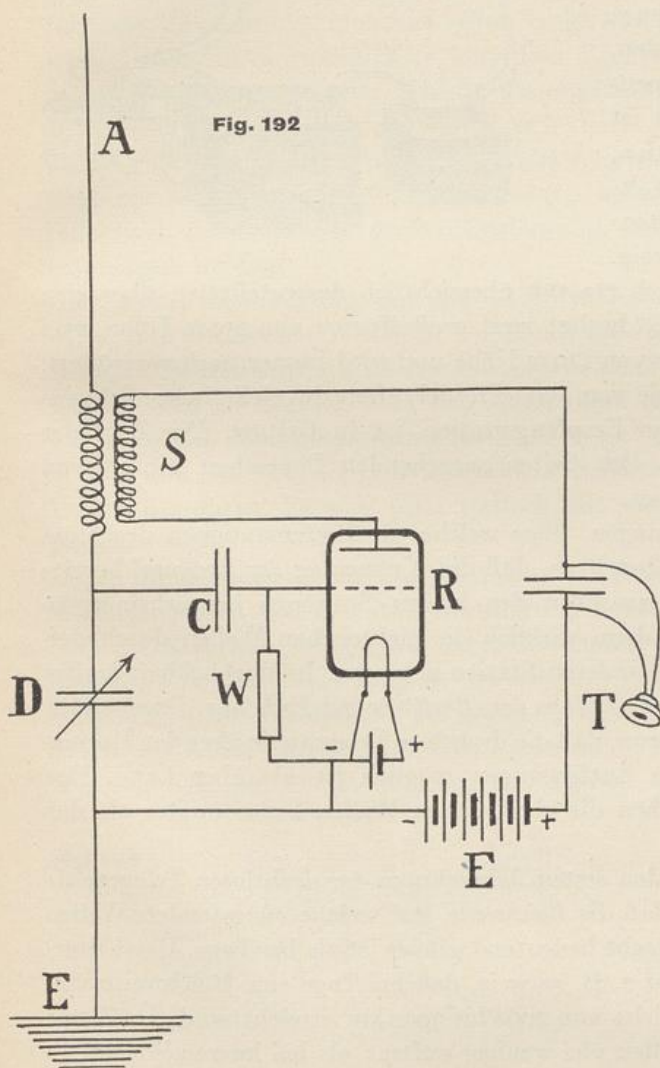
tronenröhre verbunden ist. Es entstehen dadurch starke Stromschwankungen in P_2 , welche nun wieder durch Induktion auf S_2 das Telephon T zum lauten Tönen bringen.

Man bezeichnet eine Elektronenröhre in dieser Anordnung als *Lautverstärker* oder *Niederfrequenzverstärker*, weil sie die langsamen Telefonschwingungen verstärkt. Indem man diese verstärkten Ströme durch eine zweite und eventuell noch eine dritte und vierte Röhre weiter verstärken läßt, kann man, wie erwähnt, ohne Verzerrung der Sprache die Stärke der Ströme auf das 20 000fache bringen und so die allerschwächsten ankommenden Wellenzüge in einem Telephon hören. Ja, man kann aber auch durch solche Röhren die ankommenden raschen Schwingungen, also bevor sie zum Detektor oder Audion gelangen, verstärken und bezeichnet sie dann als *Hochfrequenzverstärker*. Von der Antenne an gerechnet kommen also zuerst die Hochfrequenzverstärker, weiter dann das Audion (oder der Kristalldetektor) und dann die Niederfrequenzverstärker. Speziell beim Audion läßt sich die Wirkung noch erheblich steigern dadurch, daß man die Audionröhre mit der Empfangsantenne *rückkoppelt*. Denn in dem Audion entstehen ja durch die Koppelung mit der Antenne hochfrequente Schwingungen, die in der Röhre hin und her gehen. Aber das Audion benutzt diese an sich nicht, sondern es benutzt in seiner Wirkung nur die langsamen Impulse, welche durch das Aufladen und Entladen des Kondensators entstehen und welche auf das Telephon wirken. Wenn man die hochfrequenten Schwingungen, die im Audion vorhanden sind, rückwärts auf die Antenne (oder eventuell einen Hochfrequenzverstärker) überträgt, so kann man die Schwingungen noch verstärken. Die einfache Schaltung zeigt **Fig. 192**. An die Antenne wird, wie bei der früher betrachteten Audionschaltung, das Gitter mittels des Kondensators C und mit dem großen Widerstand W angeschaltet. In dem Anodenkreis der Batterie E liegt aber noch die Koppelungsspule S , welche

die Röhrenschwingungen auf die Antenne überträgt, so daß jetzt kräftigere Schwingungen durch das Telephon T gehört werden. Man darf aber die Rückkoppelung nicht zu eng machen, weil sonst die Schwingungen des Empfangskreises von der Antenne ausgesendet werden. Eine solche Sendeantenne in den Händen eines Laien stört dann alle benachbarten Empfänger. Deswegen ist die Rückkoppelung des Audions namentlich beim Rundfunk nur mit Kautelen erlaubt.

Bei der großen Empfindlichkeit der Empfangsapparate, wenn sie mit solchen Verstärkern ausgerüstet sind, ist es nun auch gar nicht mehr nötig, an der Empfangsstation große, hohe Antennen anzuwenden. Schon niedrige Antennen, von wenigen Metern Höhe, nehmen oft genügend Schwingungsenergie auf, um mit den Lautverstärkern die Morsezeichen hören zu lassen. Ja, man ist jetzt sogar

dazu übergegangen, Antennen für die Empfangsstationen zu benutzen, die nicht mehr aus hochgespannten Drähten bestehen, sondern aus einem niedrigen Rahmen von vielleicht 1—2 m Seitenlänge, der mit einer Anzahl von Drähten umgeben ist. Solche *Rahmenantennen*, von denen eine in Verbindung mit einem Drehkondensator, einem Hochfrequenzverstärker, dessen letzte Röhre ein Audion ist, und einem dahintergeschalteten Niederfrequenzverstärker in Fig. 193 gezeichnet ist, kann man in jedem Zimmer aufstellen, und sie genügen, um mit den Lautverstärkern von nicht zu weit entfernten Stationen die ankommenden Zeichen zu hören. Dabei zeigen die Rahmenantennen eine ganz ausgesprochene Richtwirkung. Sie reagieren nämlich am stärksten auf diejenigen



ELFTES KAPITEL

Wellen, die in der Richtung der Rahmenenebene ankommen, und reagieren gar nicht auf Wellen, deren Richtung senkrecht zur Ebene des Rahmens ist. Indem man den Rahmen drehbar anordnet, kann man also immer den stärksten Empfang erzielen und zugleich die Richtung erkennen, aus der die Wellen ankommen.

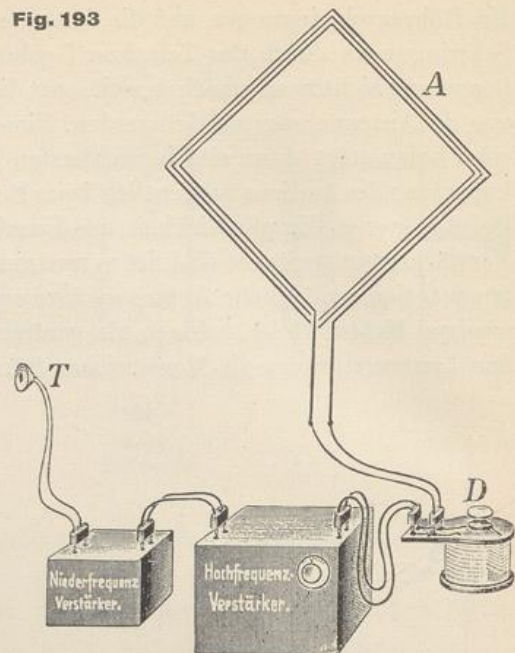
Die großen Sendestationen dagegen, welche über die ganze Erde ihre Telegramme senden, haben enorm große Antennenanlagen. In Deutschland ist Nauen die größte Station, welche den telegraphischen Weltverkehr unterhält. Die Antennenanlage in Nauen ist riesig.

Sie erstreckt sich, wie durch **Fig. 194** übersichtlich dargestellt ist, über eine Länge von fast $2\frac{1}{2}$ km. Sie besitzt zwei große Türme von 250 m Höhe, zwei weitere von 150 m und vier von 120 m Höhe und wird immer noch vergrößert. Die Station setzt die Energie von 1000 Pferdekraften in elektrische Schwingungen um. Die zugehörige Empfangsstation ist in Geltow. Die Zahl der drahtlos von Nauen nach allen Seiten ausgehenden Depeschen nimmt von Monat zu Monat erheblich zu.

Bei diesen großen Entfernungen, über welche die Riesenstationen drahtlose Telegramme senden, ist zu beachten, daß die *Krümmung der Erdkugel* bereits kilometerhohe Hindernisse zwischen den beiden Stationen hervorbringt, so daß die Frage auftritt, ob denn wirklich die elektrischen Wellen durch den Luftraum von der einen zur anderen Station gelangen. In Wirklichkeit *breiten sich die Wellen zum großen Teil längs der Oberfläche der Erde aus*. Daraus läßt sich auch die Tatsache erklären, daß die drahtlose Telegraphie über der Meeresoberfläche auf viel weitere Entfernungen möglich ist als über Land. Das Wasser des Meeres leitet eben die elektrischen Wellen besser weiter als das Gestein des Erdbodens.

Die Beobachtungen, die in den ersten Jahrzehnten der drahtlosen Telegraphie gemacht wurden, zeigten, daß die *Reichweite*, auf welche ausgesendete Wellen noch erkannt werden, bei Nacht bedeutend größer ist als bei Tage. Der Unterschied ist oft enorm, er geht z. B. so weit, daß bei Tage eine Reichweite von 200, bei Nacht aber eine solche von 2000 bis 3000 km erreicht wird. Da dieser Unterschied bei langen Wellen viel weniger auftrat als bei kurzen Wellen, so

Fig. 193



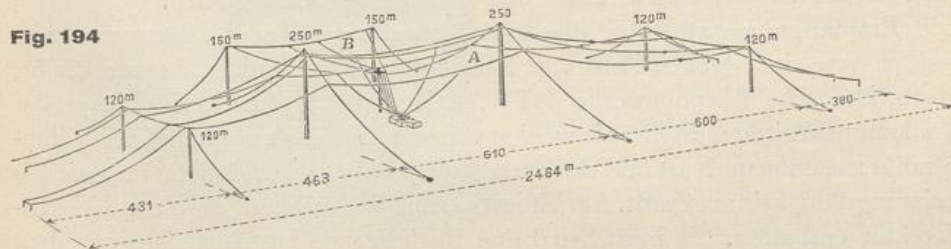
hat sich die drahtlose Telegraphie zuerst so entwickelt, daß man mit der Wellenlänge der angewendeten Schwingungen immer mehr in die Höhe ging. Man arbeitete mit Wellen, deren Länge mehr als 10 000 m betrug. Bei kurzen Wellen, solchen unter 1000 m, war auf so große Entfernungen kein Empfang mehr zu erhalten. Überraschenderweise aber hat sich später gezeigt, daß man mit sehr kurzen Wellen, solchen von 10 bis 100 m Länge, wieder große Reichweiten unter Umständen erlangen kann. Dabei hat sich weiter gezeigt, daß diese Ausbreitung kurzer Wellen eine sehr merkwürdige ist. Um den Sender herum, auf verhältnismäßig kleine Entfernung, geben sie guten Empfang, dann aber kommt oft eine Zone, in der man sie durchaus nicht empfangen kann, die sogenannte *tote Zone*, und nach dieser Zone erhält man wieder guten Empfang, und zwar bis auf enorme Reichweiten. Die Erklärung dafür ergibt sich durch folgende Betrachtung. Man hat schon lange aus theoretischen Gründen vermutet, daß sich in großer Höhe über dem Erdboden (etwa in 100 km Höhe) in der Luft eine gut leitende Schicht, die sogenannte *Heavisideschicht*, befindet, welche die auf sie fallenden Wellen reflektiert. Daraus ergibt sich zur Erklärung der Reichweite der kurzen Welle folgendes: Die vom Sender ausgestrahlten Wellen gehen scharf nach oben, werden an der Heavisideschicht reflektiert und treffen in großer Entfernung wieder auf den Boden, wo sie empfangen werden.

Eine zweite Erscheinung, die mit dieser vielleicht zusammenhängt, besteht darin, daß bei kurzen Wellen in der Nacht die Empfangsstärke oft innerhalb weniger Minuten sehr stark schwankt, indem sie oft um das Vier- bis Fünffache stärker wird als normal. Man bezeichnet diese Erscheinung als *Fadingeffekt*. Sie kann auf dem Zusammenwirken der vom Sender ausgehenden direkten Wellen und der von der Heavisideschicht reflektierten und an ihr gleitenden Wellen herrühren. Es wird jetzt vielfach mit solchen kurzen Wellen telegraphiert.

Durch die bequeme Erzeugung ungedämpfter Schwingungen, wie sie in großer Vollkommenheit von den Röhrendern geliefert werden, ist nun aber nicht bloß die drahtlose Telegraphie vervollkommen worden, sondern es ist auch eine *drahtlose Telephonie* möglich geworden.

Man kann in der Tat drahtlos auf große Entfernungen telephonische Gespräche durch den Äther übermitteln. Wenn man nämlich bei solchen ungedämpften Schwingungen, die von Röhrendern ausgehen, in den Gitterkreis ein Mikro-

Fig. 194



ELFTES KAPITEL

phon einschaltet und in dasselbe spricht, so überlagern sich die raschen Röhrenschwingungen und die langsamen Tonschwingungen in der Weise, daß die Amplitude der raschen Schwingungen nicht dauernd konstant bleibt, sondern daß die Amplitude bei den aufeinander folgenden Wellen in dem Tempo der Mikrophonschwingungen vergrößert oder verringert wird. Je nach den in das Mikrophon hineingesprochenen Tönen gehen also von der Röhre und daher auch von der Sendeantenne Schwingungen variabler Stärke aus, die, an der Empfangsstation ankommend, ein dortiges Telephon zur Wiedergabe der Töne veranlassen.

Auf dieser Tatsache hat sich nun bekanntlich seit einigen Jahren ein ganz neues Gebiet der Technik entwickelt, der *Rundfunk*. In einer großen Sendestation, die von fachmännisch gebildeten Personen geleitet wird, werden Musikauführungen aller Art, aber auch Vorträge, politische Ansprachen, Märchen-erzählungen für Kinder veranstaltet, die in dieser Station durch Mikrophon auf die Senderöhren wirken und die dann durch die Ausstrahlung der Antenne nach allen Richtungen weitergegeben werden. Jeder, der im Besitz eines auf die betreffende Wellenlänge abstimmbaren Empfangsapparates von genügender Empfindlichkeit ist, kann dadurch ohne weiteres diese Darbietungen hören.

In Deutschland ist der Unterhaltungsrundfunk so eingerichtet und in gewisser Weise behördlich geregelt, daß an gewissen Orten große *Rundfunksender* von Reichs wegen aufgestellt sind, deren Programm von privaten Gesellschaftender „Deutschen Stunde“ und anderen, gemacht wird. Die deutschen Rundfunksender und die Wellenlänge, mit denen sie senden, sind folgende:

Nürnberg Wellenlänge 240 m, Köln 263,2 m, Kaiserslautern 272,7, Königsberg 280,4, Breslau 321,2, Gleiwitz 326,4, Leipzig 361,9, Stuttgart 374,1, Hamburg 391,6, Frankfurt a. M. 421,3, Kattowitz 422,5, Köln 462,2, Berlin W 475,4, München 536,7, Königswusterhausen (Berlin) 1649.

Außerdem sind an einigen Orten noch Nebensender aufgestellt.

Einige auswärtige Sender mit ihren Wellenlängen sind folgende:

Prag 348,9, London 358, Madrid 375, Toulouse 389,6, Bern 411, Rom 447,8, Brüssel 408, Wien 517,2, Budapest 555,6, Leningrad 1000, Warschau 1111, Konstantinopel 1200, Moskau 1450, Daventry (London) 1562,5, Paris 1750.

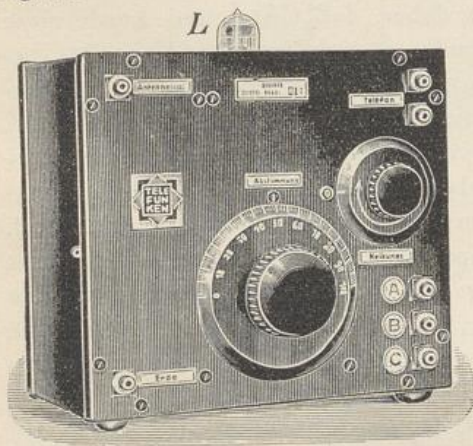
Von der Einrichtung der Sendeapparate, die natürlich sehr vielen Bedingungen genügen müssen, um die Musik und Sprache rein, ohne Störungen, von den Mikrophonen aufnehmen zu lassen und sie verstärkt auf die Senderöhren und die Antenne zu übertragen, kann hier nicht gesprochen werden.

Die Empfangsapparate, von den einfachsten bis zu den vollkommensten, werden von einer großen Zahl von Fabriken, wie Telefunken, Lorenz, Seibt, Huth, Deutsche Telephonwerke (DTW.), Siemens & Halske, AEG., in großer Vollkommenheit hergestellt. Sie werden von allen Firmen zweckmäßig und kompendiös zusammengebaut und den verschiedenen Wünschen und der finanziellen Leistungsfähigkeit angepaßt. Am billigsten sind die Apparate, die einen Kristall-detektor enthalten. Sie brauchen keine Batterie; sie bestehen bloß aus dem

DIE ELEKTRISCHEN SCHWINGUNGEN

Detektor selbst und einem drehbaren Kondensator und einer Koppelungsspule, wobei auch diese variabel eingerichtet sein kann. Die Empfangsapparate der verschiedenen Firmen unterscheiden sich äußerlich und im Innern nur wenig voneinander. Alle zeigen von außen einen oder mehrere Drehknöpfe zur Abstimmung, ferner Anschlußstellen für die Antenne und die Erde, für die Telephone und für den Detektor. Für die unmittelbare Umgebung eines Rundfunksenders — bis auf 30—50 km Entfernung von ihm — reichen die einfachen Apparate mit Kristalldetektor vollkommen aus. Die Antenne wird an den Kasten angeschlossen und durch das Koppelungsvariometer mehr oder minder eng mit dem Empfangskreis gekoppelt, während der Drehkondensator die Abstimmung auf die ankommenden Wellen bewirkt. Das Umständlichste bei der ersten Einrichtung dieser Apparate ist, daß man eine Hochantenne benötigt. Am einfachsten spannt man eine T-Antenne auf dem Dach des Hauses aus und führt einen Draht von ihr längs der Hauswand, aber von ihr abstehend, in die Wohnung. Als behelfsmäßigen Ersatz für Hochantennen nimmt man oft sogenannte *Innenantennen*. Man spannt an der Decke eines Zimmers oder Flures einen Draht in vielen Gängen hin und her, durch Porzellanknöpfe isoliert, die Enden lötet oder verschraubt man zusammen und führt von dieser Stelle aus einen Draht, von der Wand isoliert, herunter bis zu dem Apparat, der anderseits mit der Erde verbunden wird. Man kann auch die Klingelleitung des Hauses ebenso benutzen, indem man an sie einen Zuführungsdraht für den Apparat anlegt. Benutzt man die Lichtleitung (sogenannte *Lichtantenne*), so muß man in diesen Zuführungsdraht einen Kondensator legen, damit nicht die Lichtströme in den Empfangsapparat und von diesem zur Erde gehen. Natürlich erhält man durch solche Innenantennen nur $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{30}$ der Lautstärke einer Hochantenne und kann mit solchen nur wenig entfernte Sender aufnehmen. Bedeutend leistungsfähiger sind die Apparate mit Elektronenröhren, wobei diese zunächst als Detektor (Audion) und als Niederfrequenzverstärker zur Anwendung kommen. Es gehören dann zum Empfangsapparat noch die Batterien (gewöhnlich 50—100 Volt für den Anodenstrom und 2—6 Volt für den Heizstrom) und die Elektronenröhren selbst. Aber die Abstimmungsschärfe und die Reichweite solcher Apparate ist eine bei weitem größere. Im übrigen sind die Apparate ebenso kompakt wie die vorher besprochenen. **Fig. 195** zeigt einen einfachen Röhrenempfänger der Telefongesellschaft. Man sieht oben die Elektronenröhre. Die Röhre ist ein Audion, aber mit Rückkoppelung

Fig. 195



zum Empfangsapparat noch die Batterien (gewöhnlich 50—100 Volt für den Anodenstrom und 2—6 Volt für den Heizstrom) und die Elektronenröhren selbst. Aber die Abstimmungsschärfe und die Reichweite solcher Apparate ist eine bei weitem größere. Im übrigen sind die Apparate ebenso kompakt wie die vorher besprochenen. **Fig. 195** zeigt einen einfachen Röhrenempfänger der Telefongesellschaft. Man sieht oben die Elektronenröhre. Die Röhre ist ein Audion, aber mit Rückkoppelung

ELFTES KAPITEL

versehen, wodurch sie zugleich die ankommenden Schwingungen verstärkt. Die Heizung der Röhre wird durch einen Widerstand reguliert, den man durch Drehen des rechts vorn sichtbaren Knopfes mehr oder minder ausschaltet. Der Drehknopf in der Mitte dient für die Abstimmung des Apparates und zugleich für die Regulierung der Rückkoppelung. Sollen die erzeugten Tonschwingungen verstärkt werden, so wird ein zweiter Kasten mit diesem Empfänger verbunden, in welchem die Röhren für die Niederfrequenzverstärkung mit den zugehörigen Transformatoren und Verbindungen enthalten sind. In ähnlicher Weise sind die einfachen Röhrenempfänger aller anderen Firmen eingerichtet, nur daß häufig Audionempfänger und Niederfrequenzverstärker in demselben Kasten vereinigt sind. Als Anodenbatterie nimmt man meistens Trockenelemente, wenn man nicht Akkumulatoren zur Verfügung hat.

Die Lichtleitung für den Anodenstrom zu benutzen, hat gewisse Schwierigkeiten, da die Ströme der Lichtleitung gewöhnlich von Dynamomaschinen geliefert werden und die — für gewöhnlich unmerklichen — Pulsationen in diesen durch die Hochfrequenzapparate aufgenommen und verstärkt wiedergegeben werden. Es werden aber jetzt von verschiedenen Firmen sogenannte *Netzanschlußgeräte* fabriziert, welche eben die Benutzung der gewöhnlichen Lichtleitung gestatten. Führt die Lichtleitung Gleichstrom, so braucht man ihren Strom nur durch Drosselspulen zu senden, die die Pulsationen nicht durchlassen, und dann zu einem großen Widerstand, an dem man Abzweigungen anbringt, die für den Anodenstrom und den Heizstrom die erforderliche Spannung liefern. Führt dagegen die Lichtleitung Wechselstrom, so muß man diesen erst gleichrichten, was jetzt auch durch Elektronenröhren erzielt werden kann.

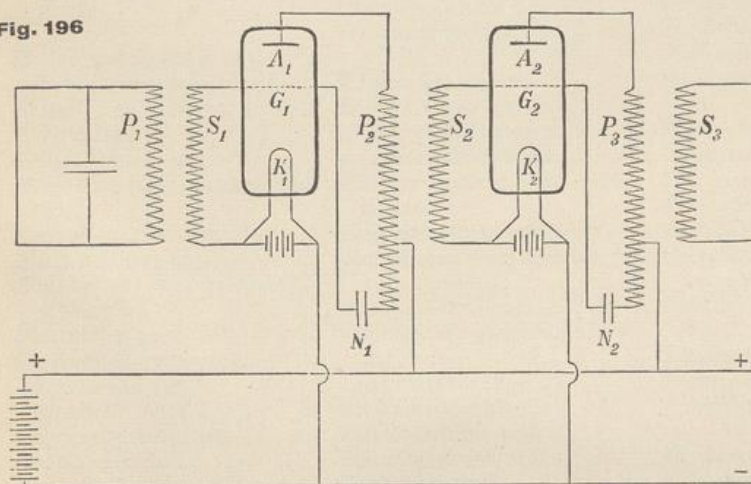
Will man aber von sehr entfernten Stationen noch die Rundfunkdarbietungen empfangen können, so muß man erstens eine Hochantenne und zweitens Apparate benutzen, die nicht bloß Niederfrequenzverstärker, sondern die auch noch Hochfrequenzverstärker enthalten. Aber solche Hochfrequenzverstärker in mehreren Stufen für den Rundfunkempfang einzurichten, war keine leichte Aufgabe. Die Hauptschwierigkeit lag in der *Pfeifneigung* der Röhren. Diese kommt im allgemeinen daher, daß Gitter und Anode einer Röhre zusammen ja einen kleinen Kondensator bilden, der Kapazität besitzt, wenn sie auch klein ist (10—20 cm) und der infolgedessen Schwingungskreise auch miteinander koppeln kann, die voneinander unabhängig sein sollen. Dadurch übt diese *Gitter-Anoden-Kapazität* oft die Funktion einer Rückkoppelung aus. Man mußte versuchen, diese unbeabsichtigte Rückkoppelungen zu verhindern. Das kann man dadurch, daß man eine zweite sehr kleine Kapazität noch zuschaltet, welche der Gitter-Anoden-Kapazität entgegenwirkt. Man bezeichnet diese jetzt häufig benutzte Schaltung als *Neutrodynschaltung*. In **Fig. 196** ist die Schaltung zweier Hochfrequenzverstärker mit Neutrodyn gezeichnet. Die zwei Röhren sind parallel an die von der Anodenbatterie ausgehenden (unten gezeichneten) Leitungen angeschlossen. An die Gitter G_1 und G_2 sind die kleinen Neutrodynekondensatoren N_1 N_2 so angeschaltet, daß sie in den

Spulen P_2 und P_3 gerade der Gitter-Anoden-Kapazität entgegenwirken. Denn die Anode und die rechte Platte von N_1 und N_2 haben dabei immer gleiche Wechselstromspannung, die sich also in den Spulen P_2, P_3 aufheben. Jede solche Stufe der Hochfrequenzverstärkung ist für sich also abgeglichen und störungsfrei, so daß man leicht mehrere Hochfrequenzstufen hintereinander schalten kann. Man erhält solche kleine Neutrodyndkondensatoren jetzt käuflich.

Die Empfangsapparate werden oft nach der Zahl der angewendeten Röhren unterschieden als Dreiröhren-, Vierröhren-, Fünfröhrenapparate usw. Eine der Röhren ist immer ein Audion, die anderen sind Niederfrequenzverstärker und eventuell Hochfrequenzverstärker. Bei dem Fünfröhrenapparat z. B. sind gewöhnlich zwei Hochfrequenzstufen, dann ein Audion und dann zwei Niederfrequenzstufen angebracht. Die Kondensatoren sind als Drehkondensatoren gebildet und regulierbar. Die Spulen, die jetzt gewöhnlich, um unbeabsichtigte Induktionen zu vermeiden, in Metallhüllen eingeschlossen sind, werden zuweilen so eingerichtet, daß sie durch Umschalten (Parallel- oder Hintereinanderschalten) einmal die nötige Selbstinduktion für kürzere Wellen, das andere Mal für längere Wellen geben. Die Abstimmung auf die ankommenden Wellen hat man, da die Apparate meistens in Laienhänden sind, sehr vereinfacht. Gewöhnlich sind nur die Wellenabstimmung, dann die Rückkoppelung und die Antennenkoppelung variabel und von dem Benutzer einzustellen.

In vielen Fällen ist der Rundfunkempfang ein subjektiver. Ein oder zwei Personen halten sich die Telephone an die Ohren, die an den Empfangsapparat angeschlossen sind, und hören die ankommenden Darbietungen. Immer mehr aber tritt das Bedürfnis und der Wunsch an den Tag, diese Musik- und Wortübertragungen gleichzeitig einem ganzen Auditorium vorzuführen, und dazu braucht man *Lautsprecher*. Die Lautsprecher sind in den letzten Jahren sehr vervollkommen worden. Es handelt sich bei ihnen immer darum, eine möglichst große Luftmasse in Schwingungen zu versetzen, damit die Töne laut sind,

Fig. 196



ELFTES KAPITEL

dabei aber zu bewirken, daß die Töne verschiedener Höhe gleichmäßig verstärkt werden und daß insbesondere der Lautsprecher nicht besondere Eigenschwingungen besitzt, wodurch jede Tonwiedergabe fremde Beimengungen erhalten würde. Die letztere Forderung hat man dadurch erfüllt, daß man Membranen von solcher Größe nahm und sie so einspannte, daß ihre Eigenschwingungen unterhalb der Hörbarkeitsgrenze lagen. Bei den einfachen *Protoslautsprechern* von Siemens & Halske wird ein großes gewölbtes Pertinaxblatt an den Rändern befestigt. In der Mitte ist es gefalzt, und an diesen Falz greift eine Strebe an, welche elektromagnetisch die Schwingungen auf das Blatt überträgt. Der Lautsprecher befindet sich in einem Holzgehäuse mit durchbrochener Vorder- und Rückwand, die mit Seide unterlegt sind. Er gibt die Sprache und Musik tadellos laut wieder. Andere derartige Lautsprecher, auch mit ausgezeichneter Wirkung, sind das Geaphon und das Geakkord der AEG. Für sehr große Räume und für das Freie ist von Siemens & Halske der *Blatt-haller* nach denselben Prinzipien konstruiert, welcher, mit Strömen von 20 Ampere betrieben, eine ganz außerordentliche Klangfülle aussendet, die viele hundert Meter weit gehört werden kann.

Die außerordentlichen Fortschritte, welche die drahtlose Telegraphie und Telephonie sowohl in der Erzeugung elektrischer Schwingungen, wie in dem Empfang elektrischer Wellen und in der lauten Wiedergabe der übermittelten Tonschwingungen gemacht hat, sind durch die unablässige wissenschaftliche und technische Forschung erzielt worden, welche alle Einzelheiten und insbesondere alle Unvollkommenheiten so lange studiert hat, bis sie ihre letzten Ursachen gefunden, und dadurch zur Beseitigung dieser Unvollkommenheiten geführt hat. Noch nie hat sich eine Technik von ihren Anfängen aus so rasch und so vollkommen entwickelt wie gerade die Technik der raschen elektrischen Schwingungen, die Hochfrequenztechnik.

REGISTER

- Abdrücke**, galvanische 145.
Abstimmung von Schwingungskreisen 186.
Äquivalentgewichte 130. 134.
Afa-Akkumulatoren 138.
Akkumulatoren 8. 138.
Akkumulatortriebwagen 140.
Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (A.E.G.) 85. 104. 112. 118. 121. 123. 141. 198. 202.
Allgemeiner Magnetismus 46.
Ampère 41.
Ampere (Stromeinheit) 11. 132.
Amperemeter 11 f. 69. 76.
Ampèresches Gestell 39.
Ampèresche Schwimmerregel 6. 34.
Amperewindungen 38.
Anker von Maschinen 73.
Anlasser 115.
Anode 128. 146.
Anodenbatterie 173.
Antenne 185. 199.
Antikathode 152.
Anziehung und Abstoßung geladener Körper 1. 29.
Arbeitsleiter 124.
Arco, Graf 178.
Argonalgleichrichter 112.
Atome der Elektrizität 135.
Audion 191 f.
Ausgangstransformator 174.
Ausschalter 25. 99.
Außenbordmotor 141.
Automatische Telephonie 170 f.
Bäder, galvanische 143.
Bahnen, elektrische 124 f.
Batterie, galvanische 9.
Bayernwerk 87.
Bell, Graham 165.
Bergmann Elektrizitätswerke 76.
Beugungsgitter 157.
Bifilare Wicklung 55.
Bildübertragung, telegraphische 176 f.
Blatthaller 202.
Blockkondensator 190.
Bogenlampe 106 f.
Bogenlicht 105 f.
Bohnerapparate 121.
Boote, elektrische 141.
Brennfleck 152.
Brennpunkt in Kathodenröhren 149.
Bügeleisen 104.
Christbaumlampen 96.
Chromnickelstahl 103.
Clausius-Arrheniussche Theorie der Elektrolyse 133.
Compoundmaschinen 65.
Coolidgeöhren 153.
Coulometer 132.
Crookes 148.
Crookesche Röhren 148.
Dampfdynamos 67.
Davy 105.
Dekapieren 143.
Detektorapparate 199.
Detektoren 189.
Deutsche Telephon- und Kabelwerke 112. 198.
Direkte Koppelung 184.
— Rückkoppelung 188.
Drahtlose Telegraphie 189 f.
— Telephonie 197.
Drehfeld, magnetisches 116.
Drehkondensator 186. 188.
Drehspulgalvanometer 5.
Drehstrom 75 f. 82 f.
Drehstrommaschinen 75 f.
Drehstrommotoren 116 ff.
Drehstromtransformatoren 85.
Dreileitersystem 81.
Dreiphasiger Wechselstrom 74.
Dreschmotorwagen 123.
Drosselspule 55.
Dunkelräume 147.
Durchleuchtung 154.
Dynamomaschinen 64 ff.
Edison 81. 92. 101.
Edisonfassung 93.
Effekt, elektrischer 70.
— eines Stromes 28. 91.
Effektverbrauch von Glühlampen 95.
Eingangstransformator 175.
Einphasiger Wechselstrom 74. 126.
Elektrischer Strom 4.
Elektrizität, positive und negative 1.
Elektrizitätsmenge 28.
Elektrizitätszähler 80.
Elektrochemie 145.
Elektroden 128. 146.
Elektrodynamik 41 f.
Elektroinduktion 49.
Elektrokarren 141.
Elektrolyse 128 f.
Elektrolyte 128.
Elektromagnete 33 f.
Elektromagnetismus 33 ff.
Elektromobile 141.
Elektromotoren 114 ff.
Elektromotorische Kraft 12.
Elektronen 27. 135. 149.
Elektronenemission 150.
Elektronenröhren 173 f. 186 f. 189. 191. 193.
Elektrowärmewirtschaft 102 ff.
Elementarquantum, elektrisches 135.
Elemente, galvanische 7 f. 135.
Emission 193.
Empfangsapparate 198.
Enge Koppelung 186.
Erdleitung 159.
Extraströme 54.
Fadingeffekt 197.
Fahrdraht 124.
Farad 32.
Faraday 36. 40. 46. 48. 51. 54. 61. 130.
Faradaysche Gesetze der Elektrolyse 130 ff.
Faradayscher Dunkelraum 147.
Fassungen 92.
Feddersen 180.
Feldmagnet 61.
Feld, magnetisches 36.
Feldstärke 38.
Fernbahnen 126 f.
Fernsehen 176 f.
Fernwirkungen 47.
Flammenbogen 106.
Flüssigkeiten, Widerstand der 16.
Fluoreszenz 148.
Fluoreszenzschirme 154.
Fön 104.
Fokusröhren 152.
Fortschreitende Wellen 182.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Wellen 183.
Foucaultscher Kommutator 26.
Freileitungen 89.
Funke, elektrischer 59. 180.
Funkeninduktor 56 f.
Galvani 1 f.
Galvanische Elemente 7 f.

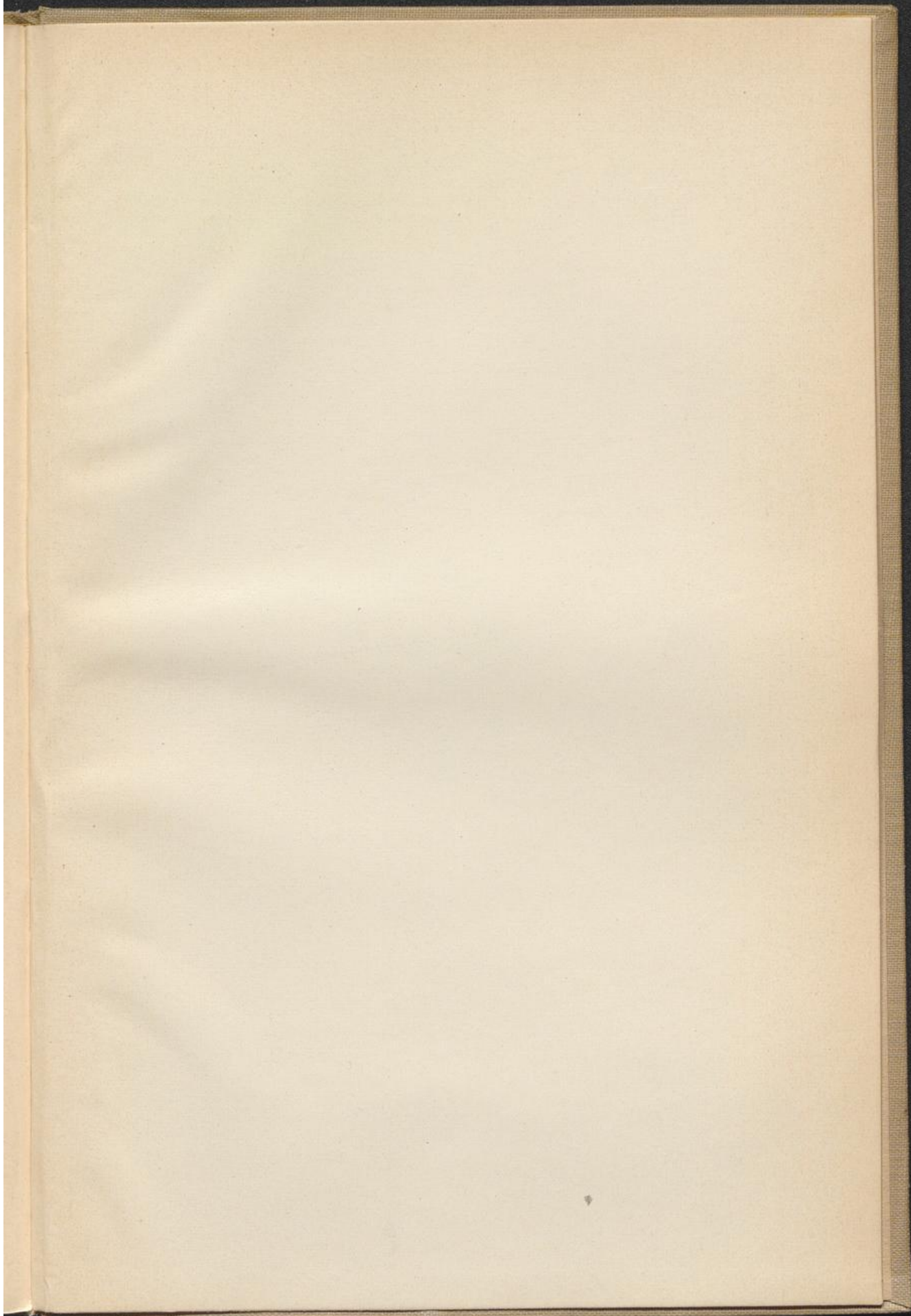
REGISTER

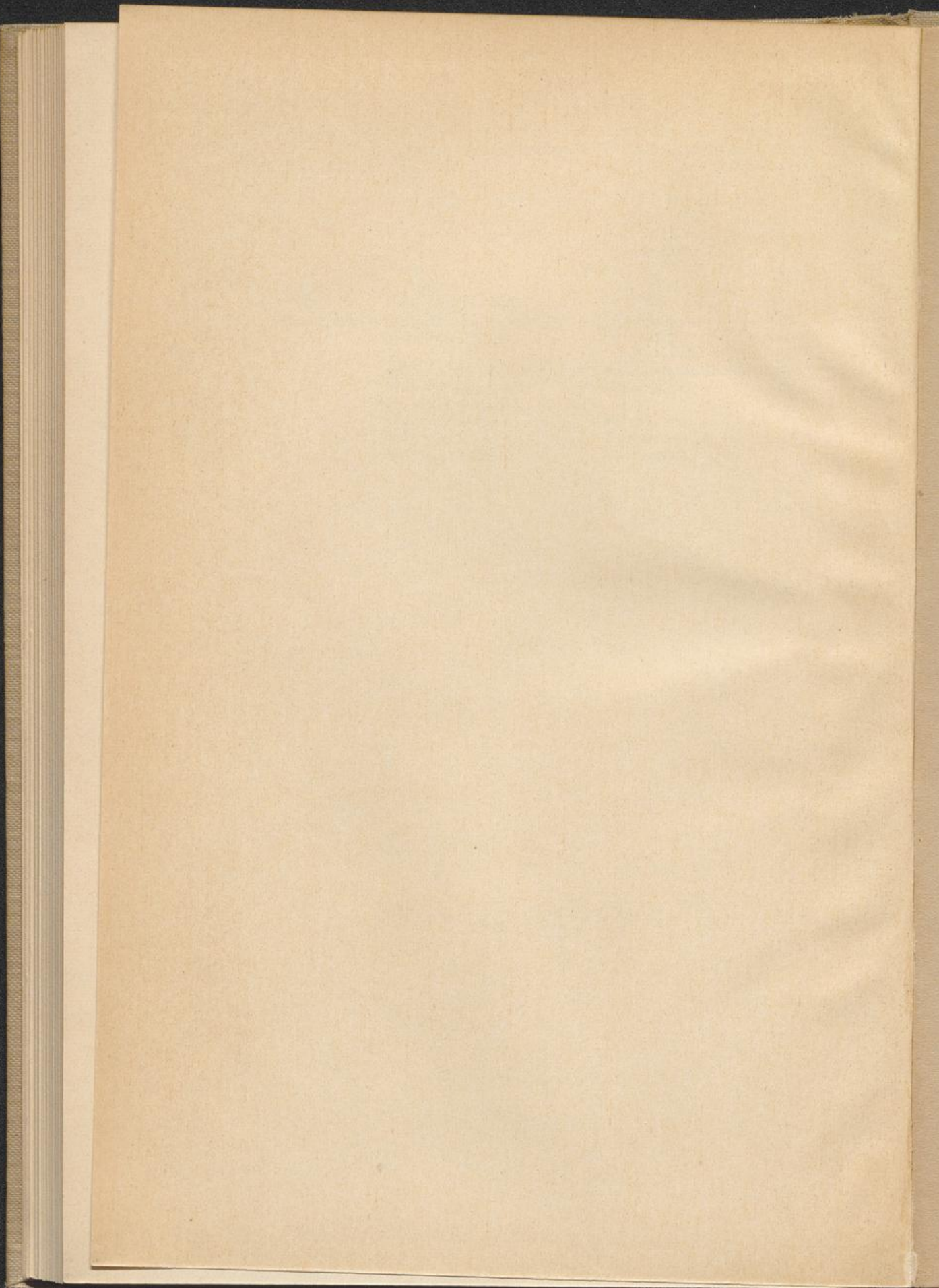
- Galvanische Koppelung 184.
— Rückkoppelung 188.
Galvanometer 4.
Galvanoplastik 142 f.
Gasfüllungslampen 97.
Gauß und Weber, Telegraphie 159.
Geaphon 202.
Geißleröhren 147.
Gelapmotor 142.
Gemischte Schaltung 65.
Geschlossener Schwingungskreis 181.
Gesetze der Induktion 53.
Gitter-Anoden-Kapazität 200.
Gitterelektrode 174.
Gleichrichter von Wechselströmen 110.
Gleichrichterkolben 111.
Gleichstromdynamos 62. 71.
Gleitbügel 125.
Glimmlampen 99. 148.
Glimmlicht, negatives 147.
Glühkathodenröhren 153.
Glühlampenraster 98.
Goldbad 144.
Goldblattelektroskop 29.
Goldstein 150.
Grammäquivalent 134.
Grammescher Ring 62.
Gruppenwähler 171.
Hängeisolatoren 89.
Härte der Röntgenstrahlen 153.
Halbwattlampen 97.
Handregulierungslampen 107.
Hauptstrommaschinen 65.
Hauptstrommotoren 114. 125 f.
Heavisideschicht 197.
Heißwasserspender 104.
Heizkissen 104.
Heizkörper 103.
Heizpatronen 103.
Henry 55.
Hertz, H. 181. 182.
Hintereinanderschaltung 9. 17.
Hittorf 148.
Hittorfscher Dunkelraum 147.
Hittorfsche Röhren 148.
Hochfrequenztechnik 187 ff.
Hochfrequenzverstärker 194.
Hochspannungen 86 f.
Hochspannungswickelung 84.
Hörempfang 190.
Hohlsele 98.
Hopkinson 81.
Hughes 167.
Hysteresis 35.
Influenz 30.
Induktive Koppelung 184.
— Rückkoppelung 187. 188.
Induktion 48 ff.
Induktionsmotore 118.
Induktor 73.
Innenantenne 199.
Innerer Widerstand 17.
Ionen 129. 135.
Ionisierung der Luft 156.
Isolatoren 5. 88 f.
Isolatorenketten 89.
Jenaer Glaswerk Schott & Gen. 108.
Joulesche Wärme 92.
Joulesches Gesetz 92.
Kabel 79. 89.
Kanalstrahlen 150.
Kapazität 31.
— von Akkumulatoren 139.
— — Leitungen 173.
Kappenisolatoren 89.
Karolus 177.
Kathode 128. 146.
Kathodenschichten 147.
Kastenplatten 138.
Kerrzelle 178.
Kette, galvanische 9.
Kilowattstunden 70.
Kinolampen 107.
Kirchhoff, G. 181.
Kleingleichrichter 111.
Kleinmotoren 115.
Klemmenspannung 22. 68.
Klingel, elektrische 169.
Kochplatten 104.
Körnermikrophon 169.
Koerzitivkraft 35.
Kollektormotoren 126.
Kompensationsleitung 81.
Kommulatoren 26.
Kondensatoren 30. 58.
Konstantunterbrecher 60.
Kontakte 92.
Kontaktraster 98.
Kontroller 126.
Koppelungsspulen 184.
Koppelung von Schwingungskreisen 184.
Koronaverluste 90.
Korpuskularstrahlen 156. 158.
Korrespondenzschalter 100.
Kraftlinien, magnetische 36. 53.
Kraftlinienzahl 38.
Kreuzschalter 100.
Kristallbeugung von Röntgenstrahlen 157.
Kristalldetektor 189.
Küchenmotor 121.
Künstliche Höhensonne 110.
Kupferbäder 144.
Kurzschließung von Elementen 21.
Kurzschluß 101.
Kurze Wellen 197.
Landwirtschaft 123.
Langmuir 175.
Lautsprecher 201.
Lautverstärker 173 f.
Lebensdauer von Glühlampen 94. 96.
Leclanché-Element 7.
Legierungen, Widerstand der 16.
Leiter 5.
Leitungsfähigkeit, spezifische 15.
Leitungswähler 170.
Leydener Batterie 31.
— Flasche 30.
Lichtantennen 199.
Lichtbogen 106.
Lichtelektrische Ströme 177.
— Zellen 177.
Lichtreklame 98.
Lichtwellen und elektrische Wellen 183.
Linke-Hand-Regel 39. 113.
Linienbatterie 164.
Löwe-Widerstände 192.
Lokomotiven, elektrische 127.
Lose Koppelung 186.
Magnetelektrische Maschinen 61.
Magnetische Kraft 38.
— Kraftlinien 36. 53.
Magnetischer Widerstand 45.
Magnetisches Drehfeld 116.
Magnetisierungsspule 33.
Magnetoiduktion 51. 61.
Magnetomotorische Kraft 44.
Mediaröhre 153.
Meißner, A. 187.
Metallröhren 155.
Metallisieren 145.
Mikrofarad 32.
Mikrophon 17. 167 f.
Mikrotelephon 169.
Milliampere 11.
Morseapparat 161.

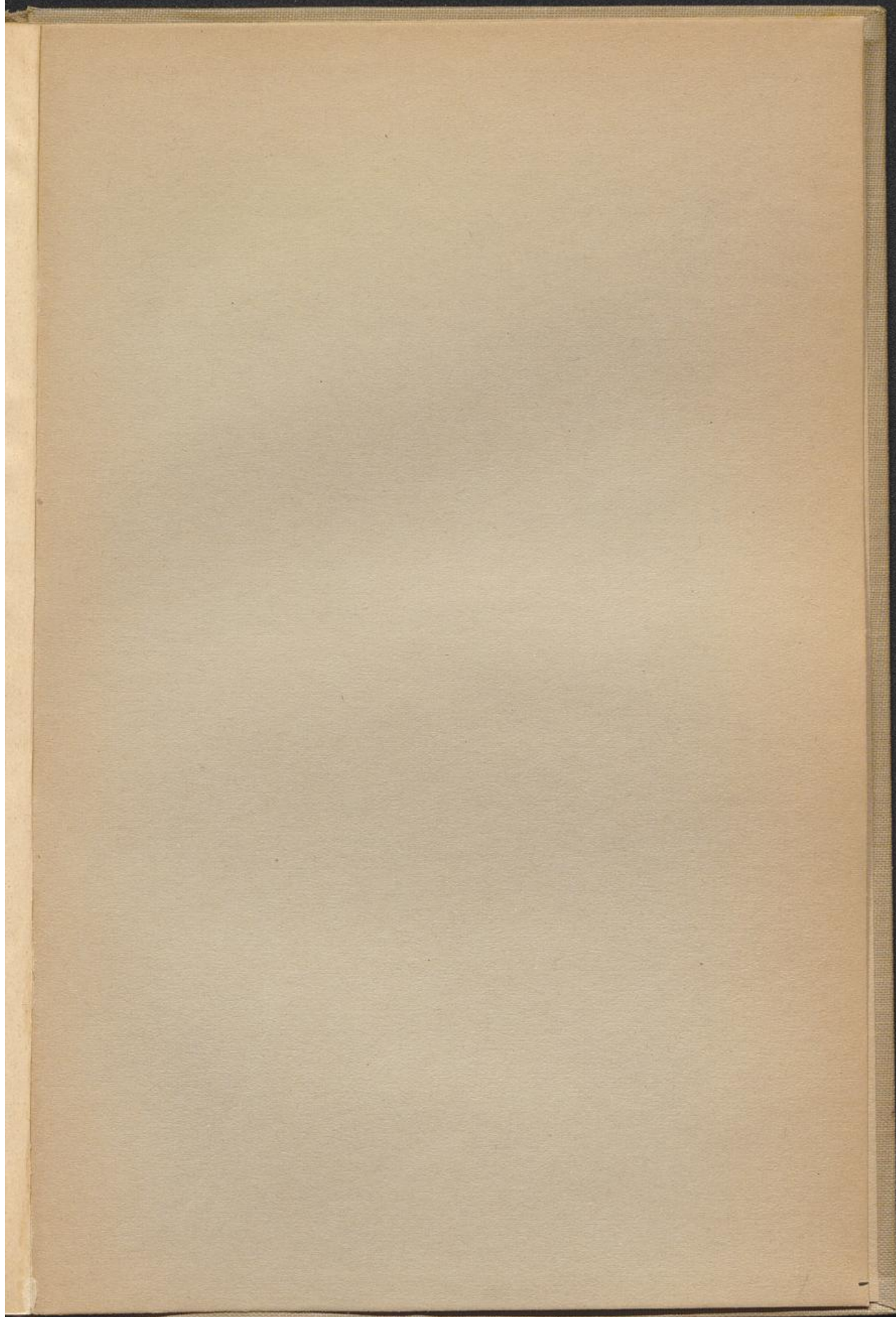
- Morseschlüssel 160.
 Morseschrift 162.
 Morsesystem 160 f.
 Motorzähler 80.
 Müller, C. H. F. A.-G. 153.
 155.
 Multipolare Maschinen 66.
Nauen, Station 196.
 Nebenschlußmaschinen 65. 68.
 Nebenschlußmotoren 114.
 Nebenschlußregulator 68.
 Neetscher Hammer 56.
 Negatives Glimmlicht 147.
 Neutrodynschaltung 200.
 Nickelbäder 144.
 Niederfrequenzverstärker
 192 f. 194.
 Niederspannungswicklung
 84.
 Nikols 178.
 Normallösung 16.
 Normalohm 14.
 Nummernschalter 171.
 Nutzeffekte von Akkumulato-
 ren 139.
Oberirdische Stromzuführung
 124.
 Öfen, elektrische 104.
 Öffnungsfunke 55.
 Öffnungsstrom 50. 55. 59.
 Öltransformatoren 86.
 Oerstedt 3. 38.
 Offenes Schwingungssystem
 182.
 Ohm (Einheit) 14.
 Ohmsches Gesetz 13.
 — für den Magnetismus
 45.
 Ortsbatterie 164.
 Osramgesellschaft 92.
 Osramlampen 92 ff.
 Osram-Nitralampen 97.
 Oszillationen, elektrische
 180 ff.
 Oxydröhren 193.
Pacinotti 62.
 Parallelschaltung 18. 78 f. 85.
 90. 125.
 Patronensicherungen 102.
 Periode eines Wechselstroms
 72.
 Pfeifen von Elektronenröhren
 200.
 Phasenänderungen 173.
 Phase von Wechselströmen
 72. 75.
 Philips Röntgenröhren 155.
 Photoelektrische Ströme 177.
 Planté, Gaston 137.
 Polarisation, elektrische 136.
 Polarisationsstrom 136.
 Polschuhe 166.
 Positives Licht 147.
 Positive Strahlen 150.
 Protos-Lautsprecher 202.
 Protos-Staubsauger 121.
 Pupinspulen 173.
 Pyritdetektor 190.
Quarzlampen 109.
 Quecksilberbogenlampen 108.
 Quecksilberdampfgleichrich-
 ter 110.
Rahmenantennen 195.
 Regulierwiderstände 24.
 Reibungselektrizität 28.
 Reichweite 196.
 Reiß, Philipp 165.
 Relais 163.
 Resonanz 185.
 Rheinisch-Westfälisches Elek-
 trizitätswerk (RWE.) 87.
 90.
 Richtung des elektrischen
 Stromes 6.
 Ringanker 62 ff.
 Röhrenapparate 199 f.
 Röhrenlampen 96.
 Röhrensender 187. 189.
 Röntgenröhren 153 ff.
 Röntgenstrahlen 151.
 Rotationen, elektromagneti-
 sche 40.
 Rotor 73.
 Rückkoppelung 187. 194.
 Rundfunk 198 ff.
 Rundfunksender 198.
Sammelschienen 79.
 Sammler 138.
 Sanitas-Gesellschaft 104.
 Schalttafel 79.
 Schichtungen 147.
 Schieberwiderstände 24.
 Schlagweite 59.
 Schließungskreis 4.
 Schließungsstrom 50. 55.
 Schwimmerregel, Ampère-
 sche 6. 34.
 Schwingungen, elektrische
 180 ff.
 Schwingungskreis 181.
 Schreibapparat, telegraphi-
 scher 161.
 Sekundäre Prozesse 129.
 — Röntgenstrahlen 156.
 Selbstinduktion 54 f.
 Selbstinduktivität 55.
 Sender 187.
 Serienschalter 100.
 Sicherheitsschalter 102.
 Sicherungen 101 f.
 Silberbäder 144.
 Silbervoltmeter 10 f. 133.
 Solenoid 37.
 Spannung 21.
 Spannungsunterschied 21. 23.
 Spannungsverlust 22.
 Spannung von Wechselströ-
 men 73.
 Speicheröfen 105.
 Spezifische Leitungsfähigkeit
 15.
 Spezifischer Widerstand 14.
 Siemens-Reiniger-Veifa 60.
 S. & H.-Beutelement 7.
 Siemens & Halske 8. 124. 173.
 198. 202.
 — Schuckertwerke 67. 84.
 111. 121.
 — Werner, Dynamoprinzip
 64.
 Stadtverkehr, telephonischer
 169 f.
 Stator 73.
 Staubsaugeapparate 120.
 Steinheil 159.
 Steuerelektrode 174.
 Straßenbahnen, elektrische
 124 f.
 Strichfokus 153.
 Stromdichtigkeit 143.
 Stromregulator 24.
 Stromsammler 62.
 Stromschleife 37.
 Stromstärke 10.
 — von Wechselströmen 73.
 Strowgersches System 170 f.
 Stützisolatoren 89.
Taster 160.
 Tauchsieder 104.
 Telefunken 177. 187. 198.
 Telefunkenohmwiderstand
 192.
 Telegraphie 159 ff.
 — drahtlose 189 f. 197 f.
 Telephon 165 ff.
 Telephonrelais 173.
 Thermionik 151. 153.
 Thermostrome 48.
 Theorie der Elektrolyse 133.
 Thomson, W. 181.

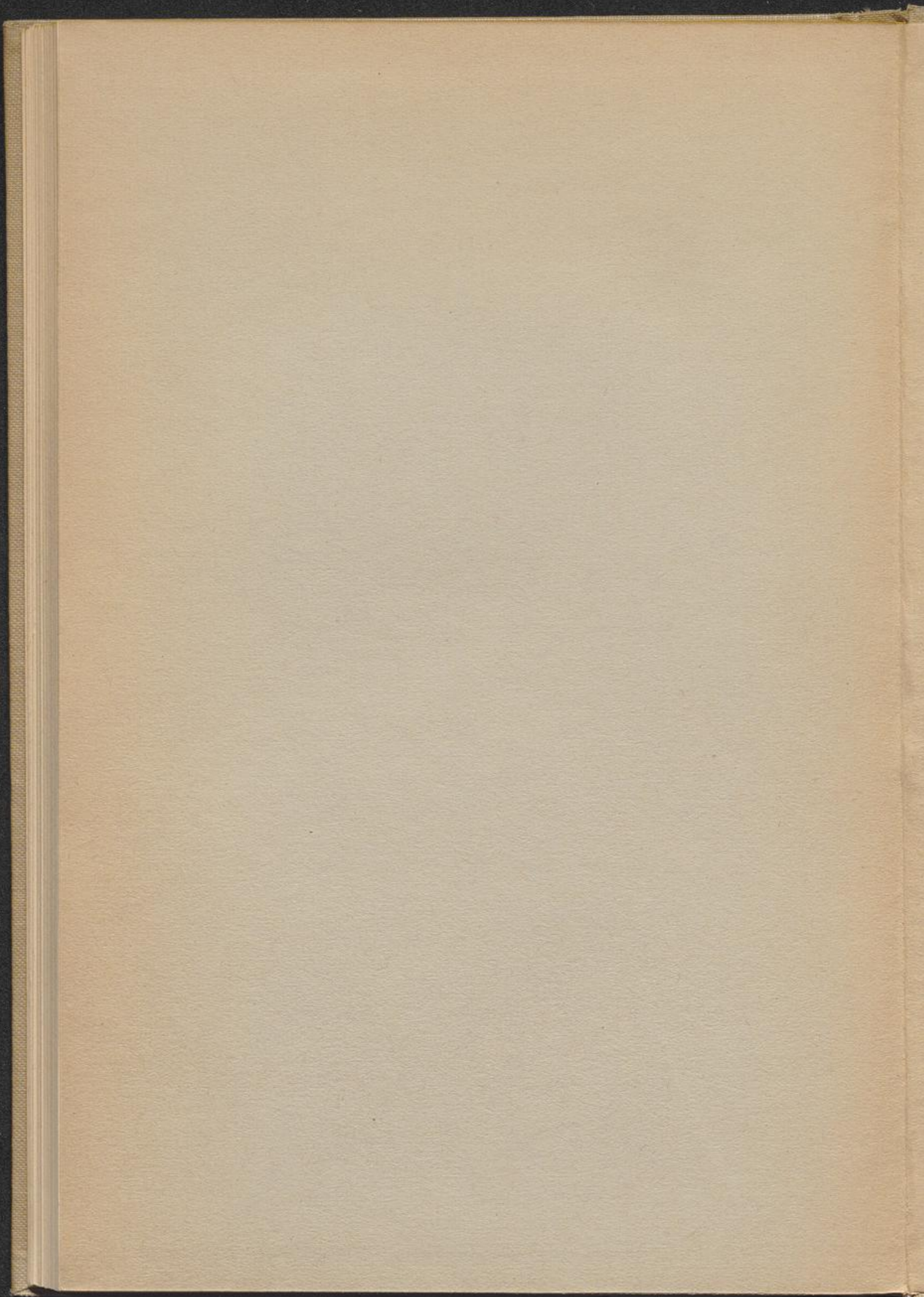
REGISTER

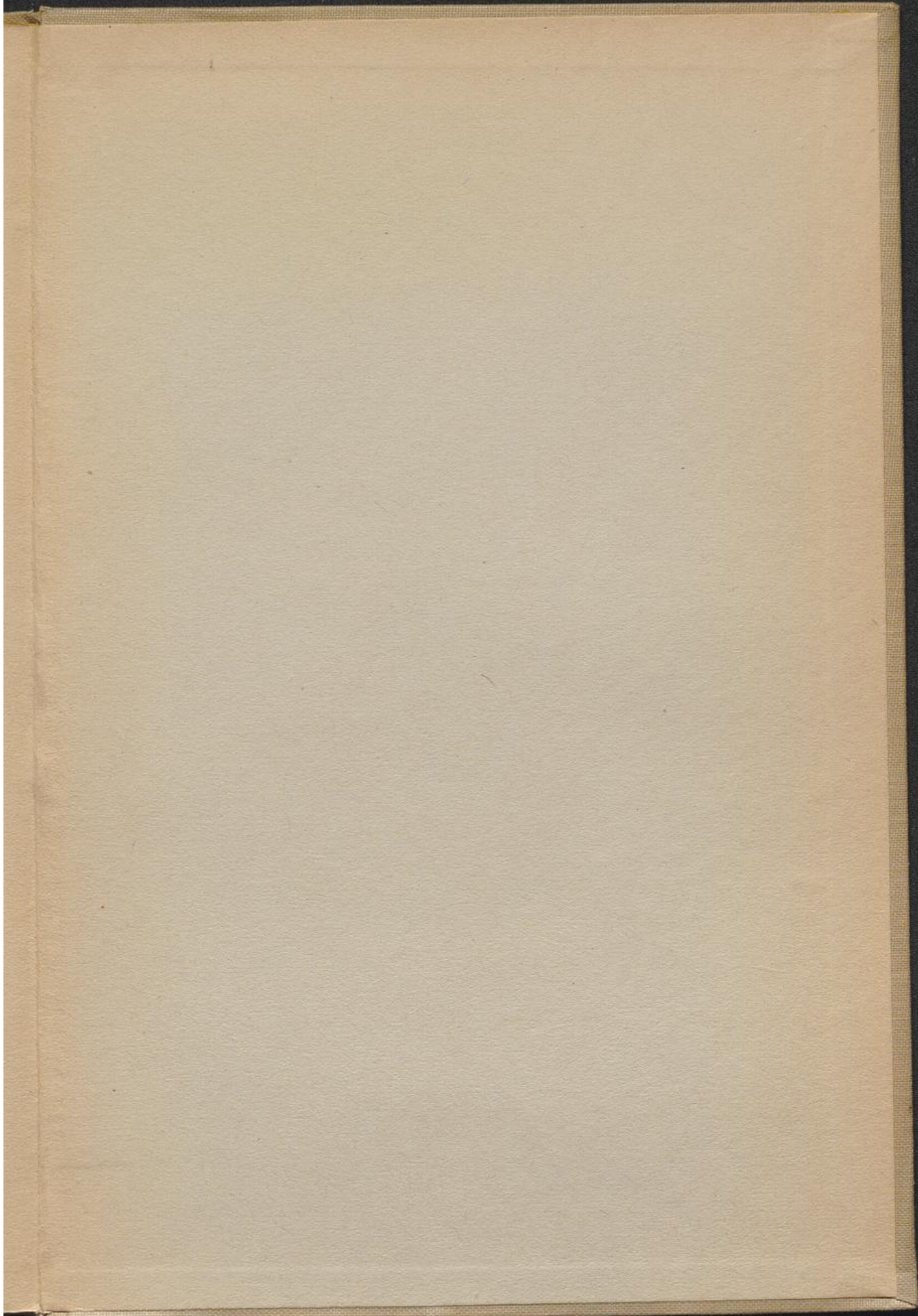
- Thomson-Kirchhoffsches Gesetz 181.
 Thoriumröhren 193.
 Tote Zone 197.
 Transformatoren 82 ff.
 Trockenelemente 8.
 Trommelanker 65.
 Turbodynamo 67.
- Ü**bergangswiderstand 17.
 Ultraviolette Strahlen 108.
 Ungedämpfte Schwingungen 187.
 Unterbrecher 57.
 Uviollampe 108.
- V**ampyr 121.
 Variometer 186.
 Ventilatoren 119.
 Verchromen 144.
- Vernickeln 144.
 Vermittelungsamt, telephonisches 169 f.
 Verstählen 144.
 Verstärkerröhren 175. 177.
 Verzweigte Stromkreise 22 f.
 Vielpolige Maschinen 66.
 Volt 19.
 Volta 2.
 Voltameter 132.
 Voltasches Element 3.
 Voltmeter 19. 23. 69. 76.
 Vorwähler 171.
- W**ähler (telephonische) 170.
 Walchenseewerk 87.
 Wanderschrift 98.
 Wasserkräfte 86.
 Watt 70.
 Wattstundenzähler 80.
- Wechselströme 43. 82 f.
 Wechselstrommaschine 72 f.
 Wellenlänge der Rundfunksender 198.
 Wellenlänge elektrischer Schwingungen 183.
 Wellenstrahlung 156. 158.
 Wheatstone 163.
 Widerstand 5. 12. 13.
 — magnetischer 45.
 — spezifischer 15.
 Windkraft 142.
 Wirkungsgrad, elektrischer von Maschinen 71.
 Wiskott-Spiegelreflektoren 98.
 Wolfram 92.
- Z**erstäubung 94. 96.
 Zweileitersystem 79. 80.
 Zwischenkreis 190.













03M28518

P
03

DER GRAETZ FÜR ALLE

274
422

M
28518