

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II - 3730
L. nw.

L. Graetz
Abriß der
Elektrizität



Neunte Auflage

4/10/92

4,57
663



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294399

25.10.19

22.10.19

21.10.19

20.10.19

19.10.19

18.10.19

17.10.19

KURZER ABRISZ
DER
ELEKTRIZITÄT.

KUINKIN ALEKSI

1811

TÄTTÄ KIRJASTA

1811

W. Z. F. N. 1059.

XVI

KURZER ABRISZ

DER

ELEKTRIZITÄT

VON

DR. L. GRAETZ,

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

MIT 176 ABBILDUNGEN.

NEUNTE AUFLAGE.

(41.—45. TAUSEND.)



STUTT GART.

VERLAG VON J. ENGELHORNS NACHF.

1917.

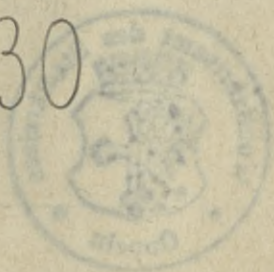
By 10.

W. J. W. 1023
1023

Alle Rechte vorbehalten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

II 3730



Druck der Union, Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Akc. Nr. 246/50

Vorwort.

Vielfachen, seit Jahren mir gegenüber ausgesprochenen Wünschen folgend, habe ich versucht, in diesem Buch eine kurze, aber zusammenhängende Übersicht unserer hauptsächlichsten Kenntnisse und Anschauungen von der Elektrizität und von ihren wichtigsten Anwendungen zu geben. Mein größeres Werk über diesen Gegenstand*), das vor kurzem in achtzehnter Auflage erschienen ist, ist allmählich mit dem Wachsen unseres Kennens und Könnens im elektrischen Gebiet selbst sehr stark gewachsen. Der Leserkreis, den es sich in den aufeinander folgenden Auflagen erworben hat, sucht in ihm ziemlich eingehende Belehrung, und der Umfang des Werkes hat sich daher allmählich verdoppelt. Für manche Wünsche enthält das Buch zu viel. Das Wichtigste von dem weniger Wichtigen zu scheidern, ist nicht jedermanns Sache. Daher habe ich in diesem Buch diese Scheidung selbst vorgenommen.

Aber das vorliegende Werk ist kein bloßer Auszug aus dem größeren. Es unterscheidet sich nicht bloß im Umfang, sondern auch in der Anlage und im Ziel von diesem. Zunächst habe ich den dort befolgten Weg aufgegeben, in welchem ich von den elektrostatischen Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen ausging und erst allmählich den Übergang zu den elektrischen Strömen machte. Vielmehr habe ich, wie es namentlich den Anwendungen besser entspricht, von vornherein die elektrischen Ströme als das erste eingeführt. Die Entwicklung der Begriffe von diesem Ausgangspunkt aus wird man, wie ich hoffe, ebenso klar finden, wie bei dem früheren Wege. Der Begriff der elektrischen Ladung, der früher das erste war, wird jetzt erst ziemlich spät eingeführt. Zweitens ist von vornherein versucht worden, die elektrischen Erscheinungen auf Grund der Elektronenvorstellung zu erklären. Drittens habe ich in diesem Buche keine Trennung der wissenschaftlichen Lehren von den Anwendungen, wie in dem größeren Werke, vorgenommen, vielmehr sind an die gesetzmäßig erkannten Tatsachen gleich die Anwendungen angeschlossen, die man von jenen machen kann. Die Gründe dafür sind

*) Die Elektrizität und ihre Anwendungen. 18. Auflage. 87.—96. Tausend. Stuttgart, J. Engelhorns Nachf., 1917.

die Kürze und die größere Eindringlichkeit, welche dadurch den Tatsachen gegeben wird. Die Darstellung der elektrotechnischen Errungenschaften hat sich naturgemäß immer auf das Wesentlichste und Verbreitetste beschränken müssen. Erfahrungsgemäß aber ordnen sich Details in das Wissen viel leichter ein, wenn das Prinzipielle, Grundlegende genügend aufgefaßt ist.

Die neunte Auflage ist sorgfältig in allen Teilen dem neuesten Standpunkt der Wissenschaft und Technik angepaßt worden.

So hoffe ich, daß dieses Werk, in dem ich bei aller Kürze doch niemals die Strenge der Begriffe und Ableitungen außer acht gelassen habe, ebenso wie das größere Werk einiges zur Verbreitung gründlichen Wissens über die umfassendste unserer Naturkräfte beitragen wird.

M ü n c h e n, Oktober 1917.

Graetz.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Kapitel. Wie erzeugt und erkennt man elektrische Ströme?	1—16
Die Natur zeigt uns direkt wenig elektrische Erscheinungen, weil wir kein Sinnesorgan für sie haben. Zufällige Beobachtung von Galvani. Zurückführung von Galvanis Versuch auf einfachere Erscheinungen durch Volta. Zufällige Entdeckung der Ablenkung einer Magnetnadel durch Oerstedt. Galvanoskop. Bezeichnungen und Festsetzungen. Galvanische Elemente. Weitere Methoden der Erzeugung von elektrischen Strömen. Thermostrome. Induktionsströme. Magnetoinduktion. Unterschied zwischen Gleichströmen und Wechselströmen.	
2. Kapitel. Die Gesetze der elektrischen Gleichströme	17—36
Die Stromstärke und ihre Messung. Amperemeter. Das Ohmsche Gesetz. Widerstand von Drähten. Spezifischer Widerstand. Elektromotorische Kraft von galvanischen Elementen und Thermoelementen. Voltmeter. Hintereinanderschaltung und Parallelschaltung von Elementen. Thermosäule von Güleher. Thermoelektrische Pyrometer. Spannungsverlust. Stromverzweigung. Apparate: Ballastwiderstände, Ausschalter, Kommutatoren. Bewegung von Elektronen im elektrischen Strom.	
3. Kapitel. Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen	37—68
Elektromagnetismus. Erzeugung von Elektromagneten. Hysteresis. Magnetische Kraftlinien eines Stromes. Magnetische Leitungsfähigkeit. Ohmsches Gesetz für den Magnetismus. Magnete und Spulen. Anziehungen und Abstoßungen. Drehungen. Dauernde Rotationen. Linke-Hand-Regel. Magnetische Wirkungen zweier Ströme aufeinander (Elektrodynamik). Elektronen und Äther. Anwendungen: Neef'scher Hammer. Elektrische Klingeln. Telegraph. Telephon und Mikrophon.	
4. Kapitel. Die elektrischen Spannungsercheinungen	69—79
Ungeschlossene Batterie. Elektrischer Funke. Induktionsapparate. Schlagweite. Elektronen. Elektrizität, positive und negative. Elektrisierung durch Reibung. Elektrisiermaschine. Anziehungs- und Abstoßungsercheinungen. Goldblattelektroskop. Influenz. Leydener Flasche. Wimshurstmaschine.	
5. Kapitel. Umwandlung großer Energiemengen in elektrische Ströme .	80—97
Magnetoinduktion. Magnetelektrische Maschinen. Grammescher Ring. Dynamoprinzip. Gleichstromdynamos. Hauptstrom-, Nebenschlußmaschinen. Mehrpolige Maschinen. Regulierung der Nebenschlußmaschinen. Amperemeter und Voltmeter. Effekt der Maschinen. Wechselstrom- und Drehstromdynamos.	
6. Kapitel. Die Leistung von Arbeit durch elektrische Ströme	98—121
Arbeitsleistung. Elektromotoren. Kraftverteilung. Kraftübertragung. Hohe Spannungen. Drehstrommotoren. Transformatoren. Anwendung in der Landwirtschaft. Elektrische Trambahnen. Fernbahnen. Schnellbahnen.	

	Seite
7. Kapitel. Die Wärme- und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen	122—143
Wärmeerzeugung in Leitern. Umwandlung der Arbeit in Wärme. Joulesches Gesetz. Glühen von Drähten.	
Anwendungen: Elektrisches Glühlicht. Kohlenfadenlampen und Metallfadenlampen. Schaltung von Glühlampen. Gesetze der Licht- und Wärmestrahlung. Wolframlampen. Halbwattlampen. Schalter. Sicherungen. Elektrisches Heizen und Kochen. Elektrisches Bogenlicht. Regulierung. Bogenlampen. Dauerbrandlampen. Flammenbogenlampen. Quecksilberbogenlampen. Quarzlampen. Uviollampen. Künstliche Höhensonne.	
8. Kapitel. Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen	144—171
Elektrolyse. Sekundäre Prozesse. Gesetze von Faraday. Voltameter. Theorie von Clausius-Arrhenius. Stromleitung in Elektrolyten. Elektronen. Elektrolyse in galvanischen Elementen. Polarisation. Sekundäre Elemente.	
Anwendungen: Bleiakкумуляtor. Edisonakkumulatort. Benutzung der Akkumulatoren. Akkumulatortbahnen. Elektromobile. Galvanoplastik. Elektrochemie. Raffinierung der Metalle.	
9. Kapitel. Der Durchgang der Elektrizität durch Gase. Die Röntgenstrahlen und die radioaktiven Erscheinungen	172—191
Lichterscheinungen in verdünnten Gasen. Geißleröhren. Positives Licht. Dunkler Raum. Negatives Glimmlicht. Crookesche Röhren. Kathodenstrahlen. Röntgenstrahlen. Fokusröhren. Photographische und Fluoreszenzwirkung. Ionisierung. Biegung der Röntgenstrahlen. Wellennatur derselben. K- und L-Strahlen. Becquerelstrahlen. Radioaktive Substanzen. Emanation. Wärmeerzeugung. Umwandlung der Radiumemanation. Umwandlung des Thoriums. Die α -Teilchen sind Heliumionen. Atomzerfall.	
10. Kapitel. Die elektrischen Schwingungen	192—208
Oszillationen bei der Entladung durch einen Funken. Hertzscher Oszillator. Sehr rasche Schwingungen. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Bewegungen. Kohärer. Elektrisch-optische Versuche. Elektrische Strahlen.	
Anwendungen: Telegraphie ohne Draht. Antennen. Wellen von großer Energie. Flaschenkreis. Koppelung. Tönende Funken. Kontakt-detektoren. Riesenstationen. Geknickte Antennen. Schluß.	
Register	209—212

1. Kapitel.

Wie erzeugt und erkennt man elektrische Ströme?

Inhalt: Die Natur zeigt uns direkt wenig elektrische Erscheinungen, weil wir kein Sinnesorgan für sie haben. Zufällige Beobachtung von Galvani. Zurückführung von Galvanis Versuch auf einfachere Erscheinungen durch Volta. Zufällige Entdeckung der Ablenkung einer Magnethadel durch Oerstedt. Galvanoskop. Bezeichnungen und Festsetzungen. Galvanische Elemente. Weitere Methoden der Erzeugung von elektrischen Strömen. Thermoströme. Induktionsströme. Magnetoinduktion. Unterschied zwischen Gleichströmen und Wechselströmen.

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 andererseits 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 Sankt-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.

Für die anderen Naturerscheinungen, den Schall, das Licht, die Wärme haben wir von der Natur selbst schon die einfachsten Hilfsmittel zu ihrer Erkennung mitbekommen, unsere Sinne; wir hören, wir sehen, wir fühlen sie. Für die elektrischen Erscheinungen aber haben wir keinen Sinn, wir haben kein elektrisches Auge und kein elektrisches Ohr. Und das ist der Grund, warum wir von der Elektrizität in der Natur nichts sehen und empfinden. 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. Der eine oder der andere Forscher beobachtete zufällig einen Vorgang, den er nicht erwarten und den er sich nicht erklären konnte, und durch die Verfolgung dieser Beobachtung,

durch Abänderung der Umstände, unter denen sie eingetreten war, gelang es ihm oder anderen, dieselbe auf einfache Tatsachen zurückzuführen.

Ein solcher Zufall war es, als Galvani oder, wie eine Erzählung behauptet, eigentlich seine Frau im Jahre 1789 eine Beobachtung machte, die zunächst ganz rätselhaft erschien. 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, ebenso zufällig gefunden, wie vor etwa zwanzig Jahren die Röntgenstrahlen, machte damals die Runde durch alle wissenschaftlichen und Laienkreise Europas. Unzählige Frösche mußten ihr teures Leben der Wissenschaft 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.

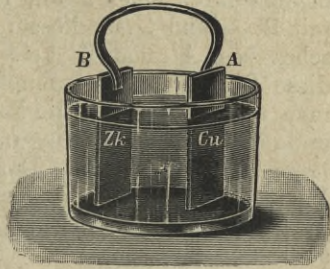
Zweitens: die drei vorhandenen Körper, der Froschschenkel und die beiden Metalle, müssen einen geschlossenen Kreis bilden, es muß das Kupfer einerseits mit dem Eisen, andererseits mit dem Froschschenkel und ebenso das Eisen einerseits mit dem Kupfer, andererseits mit dem Froschschenkel in Berührung sein, 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 manifestiert. 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 Reagensmittel 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 Berüh-

zung ist und daß diese beiden Metalle sich selbst berühren, daß also ein geschlossener Kreis vorhanden ist, gebildet aus einer Flüssigkeit und zwei verschiedenen Metallen.

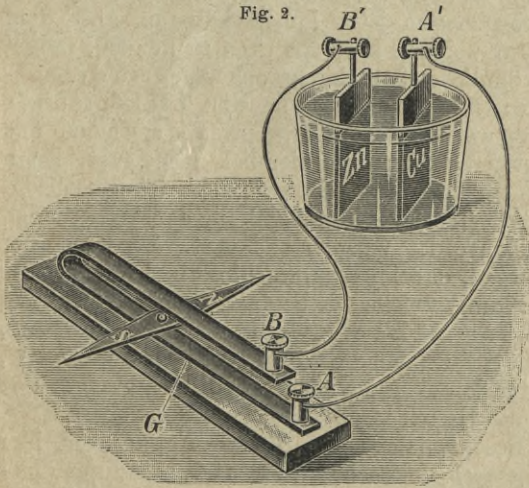
Wenn also, wie in Fig. 1, zwei Metalle, Zink (Zk) und Kupfer (Cu), in einer Flüssigkeit, z. B. verdünnter Schwefelsäure oder auch bloß in gewöhnlichem Brunnenwasser stehen, und wenn das Kupfer, wie in der Figur, durch einen geraden oder gebogenen Kupferdraht A B mit dem Zink außerhalb der Flüssigkeit 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 eine Flüssigkeit in einem Gefäß angewendet wird.

Fig. 1.



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.

Fig. 2.



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-

Nordrichtung 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 Volta-

sehen 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, der auf Holz montiert ist, und an dessen 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 herausdreht 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 Fig. 2, in die Süd-Nordrichtung stellt.

Jetzt haben wir also ein Mittel, um den vermuteten und von uns behaupteten ungewöhnlichen Vorgang, der in dem geschlossenen Voltaschen Element vor sich geht, 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 unbekanntem 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. Diese Ausdrucksweise erscheint uns allerdings nach unseren bisherigen Erfahrungen ziemlich ungeeignet. Denn erstens versteht man unter einem Strom etwas Bewegtes, hier aber beobachten wir nichts Bewegtes, sondern eine dauernde Ablenkung der Magnetnadel, die unveränderlich bleibt, solange der Versuch andauert. Zweitens aber erscheint es ungeeignet zu sagen, daß in dem geschlossenen Kreis etwas vor sich geht. Denn die Wirkung, welche wir beobachten, die Ablenkung der Magnetnadel, findet in der Nähe des geschlossenen Kreises statt, nicht in demselben. Man sieht daraus, daß die Worte „galvanischer Strom“, „elektrischer Strom“ nur eine kurze und vielleicht nicht sehr passende Ausdrucksweise für den konstatierten ungewöhnlichen Vorgang sind.

Einige weitere 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 anzeigt, ein Galvanoskop nennen.

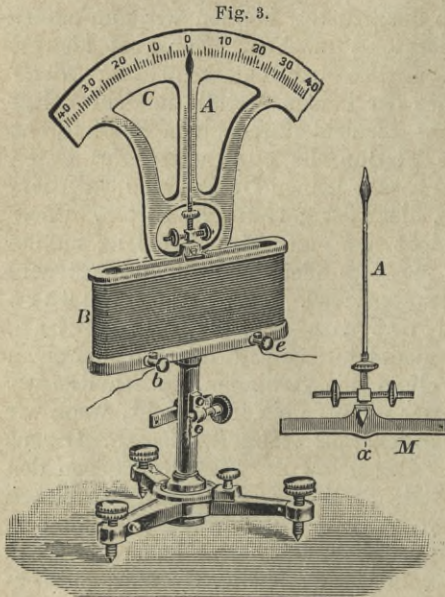
Mit einem solchen Galvanoskop ausgerüstet, können wir nun sofort eine Reihe von wichtigen Konstatierungen machen. Zunächst können wir ersehen, daß der äußere Schließungskreis durchaus nicht aus demselben Metall bestehen muß wie eines der beiden Metalle in dem Voltaschen Element. Ob wir das Voltasche Element durch einen Kupferdraht oder durch einen Silberdraht oder Platindraht oder überhaupt durch einen beliebigen Draht schließen, das macht keinen Unterschied, in jedem Fall wird die Magnetnadel abgelenkt, fließt der galvanische Strom. Unser Galvanoskop brauchte also auch nicht aus einer Kupferschleife zu bestehen, sondern es konnte aus einer Messing- oder Silberschleife bestehen, die Magnetnadel wird in jedem Falle abgelenkt. Aber der äußere Schließungskreis muß zunächst aus Metallen bestehen. Wenn wir die Pole des Voltaschen Elements durch einen Holzstab oder einen Glasstab oder einen Seiden- oder Wollenfaden verbinden, so erhalten wir keine Ablenkung der Magnetnadel. Wir erhalten sie auch nicht, wenn wir es ungeschlossen, also die Pole bloß durch Luft verbunden lassen. 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, Porzellan, Leder, Wolle, Seide, Glimmer, Wachs, Schwefel, trockene Salze, Bernstein, Schellack, Öle.

Übrigens werden wir finden, daß dieser Unterschied nicht ein vollkommen scharfer 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.

Was das Galvanoskop selbst betrifft, so kann man dasselbe leicht empfindlicher als das obige einrichten. Dazu ist nur nötig, daß man nicht einen einzigen Kupferstreifen oder eine Drahtwindung um die Magnetnadel legt, sondern daß man vielmehr viele Drahtwindungen um sie herumführt. Ein derartiges Galvanoskop, ein sogenanntes Vertikalgalvanoskop, zeigt Fig. 3. Man sieht in der Figur nebenbei einen Magnetstab M besonders gezeichnet, der mit der Schneide α auf eine Unterlage im Innern des Galvanoskops aufgesetzt wird und so sich um eine

horizontale Achse drehen kann. An dem Magneten ist ein Zeiger A, gewöhnlich aus Aluminium, befestigt. Das eigentliche Galvanoskop besitzt einen Holzrahmen B, der mit einem Draht in vielen Windungen



umwunden ist. Die Enden des Drahtes gehen in die Klemmschrauben b und e. Innerhalb der Drahtwindungen ist der Magnet mit seiner Schneide drehbar aufgesetzt, und sowie ein Strom durch die Drahtwindungen geht, dreht sich der Magnet, und der Zeiger A spielt vor der Skala C. Man verbindet also den einen Pol des Voltaschen Elements durch einen Draht mit b, den anderen Pol mit e, und der dann zirkulierende Strom bewirkt eine Drehung der Magnetnadel.

Weiter findet man aber, daß die Richtung, nach welcher die Magnetnadel abgelenkt wird, also auch der Ausschlag des Zeigers A, wechselt, wenn man die Verbindung von b und e mit den Polen wechselt. Verbindet man nämlich das Kupfer des Voltaschen Ele-

ments mit b und das Zink mit e, so wird der Zeiger nach der einen Seite abgelenkt; verbindet man umgekehrt das Zink mit b und das Kupfer mit e, so wird er nach der anderen Seite abgelenkt. Daraus folgt, daß die beiden Pole des Elements sich nicht gleich, sondern in gewisser Hinsicht entgegengesetzt verhalten. Wenn wir die Vorstellung eines Stromes akzeptieren, die noch näher begründet werden soll, eines Stromes, der in dem Element und in dem äußeren Schließungskreis fließt, so ist eine solche Verschiedenheit erklärlich; 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 b nach e hin, das andere Mal von e nach b hin. Wir können also in dieser Auffassung sagen: Wechselt die Richtung des Stromes im äußeren Schließungskreis, so wechselt auch die Ablenkung des Magneten, 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 Voltaschen Element wie in Fig. 4 gebildet.

Dasselbe stellt in seinem unteren Teil ZgK eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Glasröhre dar, der obere Teil ZbK stellt einen Draht dar, den äußeren Schließungskreis. Bei Z befindet sich eine Zinkplatte, bei K eine Kupferplatte. Das Ganze ist also ein geschlossenes Voltaschen 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 Elements selbst vom Zink zum Kupfer, außerhalb umgekehrt vom Kupfer zum Zink.

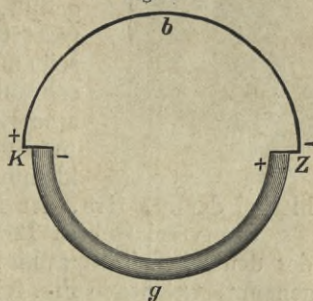
Nachdem so die Richtung des Stromes im Draht des Galvanoskops durch unsere Festsetzung ein für allemal bestimmt ist, können wir den Sinn der Drehung unserer Magnetnadel danach ermitteln. Dies ist von Ampère geschehen, und die von ihm gefundene Regel heißt die Ampèresche Schwimmerregel. Sie lautet:

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

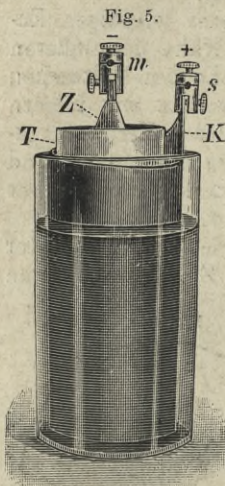
Mit dieser Regel aber haben wir sofort ein Mittel, um bei jedem Voltaschen Element, das ja verschiedene Metalle und Flüssigkeiten haben kann, zu untersuchen, welches der positive, welches der negative Pol ist. Wir verbinden die Pole mit dem Galvanoskop und untersuchen, in welcher Richtung wir im Draht 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.

Die Voltaschen Elemente aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit sind indes für den Gebrauch nicht praktisch, weil sie rasch in ihrer Wirksamkeit nachlassen. Deswegen ist zuerst Daniell dazu übergegangen, solche Elemente zu konstruieren, bei denen jedes der beiden Metalle in einer besonderen Flüssigkeit sich befindet. Damit die beiden

Fig. 4.



Flüssigkeiten sich nicht mischen und doch in leitender Verbindung sind, wird hierbei häufig die eine in einen porösen Tonzylinder gefüllt, durch dessen Poren die Berührung zwischen den Flüssigkeiten stattfindet.

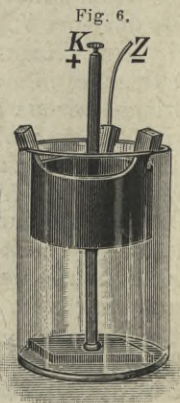


Wir wollen einige der am meisten gebrauchten Elemente, die man galvanische Elemente nennt, beschreiben.

Beim Daniell'schen Element (Fig. 5) sind die beiden Metalle Zink und Kupfer. Das Kupfer taucht in konzentrierte Kupfervitriollösung, das Zink in verdünnte Schwefelsäure. In ein Glas wird Kupfervitriollösung gegossen und der hohle Kupferzylinder K hineingestellt. In diesen wird dann der Tonzylinder T gesetzt und dieser wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, in welche das massive Zinkstück Z eingesetzt wird. Das Zink trägt an seinem oberen Ende eine Klemmschraube m, der Kupferzylinder eine Klemmschraube s, in welche man den äußeren Stromkreis anklemmen kann. Der Zinkpol ist

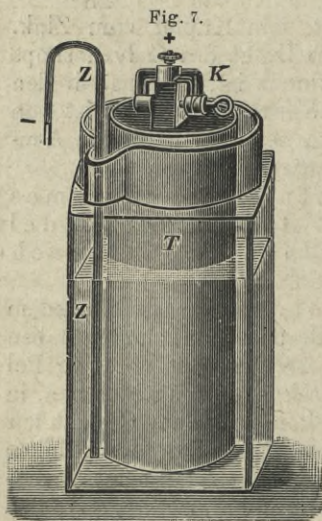
hierbei der negative, der Kupferpol der positive Pol.

Ein vereinfachtes Daniell'sches Element ist das der deutschen Telegraphie, auch Krüger-Element genannt, welches in Fig. 6 abgebildet ist und bei dem



die Anwendung einer Tonzelle vermieden ist. In einem Glase liegt auf dem Boden eine Bleiplatte, an der ein Stiel mit Klemme K befestigt ist. Das Zink ist

in Form eines starken gegossenen Zylinders benutzt, der mit drei Nasen auf dem Rand des Glases aufsitzt. In eine der Nasen ist der Poldraht Z eingegossen. Der innere Rand des Glases ist oben mit Paraffin angestrichen. Als Flüssigkeiten dienen eine verdünnte Lösung von schwefelsaurem Zink für das Zink und eine Kupfervitriollösung für das Blei. Die Bleiplatte umkleidet sich nämlich beim Gebrauch des Elementes mit einer Kupferschicht und wirkt dann wie eine Kupferplatte. In das Glas wird die Zinksulfatlösung eingegossen und die Lösung von Kupfersulfat wird dadurch am Boden des Gefäßes erzeugt,



daß man Kupfervitriolkristalle in die Flüssigkeit hineinbringt. Da die Lösung des Kupfersalzes schwerer ist als die verdünnte Zinklösung, so bleibt, wenn das Element ruhig steht, eine ziemlich scharfe Trennung der blauen Kupfersalzlösung von der hellen Zinksalzlösung lange bestehen.

Als weiteres galvanisches Element führen wir, weil es in der Telephonie und bei elektrischen Klingeleinrichtungen sehr viel gebraucht wird, das Leclanché-Element an, von dem Fig. 7 eine Ansicht gibt. 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.

In der Reichstelegraphie wird dieses Element in der Form der Fig. 8 benutzt und heißt dort Kohleelement. Der Zinkzylinder sitzt wie bei dem Kupferelement (Fig. 6) mit drei Nasen auf dem Rand des Glasgefäßes auf. In das Glas wird der Kohle-Braunsteinzylinder von der in der Figur sichtbaren Form gestellt und das Gefäß bis $1\frac{1}{2}$ cm unter dem Rand mit Wasser gefüllt, dem 20—25 g Salmiak zugesetzt werden.

Die galvanischen Elemente werden jetzt sehr häufig in der Form sogenannter 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 dagegen wird geheim gehalten. Element dieser Art ist das T-Element (Fig. 9), 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 Pergamentpapierhülle gehalten wird. Das Zink, dessen Pol außen durch den gebogenen Enddraht bezeichnet wird, umgibt in Form eines durchlöchernten Zylinders die Pergamenthülle und befindet sich selbst in der mit Salmiak imprägnierten Masse.



Fig. 9.

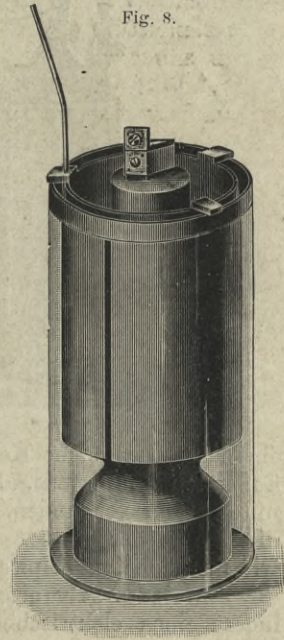
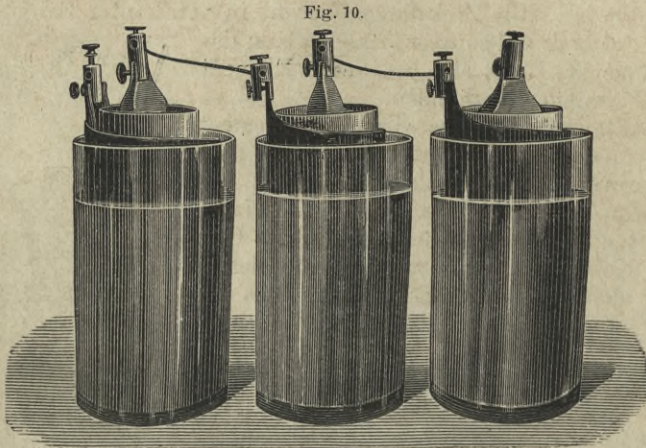


Fig. 8.

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. 10 an drei Daniellschen Elementen zeigt.

Eine Reihe von galvanischen Elementen, die so verbunden sind, nennt man eine Kette oder Batterie oder auch besser eine hinter-



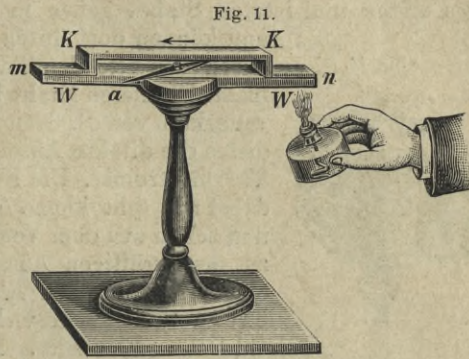
einander verbundene Kette. In einer solchen Kette sind nur die beiden äußersten Metalle frei, alle übrigen sind, je ein positives und ein negatives, miteinander verbunden. Man nennt die beiden freien Metalle auch hier die Pole der Kette. Die Eigenschaften einer solchen Kette werden wir im nächsten Kapitel erläutern.

Ein jedes galvanische Element, wie beschaffen es auch sein mag, liefert einen elektrischen Strom nur dadurch, daß in ihm fortdauernd chemische Prozesse stattfinden, die wir später im 8. Kapitel besprechen werden. Wir können daher sagen, daß der elektrische Strom in ihnen durch die chemische Energie der sich umsetzenden Stoffe erzeugt und erhalten wird.

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 drei andere Methoden allmählich erfunden, eine zufällig, die beiden anderen 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. Es wird nämlich dadurch auch eine in der Nähe befindliche Magnetnadel abgelenkt.

Man kann dies sehr leicht in folgender Weise zeigen. In Fig. 11 ist WW ein Wismutstreifen, an welchem ein Kupferbügel KK angelötet ist (bei m und n). In dem Hohlraum zwischen beiden Metallen befindet sich die drehbar aufgesetzte Magnetnadel a. Sowie man nun die eine Lötstelle, etwa n, erwärmt, entsteht ein elektrischer Strom, wie man daraus erkennt, daß die Magnetnadel abgelenkt wird. Der Strom fließt in dem ganz geschlossenen metallischen Kreise, und zwar hat er, wie man aus dem Sinn der Drehung der Nadel erkennt, die Richtung des Pfeiles von dem Wismut



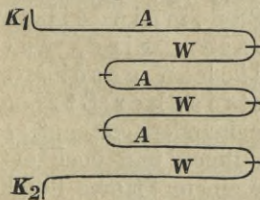
durch die warme Lötstelle zum Kupfer und von diesem durch die kalte Lötstelle zurück. Ganz ebenso entsteht ein Strom, wenn man die eine Lötstelle, z. B. n, kälter macht als die andere, indem man sie z. B. mit Eis umgibt. Dann fließt der positive Strom vom Kupfer durch die kalte Lötstelle zum Wismut, also ebenso wie vorher durch die wärmere Lötstelle vom Wismut zum Kupfer. Man nennt diese Ströme *Thermoströme* oder *thermoelektrische Ströme* und eine Kombination, die aus zwei verschiedenen aneinander gelöteten Metallen besteht, ein *Thermoelement*.

Wir haben also hier galvanische Ströme, welche durch die *Energie der Wärme* hervorgebracht werden.

Wenn man das eine der beiden Metalle durchschneidet, so hört der Strom zu fließen auf, die Magnetnadel wird nicht mehr abgelenkt. Die beiden durchschnittenen Enden kann man aber nun durch einen beliebigen Draht, z. B. durch den Draht eines Galvanoskops verbinden, der ganz so wie früher den äußeren Schließungskreis bildet. Dann fließt wieder in diesem geschlossenen Kreis ein Strom.

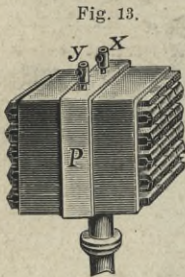
Ebenso wie bei galvanischen Elementen kann man mehrere Thermoelemente hintereinander verbinden und immer die gleichliegenden Lötstellen derselben erwärmen. Man erhält so eine *thermoelektrische Säule* oder *Thermosäule*. In Fig. 12 ist eine solche Kombination mehrerer Thermoelemente schematisch gezeichnet. Eine Reihe von Antimonstäben A ist an eine Reihe von Wismutstäben W so angelötet, daß immer ein Wismutstab zwischen zwei Antimonstäben liegt. Wenn man nun die gleichliegenden Lötstellen erwärmt, so fließt durch die warmen Lötstellen immer der Strom vom Wismut zum Antimon. Die freien Enden dieser Säule, K_1 und K_2 , werden natürlich

Fig. 12.



durch einen beliebigen äußeren Schließungsdraht verbunden. In Fig. 13 ist die Ansicht einer solchen Thermosäule gegeben, bei welcher eine

große Menge von Antimon- und Wismutstäben aneinandergelötet sind, so daß ihre gleichliegenden Lötstellen alle auf der einen Seite sich befinden und zugleich erwärmt oder abgekühlt werden. Die freien Enden des ersten und letzten Stabes gehen in die Klemmschrauben x und y



und können dort durch einen Draht verbunden werden, durch den also dann der Strom von der Thermosäule fließt. In diesen Draht können wir also auch unser Galvanoskop von S. 6 einschalten und bekommen durch dieses die direkte Anzeige von dem Vorhandensein des Thermostromes. Die Nadel unseres Galvanoskops zeigt dabei nur sehr kleine Abweichungen aus der Ruhelage, und schon aus dem Vergleich dieser kleinen Drehungen zu den kräftigen Ausschlägen bei den Strömen von einem galvanischen Element erkennen wir, daß die Thermosäulen sehr viel schwächer wirken wie die galvanischen Elemente. Die genauere Festsetzung dieser

quantitativen Verhältnisse soll uns aber erst in dem folgenden Kapitel beschäftigen.

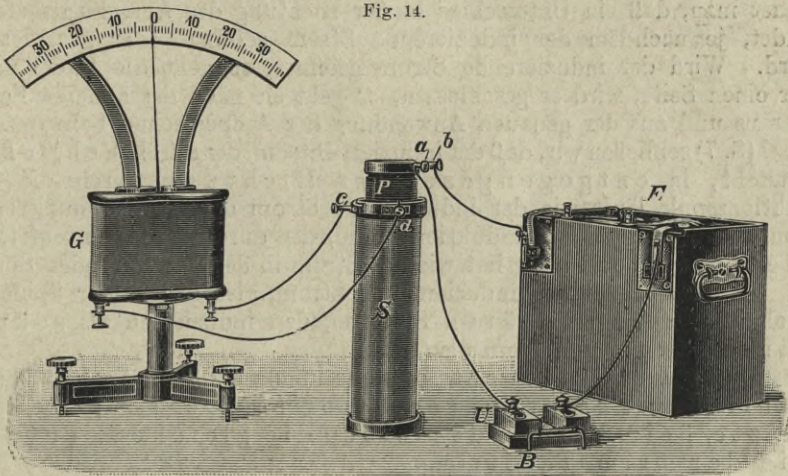
Die dritte und vierte Methode der Erzeugung elektrischer Ströme sind einander ähnlich. Auch wurden beide Methoden von demselben Forscher gefunden, nämlich von Michael Faraday, dessen Name bei der Entwicklung unserer Kenntnisse von der Elektrizität in allererster Reihe genannt werden muß. Faraday, ursprünglich ein Buchbindergeselle, hat mit dem größten Scharfsinn und mit dem feinsten Ahnungsvermögen für die Geheimnisse der Natur eine große Anzahl der bedeutendsten Entdeckungen gemacht, und er war es auch, der die so überaus wichtigen und interessanten Erscheinungen der elektrischen Induktion, die wir jetzt besprechen wollen, nicht nur gefunden, sondern auch fast vollständig erforscht hat. Man muß in den Originalberichten Faradays nachlesen, wie viele mühevollen und schwierige Versuche fehlgeschlugen, 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, 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. 14 sind diese beiden Zylinder mit P und S bezeichnet. Die Enden

Fig. 14.



des Drahtes auf dem weiten Zylinder S sind nach zwei Klemmschrauben c und d geführt, und diese werden durch Drähte mit dem Galvanoskop G verbunden. Die Enden des Drahtes auf dem inneren Zylinder sind nach den Klemmschrauben a und b geführt und die innere Drahtspule wird unter Einschaltung eines Unterbrechers U (zwei Quecksilbernapfchen, in welche der metallische Bügel B eingetaucht werden kann) mit einer Batterie E verbunden, die hier sich in einem Kasten befindet. 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 Quecksilbernapfchen 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 Quecksilbernapfchen herausnimmt, wird die Nadel des Galvanoskops für einen Moment abgelenkt, kehrt aber sofort wieder zurück. Sowie man den Strom in der inneren Spule wieder schließt, durch Eintauchen des Bügels B, wird die Nadel wieder abgelenkt, 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 Galvanoskop der sekundären Spule bleibt in Ruhe. Nur die Veränderung des primären Stromes, sein Entstehen oder Vergehen, bringt Induktionswirkungen hervor.

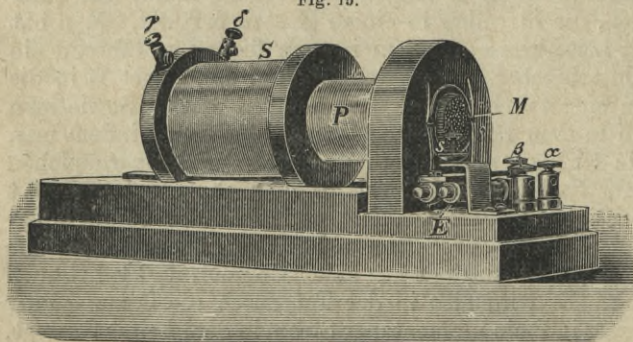
Wenn man aber die durch die momentanen Induktionsströme her- vorgebrachten Ausschläge der Nadel des Galvanoskops betrachtet, so findet man, daß ein Unterschied in der Richtung des Ausschlag es stattfindet, je nachdem der induzierende Strom geöffnet oder geschlossen wird. Wird der induzierende Strom geöffnet, 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 Schwimmer- regel (S. 7) schließen wir, daß der induzierte Strom, der durch Schließen entsteht, in entgegengesetzter Richtung durch die In- duktionsspule läuft wie der induzierende Strom durch die induzierende Spule, daß dagegen der Induktionsstrom, der durch Öffnen entsteht, 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 sekun- dären Strom und kann also sagen:

Der Induktionsstrom (sekundäre Strom) hat beim Schließen des primären Stromes die entgegenge- setzte, 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 ver- schieben, um in letzterer einen momentanen In- duktionsstrom zu bekommen. Wenn man durch die primäre Spule *P*, die in Fig. 15 gezeichnet ist, einen Strom fließen läßt und

Fig. 15.



die weitere In- duktionsspule *S* nur über sie weg zieht oder schiebt, so er- hält man in *S* schon einen Induktions- strom. Schiebt man *S* nach der einen oder an- deren Seite, so er- hält man jedesmal einen Induktions- strom, aber beide Male von ent-

gegengesetzter Richtung. Man muß dazu die Enden γ und δ der sekun- dären Spule mit einem Galvanoskop verbinden. Bei dieser Näherung und Entfernung ist es gleichgültig, ob die primäre Spule fest, und die sekundäre, induzierte, beweglich ist, oder ob umgekehrt die primäre

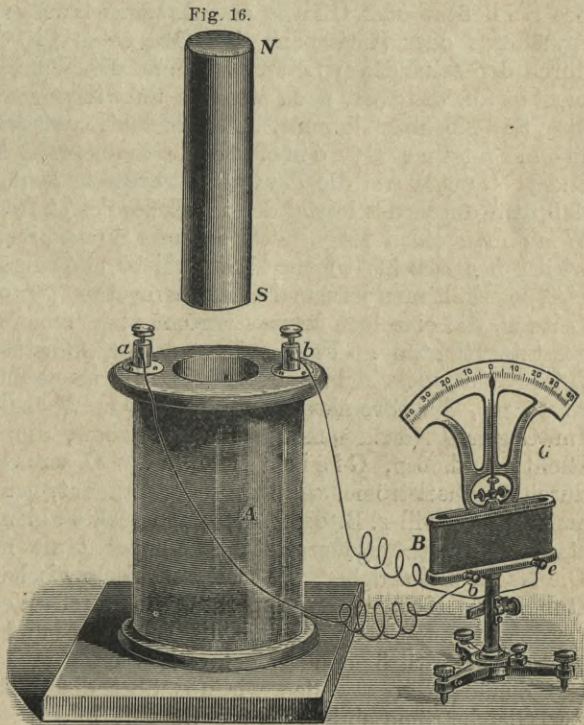
Spule beweglich und die sekundäre fest ist. Nähert man die primäre und die induzierte Spule einander, so fließt der Induktionsstrom in S in entgegengesetzter Richtung wie der Strom in P, also ebenso wie beim Schließen des Stromes. Entfernt man dagegen P von S, so hat der Induktionsstrom in S dieselbe Richtung wie der Strom in P. Beim Entfernen hat also der Induktionsstrom dieselbe Richtung wie beim Öffnen.

Ganz entsprechende Wirkungen aber erhielt Faraday auch — und damit kommen wir zu der vierten Erzeugungswise der elektrischen Ströme, welche die größte Bedeutung von allen erlangt hat — ganz entsprechende Wirkungen erhielt Faraday auch, wenn er statt des primären Stromkreises einen Magneten anwendete.

Die gewöhnlichen Stahlmagnete werden bekanntlich in verschiedenen Formen hergestellt, entweder als Hufeisen, oder als Stäbe (runde oder eckige), oder endlich als lange dünne Nadeln. Die beiden Enden eines Magneten bezeichnet man bekanntlich als seine Pole und nennt den einen Nordpol, den anderen Südpol. Der Nordpol eines Magneten ist dasjenige Ende, welches, wenn der Magnet drehbar auf eine Spitze aufgesetzt oder an einem Faden aufgehängt ist, sich nach dem geographischen Norden dreht. Dieser Pol ist bei den käuflichen Magneten gewöhnlich rot oder blau angestrichen oder durch ein sonstiges Zeichen kenntlich gemacht.

Faraday fand nun, 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 Magnetinduktion bezeichnet zum Unterschied von der vorher besprochenen Elektroinduktion. Wenn man also in Fig. 16 den Magnetstab NS in die Drahtspule A, deren Enden durch ein Galvanoskop G verbunden sind, hineinstößt, so entsteht in der Spule ein momentaner Induktionsstrom, der die Magnetnadel des Galvanoskops zum Ausschlag bringt. Zieht man den Magneten aus der Drahtspule wieder heraus, so erhält man wieder einen momen-



tanen 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, wenn z. B. der Spule A ein Nordpol genähert wird, mit +, so haben wir folgendes Schema für die Stromrichtungen:

	Nordpol	
	Annäherung, Entfernung	
	+	-
	Südpol	
	Annäherung, Entfernung.	
	-	+

Ein wesentlicher Unterschied ist sofort erkennbar zwischen den Strömen, die man durch galvanische oder Thermoelemente erhält, und denen, die man durch Induktion erhält. Die ersteren nämlich sind dauernde Ströme. Sie bleiben so lange unverändert bestehen, als der Stromkreis geschlossen bleibt. Ein eingeschaltetes Galvanoskop zeigt eine dauernde Ablenkung der Magnetnadel. Dagegen die durch Induktion, sowohl durch Elektroinduktion wie durch Magnetoinduktion, erzeugten Ströme dauern nur einen Moment an. Nur im Moment des Schließens oder Öffnens des primären Stromes, nur im Moment des Annäherns oder Entfernens eines Magneten fließt der Induktionsstrom durch den sekundären Leiter und lenkt die Nadel des Galvanoskops momentan ab, die aber, nach wenigen Schwingungen, wieder zur Ruhe, in ihre Süd-Nordlage kommt. Die Induktionsströme sind kurzdauernde, momentane Ströme. Solche momentane Ströme befolgen etwas andere Gesetze wie die dauernden 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 Galvanoskop wird aber durch Wechselströme, wie man leicht erkennt, gar nicht beeinflusst. Der erste Strom will z. B. die Nadel nach rechts ablenken, der zweite, gleich starke, aber entgegengesetzte Strom sucht sie nach links abzulenken. Die Nadel 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 später solche Ströme untersuchen können.

Zunächst aber wollen wir uns über die quantitativen Verhältnisse der Gleichströme einige sichere Begriffe bilden.

2. Kapitel.

Die Gesetze der elektrischen Gleichströme.

Inhalt: Die Stromstärke und ihre Messung. Amperemeter. Das Ohmsche Gesetz. Widerstand von Drähten. Spezifischer Widerstand. Elektromotorische Kraft von galvanischen Elementen und Thermoelementen. Voltmeter. Hintereinanderschaltung und Parallelschaltung von Elementen. Thermosäule von Gülicher. Thermoelctrische Pyrometer. Spannungsverlust. Stromverzweigung. Apparate: Ballastwiderstände, Ausschalter, Kommutatoren. Bewegung von Elektronen im elektrischen Strom.

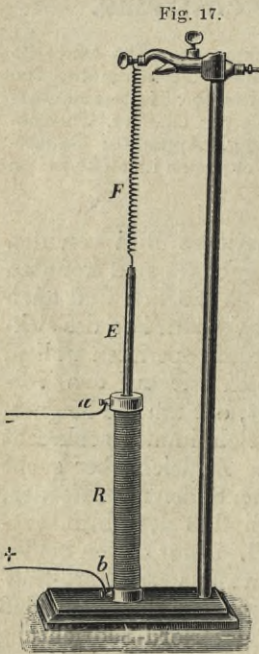
Wir haben uns bisher noch durchaus kein spezielles Bild von den wirklichen Vorgängen in einem elektrischen Strom gebildet und konnten es auch nicht tun. Aber auch ohne ein solches ist es möglich und auch nötig, gewisse feste Begriffe und Definitionen für die Verhältnisse des elektrischen Stromes aufzustellen, mit denen wir in Zukunft operieren wollen.

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 bestimmte aus der Nord-Südrichtung herausgedrehte Lage. Nun haben wir schon oben gefunden, daß die Magnetnadel bald stärker, bald schwächer aus der Nord-Südrichtung abgelenkt wird. Durch ein Daniellsches Element wird sie stark, durch ein Thermoelement schwach abgelenkt. Wir sehen also, daß zwei elektrische Ströme sich durch die Stärke ihrer Wirkungen auf die Magnetnadel unterscheiden können.

Es ist daher eine zweckmäßige und plausible Ausdrucksweise, wenn wir den elektrischen Strömen selbst eine größere oder geringere Stärke zuschreiben. Wir wollen festsetzen, daß die Stromstärke eines Stromes um so größer ist, je größer seine magnetische Wirkung ist. Die Nadel unseres Galvanoskops wird also um so mehr aus der Nord-Südrichtung herausgedreht, je größer die Stromstärke des galvanischen Stromes ist, der um sie herumfließt und 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 können sagen, der eine Strom ist doppelt so stark wie der andere, oder dreifach, oder halb so stark. Für unsere Zwecke genügt es zunächst, daß wir in dem Galvanoskop ein Mittel haben, um die Stromstärken miteinander zu vergleichen.

Die Ablenkung der Magnetnadel ist aber nicht die einzige magnetische Wirkung, die ein elektrischer Strom ausübt. Viele andere magnetische Wirkungen werden wir im folgenden kennen lernen. Hier soll nur eine bestimmte angeführt werden, weil man aus ihr leicht ein Mittel entnimmt, um Stromstärken wirklich zu messen.

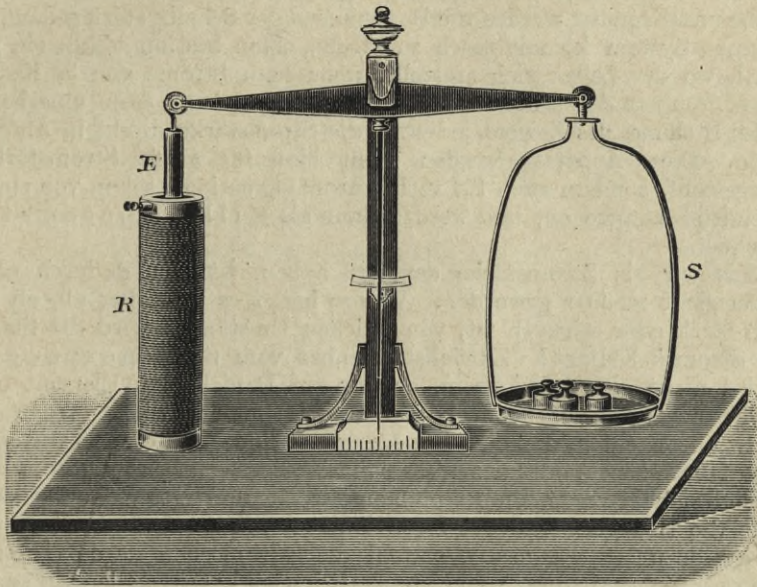
Wenn man einen Draht spiralförmig in vielen Windungen um eine hohle Rolle, wie R in Fig. 17, wickelt und durch den Draht einen elektrischen Strom sendet, indem man seine Enden a und b mit den Polen eines galvanischen Elements oder eines Thermoelements verbindet, so sind in der Nähe dieser Rolle und namentlich in dem Hohlraum derselben starke magnetische Kräfte vorhanden. Diese zeigen sich z. B. in folgender Wirkung. Wenn man über dieser Rolle einen Magnetstab E an einer Spiralfeder F passend aufhängt, so wird im Moment des Stromdurchgangs der Stab in die Rolle hineingezogen und bleibt darin, solange der Strom fließt. Sobald der Strom geöffnet wird, also zu fließen aufhört, springt der Stab vermöge der Elastizität der Feder F wieder aus der Rolle heraus.



Diesen Vorgang kann man aber leicht zu quantitativen Messungen in folgender Weise benutzen. Man hängt, wie in Fig. 18, den Magnetstab E an dem Arm einer Waage auf und bringt die Waage ins Gleichgewicht, indem man auf die Wagschale am anderen Arm Gewichte legt. Unter dem Magnetstab steht die Rolle R mit Drahtwindungen. Sobald man einen Strom durch die Rolle R sendet, wird der Magnetstab in sie hineingezogen und man muß nun auf die andere Wagschale eine Reihe von Gewichten auflegen, um die Waage wieder zum Einspielen zu bringen. Diese Gewichte sind ein Maß für die magnetische Wirkung, also nach unserer Definition für die Stärke des Stromes. So kann man Ströme verschiedener Stärke leicht durch die Gewichte miteinander vergleichen. Brauchen wir bei einem Strom das doppelte Gewicht, um die Waage zum Einspielen zu bringen, als bei einem anderen Strom, so sagen wir, der erste Strom hat die doppelte Stärke als der andere. Wenn man nun eine bestimmte Stromstärke stets als Einheit nimmt, die also bei unserem Apparat durch ein bestimmtes Gewicht repräsentiert wird, so kann man alle anderen Stromstärken mit dieser vergleichen. Das ist nun in der Tat geschehen. Man hat eine bestimmte Stromstärke als Einheit genommen und nennt diese 1 A m p e r e. Wie diese festgestellt worden ist, werden wir später ermitteln. So wie man Längen in Metern mißt, so mißt man Stromstärken in Ampere und wir haben nun ein einfaches Mittel, um alle Stromstärken in Ampere auszudrücken. Man spricht so von Strömen von 5, 10, 100 usw. Ampere Stärke. Den tausendsten Teil eines Ampere bezeichnet man als Milliamper e.

Um nun bequem die Stärke eines Stromes in Ampere ermitteln und direkt ablesen zu können, hat man eigene Apparate konstruiert, die **A m p e r e m e t e r**, die zum Teil gerade auf der eben erörterten Hineinziehung

Fig. 18.



eines Eisenkerns in eine Drahtspule beruhen. Der Eisenkern braucht nicht ein Stab zu sein, sondern er kann ein irgendwie zweckmäßig gestaltetes Eisenstück sein. So zeigt Fig. 19 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 ab-

Fig. 19.

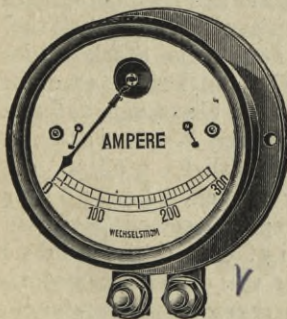
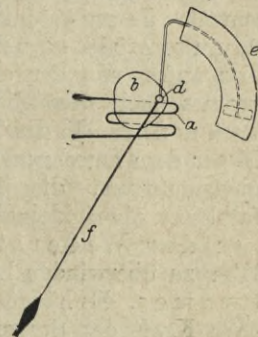


Fig. 20.



lesen kann. Im Inneren des Gehäuses sind nämlich, wie Fig. 20 zeigt, einige Drahtwindungen *a* angebracht, durch welche der zu messende Strom fließt. Innerhalb derselben ist ein besonders geformtes Eisenblättchen *b* so angeordnet, daß es sich um die Achse *d*, also exzentrisch, drehen kann. Je nach der Stärke des Stromes dreht es sich mehr oder minder weit in

die Drahtspule 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 ganze System 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 *Milliampere meter* 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 wird nicht gleichgültig sein, ob wir ein Daniellsches Element oder ein Thermoelement oder ein Leclanché-Element 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, sowohl die galvanischen als die Thermoelemente. Woher sie diese treibende Kraft in sich haben, wollen wir später genauer besprechen, sie wird bei den einen durch die chemischen Prozesse, bei den anderen durch die zugeführte Wärme selbst 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, und ebenso jedes Thermoelement. Je größer nun die elektromotorische Kraft des Stromerzeugers ist, um so 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 sind, in denen er fließt. In der Tat haben wir uns schon früher überzeugt, 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 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, um so größer, und je größer der gesamte Widerstand des Stromkreises ist, um so 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:

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

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 Daniellsches 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, um so 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, daß der Widerstand eines Drahtes um so größer ist, je länger der Draht ist, und je dünner er ist, je kleiner also 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 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 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt als Einheit zu Grunde, so kann man für jedes andere leitende Material eine Zahl bestimmen, welche angibt, wie-

vielmals 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:

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

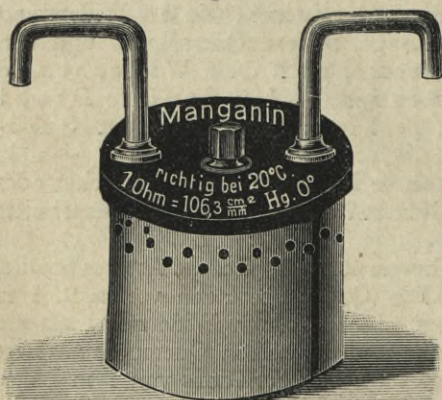
Dies gilt für Leiter jeder Art, sowohl für feste Leiter — wie Metalle, Kohle — als für flüssige Leiter, also auch für die Flüssigkeiten in galvanischen Elementen, denn auch bei einer Flüssigkeit, obwohl sie nicht die Form eines Drahtes hat, kann man von der Länge und dem Querschnitt des durchflossenen 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. 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. Das so definierte Ohm ist reichsgesetzlich bei uns und auch in allen anderen Ländern festgelegt. Man hat das Quecksilber als Normalsubstanz gewählt, weil dieses von allen Metallen allein sich in vollständiger Reinheit darstellen läßt. 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. 21 zeigt ein solches Normalohm.

Um den Widerstand anderer Stoffe durch bestimmte Zahlen-

Fig. 21.



werte 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 der spezifische Widerstand des Quecksilbers bei 0° gleich $\frac{1}{1,063} = 0,9407$. Bei 18° ist er etwas größer, nämlich = 0,958.

Das Umgekehrte des spezifischen Widerstandes nennt man die spezifische Leitungsfähigkeit. Da z. B. der spezifische Widerstand des Bleis 0,21 ist, so ist die spezifische Leitungsfähigkeit desselben $\frac{1}{0,21} = 4,8$.

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

Namen der Leiter	Spezifischer Widerstand (Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt in Ohm)	Spezifische Leitungsfähigkeit
Aluminium	0,032	31,3
Blei	0,21	4,8
Eisen	0,09—0,15	6,7—11
Gold	0,023	43,5
Kupfer	0,017	58,8
„ (reinstes)	0,0162	61,7
Quecksilber	0,958	1,044
Silber	0,016	62,5
Zink	0,061	16,4

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

Namen der Leiter	Spezifischer Widerstand	Spezifische Leitungsfähigkeit
Graphit	13	0,07
Gaskohle	etwa 50	0,02
Neusilber	0,30—0,40	3,3—2,5
Nickelin (60 Kupfer, 19 Zink, 19 Nickel, Eisen)	0,42	2,4
Patentnickel (Kupfer, Zink, Nickel, Eisen)	0,33	3,0
Konstantan (60 Kupfer, 40 Nickel)	0,48	2,1
Manganin (84 Kupfer, 12 Mangan, 4 Nickel)	0,42	2,4
Kruppin (Eisennickellegierung)	0,80	1,25

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. Während des Krieges hat man bei uns vielfach statt der Kupferdrähte vielmehr Aluminiumdrähte und Zinkdrähte für elektrische Leitungen benutzt.

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).

Name der Flüssigkeit	Spezifische Leitungsfähigkeit
Schwefelsäure von 30,0 Proz.	0,000 074 0
Bittersalzlösung mit 17,4 Proz. Bittersalz	0,000 004 9
Zinkvitriollösung mit 23,5 Proz. Zinkvitriol	0,000 004 8
Kupfervitriollösung, gesättigt	0,000 004 2
Essigsäure von 16,6 Proz.	0,000 000 16

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.

Wenn zwei Leiter aneinander grenzen und der Strom zwischen ihnen übergehen soll, so muß die Verbindung beider Leiter eine sehr gute sein, weil sonst der Strom 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 den Widerstand

erhöht. Ein ganz geringer Druck auf die Berührungsstelle zweier Kohlen verringert den Übergangswiderstand schon sehr bedeutend. In dem Mikrophon, das im folgenden Kapitel 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 oder Thermoelementen 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 Daniells, so kann man diese zunächst so verbinden, wie in Fig. 22.

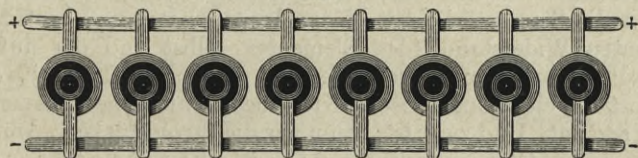
Es ist bei dieser Anordnung immer das Zink des einen Elements mit dem Kupfer des anderen verbunden. Der innere Widerstand dieser ganzen Kette ist offenbar der achtfache eines einzelnen Daniells, weil der Strom jetzt die achtfache Länge der Flüssigkeit bei gleichem Querschnitt zu durchlaufen hat. In einer 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 Kupferplatten miteinander verbindet und ebenso alle Zinkplatten. Eine solche Anordnung ist in Fig. 23 dargestellt. Man sagt dann, die Elemente seien

Fig. 22.



Fig. 23.



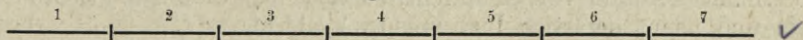
nebeneinander geschaltet oder parallel geschaltet. Hier sind die Verhältnisse ganz andere. Alle die Kupferzylinder bilden zusammen eine große Kupfermasse und alle die Zinkzylinder eine große Zinkmasse, die der Kupfermasse gegenüber steht. Denkt man sich alle Flüssigkeiten und Metalle zusammen in einem Gefäß, so ist der Querschnitt der Flüssigkeiten, durch den der Strom fließt, jetzt achtmal so groß wie bei einem einzigen Daniell, 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 Daniells.

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

Dasselbe gilt übrigens allgemein von Widerständen aller Art.

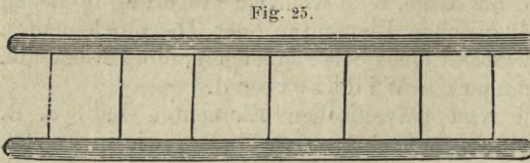
Haben wir z. B. sieben Drähte, alle von gleichem Widerstand, und verbinden wir sie wie in Fig. 24, so ist der Widerstand dieser zusammen-

Fig. 24.



hängenden 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. 25, 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 nach diesem Gesetz die

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

Haben wir also etwa von einem Daniellschen Element einen Strom erzeugt, und 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 Daniellschen Elementes, das 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

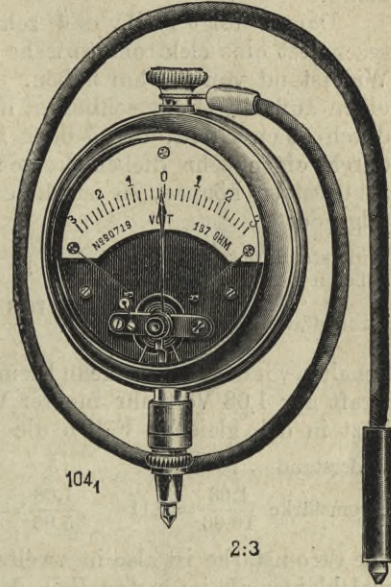
$$1 \text{ Volt} = 1 \text{ Ampere} \times 1 \text{ Ohm}$$

$$\text{oder } 1 \text{ Ampere} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}, \quad 1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampere}} \quad \checkmark$$

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. 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 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. 26. Das 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.

Fig. 26.



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 Daniellsches Element 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. 23, nur dieselbe elektromotorische Kraft besitzt wie ein einzelnes Element. Denn alle Kupfer sind miteinander verbunden und bilden eine große Kupfermasse, alle Zink sind miteinander verbunden und bilden eine große Zinkmasse. Da es auf die Größe des Kupfers und Zinks 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. 22, 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. 8 ff.) angeführten Elemente sind folgende:

Daniell	1,08—1,12 Volt	
Krügerelement	1,08—1,12 ..	
Leclanché	1,49 ..	
Kohlelement	1,49 ..	✓
T-Element	1,5 ..	

Der innere Widerstand der galvanischen Elemente hängt natürlich von der Größe des Elementes, von der Beschaffenheit der Tonzellen usw. ab. Man kann deshalb für die gewöhnlich benutzten Elemente auch nur ungefähre Angaben über den inneren Widerstand machen. Ein Daniell-

sches Element von normaler Größe hat etwa 0,6 Ohm, ein Krüger-Element 7,5 Ohm, ein Leclanché-Element ungefähr 0,3 Ohm, ein Kohleelement etwa 5 Ohm und ein Trockenelement (T-Element) 0,1–0,3 Ohm Widerstand.

Daraus folgt z. B., daß zehn Daniellsche Elemente hintereinander geschaltet eine elektromotorische Kraft von 10,8 Volt und einen inneren Widerstand von 6 Ohm haben. Wenn wir diese Batterie einmal durch einen äußeren Draht 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	$\frac{10,8}{16} = 0,68$	$\frac{10,8}{11} = 0,98$	$\frac{10,8}{7} = 1,54$	$\frac{10,8}{6} = 1,8$	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	$\frac{1,08}{10,06} = 0,11$	$\frac{1,08}{5,06} = 0,21$	$\frac{1,08}{1,06} = 1,01$	$\frac{1,08}{0,06} = 18$	Amp.

Die Stromstärke ist also im zweiten Fall bei großen äußeren Widerständen viel kleiner als im ersten Fall, dagegen bei sehr kleinem äußeren 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 kurz geschlossen, 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.

So wie bei galvanischen Elementen ist auch bei Thermo-Elementen die elektromotorische Kraft nur abhängig von der Natur, nicht von der Größe der beiden Metalle, welche zusammen verlötet sind. Außerdem aber hängt sie wesentlich ab von dem Temperaturunterschied der beiden Lötstellen, sie ist um so größer, je größer die Temperaturdifferenz der Lötstellen ist. Das gilt jedoch nicht bis zu allen Temperaturen. Bei höheren Temperaturen wird oft die Struktur der Metalle eine andere und infolgedessen ändert sich auch die elektromotorische Kraft, sie nimmt dann ab, statt zuzunehmen.

Die elektromotorischen Kräfte aller Thermo-Elemente aus Metallen sind sämtlich nur kleine Bruchteile eines Volt. Wir wollen sie in Mikrovolt, d. h. in Millionstenvolt, ausdrücken. Im folgenden sind die elektromotorischen Kräfte einer Anzahl von Kombinationen von Metallen und Legierungen angegeben, welche am häufigsten benutzt werden. Dabei ist immer angenommen, daß die beiden Lötstellen eine Temperaturdifferenz von 1° haben.

Elektromotorische Kraft in Mikrovolt für 1° Temperaturdifferenz.

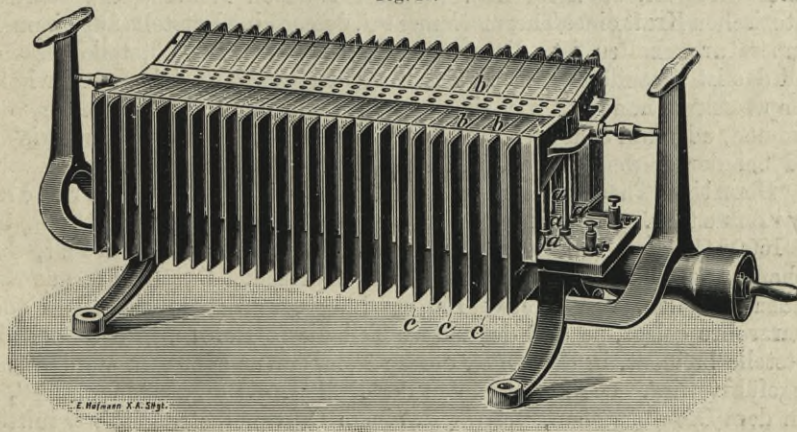
Wismut-Antimon	101
Konstantan-Eisen	53
Patentnickel-Eisen	45
Konstantan-Kupfer	40
Konstantan-Silber	37
Nickel-Eisen	32
Neusilber-Eisen	27
Nickel-Kupfer	22
Platin-Eisen	17
Platinrhodium-Platin	8

Ist die Temperaturdifferenz der Lötstellen nicht 1°, sondern 10° oder 50°, so ist die elektromotorische Kraft dieser Thermolemente auch 10- oder 50mal so groß wie die angegebene.

Alle diese elektromotorischen Kräfte sind sehr klein. Um daher einigermaßen hohe elektromotorische Kräfte und damit zugleich starke Ströme zu bekommen, muß man, ganz ebenso wie bei galvanischen Elementen, viele Thermolemente hintereinander verbinden und immer die gleichliegenden Lötstellen derselben erwärmen. Man erhält so, wie bereits S. 11 angeführt, *Thermosäulen*.

Man hat sich häufig bemüht, Thermosäulen von großer Wirksamkeit zu bauen, d. h. Thermosäulen, welche hohe elektromotorische Kraft mit geringem inneren Widerstand verbinden und dabei haltbar sind. Diese sollten durch Gas oder Kohlenfeuer geheizt werden und dadurch bequem brauchbare Stromerzeuger von verhältnismäßig großer Wirksamkeit geben. Indes ist dieses Problem für den Großbetrieb bisher auch nicht annähernd gelöst. Für Laboratoriumszwecke wurde aber von Gölcher eine bequeme und recht haltbare Thermosäule konstruiert, welche mit Gas heizbar ist und welche eine elektromotorische Kraft von 4 Volt liefert. Diese Säule ist in Fig. 27 abgebildet. Sie besteht aus

Fig. 27.



66 hintereinander geschalteten Elementen, welche aus Nickel und einer antimonhaltigen Legierung gebildet sind. Das Nickel ist in Form von

Röhrchen *a a* angewendet, welche zugleich als Gaszuleitungsröhren dienen und innen im Apparat auf einer Platte stehen. Am oberen Ende ist an jedes Röhrchen ein Stück aufgelötet, welches nach oben in eine Hülse ausläuft, in die die antimonhaltige Legierung eingegossen ist. Diese Antimonstücke sind winkelförmig gebogen, *b b*, und an ihre Enden sind lange Kupferstreifen *c c* angelötet, welche zur Abkühlung und zur Verbindung der Elemente dienen. Die oben sichtbaren Löcher sind die Enden der Nickelröhren. Es ist die Einrichtung so getroffen, daß selbst bei wechselndem Gasdruck die Säule immer konstant erwärmt wird. Der innere Widerstand dieser Säule ist 0,65 Ohm, die elektromotorische Kraft, wie gesagt, 4 Volt. Die maximale Stromstärke, welche die Säule liefern kann (bei Kurzschluß), ist daher 6,1 Ampere. Die Säule ist stets durch Anzünden des Gases zum Betrieb bereit und erfordert nur verhältnismäßig wenig Gas (170 l per Stunde).

In den Thermoelementen findet eine direkte Umwandlung von Wärme in Elektrizität statt. Es wird der einen Lötstelle von außen Wärme zugeführt und diese erzeugt einen elektrischen Strom. Da die Wärme ein so mächtiges Agens in der Natur ist, da sie die Energie für unsere größten Maschinen liefert; so sollte man glauben, daß man durch Umwandlung von Wärme in Elektrizität auch sehr mächtige elektrische Wirkungen bekommen kann. Das ist aber bisher nicht der Fall. Die elektromotorische Kraft der Thermoelemente ist eine sehr geringe und selbst durch Kombination einer Reihe von solchen Elementen erhält man immer einen verhältnismäßig kleinen Nutzeffekt. Das eigentliche Problem, Wärme ohne große Verluste direkt in Elektrizität umzuwandeln, dieses Problem, das von der allergrößten Wichtigkeit sowohl in wissenschaftlicher, wie in praktischer Hinsicht wäre, ist bisher nicht gelöst.

Die Thermoelemente haben vielmehr eine hohe Bedeutung in anderer Richtung erlangt. Da nämlich ihre elektromotorische Kraft von der Temperaturdifferenz ihrer Lötstellen abhängt, um so größer wird, je größer diese ist, so kann man umgekehrt durch Messung der elektromotorischen Kraft eines Thermoelementes, dessen eine Lötstelle auf Zimmertemperatur gehalten ist, die Temperatur der anderen Lötstelle messen. Und das ist besonders dann praktisch wichtig, wenn es sich um sehr hohe Temperaturen handelt, wie sie etwa in Öfen für Industriezwecke vorkommen, oder um sehr tiefe Temperaturen, wie sie in den Kältebetrieben und bei der Anwendung von flüssiger Luft erzeugt werden.

Derartige Thermoelemente nennt man *thermoelektrische Pyrometer*. Als besonders brauchbar für hohe Temperaturen, bis zu 1600° C., hat sich das *Le Chateliersche Element*, bestehend aus Platin und Platinrhodium, erwiesen. Die Drähte aus den beiden Metallen, von je etwa 150 cm Länge, werden in Porzellan- oder Quarzrohre gelegt, so daß der untere Teil dieses Rohres, in dem sich die Lötstelle befindet, in den Ofen, dessen Temperatur gemessen werden soll, eingeführt wird. Die freien Enden der Drähte, die mindestens um 1½ m von dem Ofen abstehen, werden zu einem Galvanometer geführt, mittels dessen man die entstehende Stromstärke, und dadurch, wenn der Gesamtwiderstand bekannt ist, auch die elektromotorische Kraft bestimmen kann. Die Skala solcher Galvanometer wird dann gewöhnlich gleich in

Grade Celsius geteilt, so daß man die Temperaturen direkt an ihnen ablesen kann. Zur Messung tiefer Temperaturen (bis -190°C.) eignet sich die Kombination Kupfer-Konstantan.

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**.

Also wenn bei einem geschlossenen Daniellschen Element der Strom im äußeren Stromkreis vom Kupfer zum Zink fließt, so müssen wir behaupten, daß der Kupferpol 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 der Unterschied der Spannungen an den Endpunkten des Drahtstückes gleich dem Produkt aus seinem Widerstand und der Stromstärke ist. Dies kann man zweckmäßig so ausdrücken: beim Durchströmen durch ein Drahtstück verliert der Strom an Spannung, er leidet 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 um so größer ist, je größer der überwundene Widerstand ist.

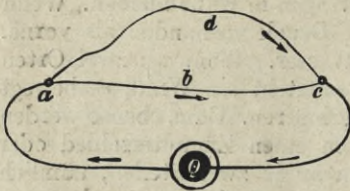
Daraus folgt sofort, daß der Spannungsunterschied an den Polen eines geschlossenen Elementes nicht etwa gleich der elektromotorischen Kraft des Elementes selbst ist. Vielmehr hat der Strom, bis er an die Pole des Elementes gelangt, schon den inneren Widerstand des Elementes überwinden müssen. Die Spannung an den Polen (die man oft die **Klemmenspannung** nennt) ist also beim geschlossenen

Element kleiner als die elektromotorische Kraft des Elementes, und zwar kleiner um den Betrag des Spannungsverlustes im Inneren des Elementes, d. h. um das Produkt aus Stromstärke und innerem Widerstand.

Die Einführung dieses neuen Begriffes, des Spannungsunterschiedes, wird uns nun dazu dienen, auch komplizierte 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

Fig. 28.



verzweigte Leitung gehen, wie sie am einfachsten in Fig. 28 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.

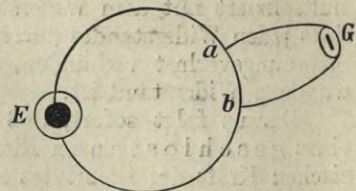
Die Stromstärke im Zweige c Q a ist eine andere als im Zweige a b c und diese wieder eine andere als im Zweige a d c, wie man jederzeit erkennen kann, wenn man ein Amperemeter in jeden der drei Zweige bringt.

Die beiden Drähte a b c und a d c werden wir, nach unserer früheren Bezeichnung (S. 26), als parallel zueinander geschaltet bezeichnen müssen. Der Strom fließt gleichzeitig durch den einen und den anderen durch und man sieht sofort ein, daß, wenn der Widerstand von a d c etwa 10mal 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. 29 ein galvanisches Element, das den Strom durch seinen Kreis E a b treibt, und man wolle den Spannungsunterschied

Fig. 29.



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.

Natürlicherweise richtet man zweckmäßig auch hier die Skala der Apparate so ein, daß man sie gleich in Volt einteilt. Sie sind dann also Voltmeter. Fig. 30 zeigt ein Voltmeter, das genau so eingerichtet ist, wie das oben S. 29 beschriebene Amperemeter.

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. 31 zu erkennen ist.

Fig. 30.

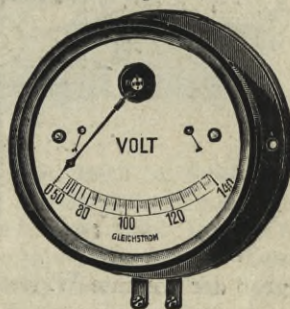
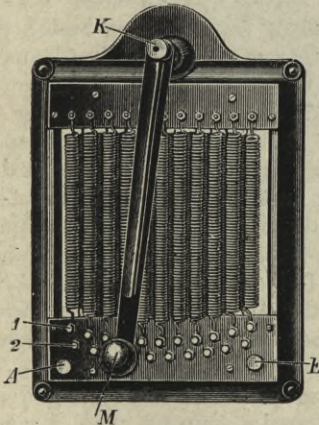


Fig. 31.



Eine Reihe von Spiralen aus Konstantan oder Nickelindraht ist in einem Rahmen befestigt. Das Ende der ersten Spule geht in einen Kontaktknopf 1, 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 Strom-

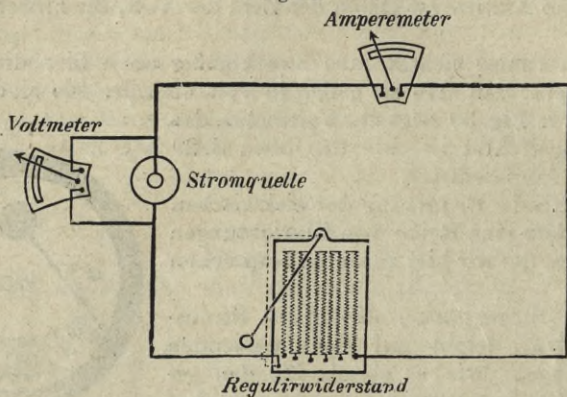
kreis eingeführt. Wird die Kurbel auf den Anfangsknopf 1 gestellt, so sind alle Widerstände eingeschaltet, bei allmählichem Hineinschieben der Kurbel nach E zu sind immer weniger Widerstände in dem Stromkreis.

Einen solchen Apparat nennt man auch einen Regulator (Stromregulator).

Die Verbindung einer Stromquelle mit einem Regulator, einem Amperemeter und einem Voltmeter ist in Fig. 32 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

Fig. 32.



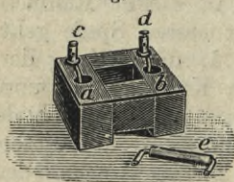
groß der gesamte Widerstand im äußeren Stromkreis ist. Denn es ist die

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

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, wenn er ganz herausgedreht

ist, bewirkt z. B. sofort Unterbrechung. In anderen Fällen benutzt man dazu einfache Vorrichtungen. Der einfachste Unterbrecher besteht, wie Fig. 33 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.

Fig. 33.



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. Ein solcher Unterbrecher ist in Fig. 13 auf S. 14 benutzt worden.

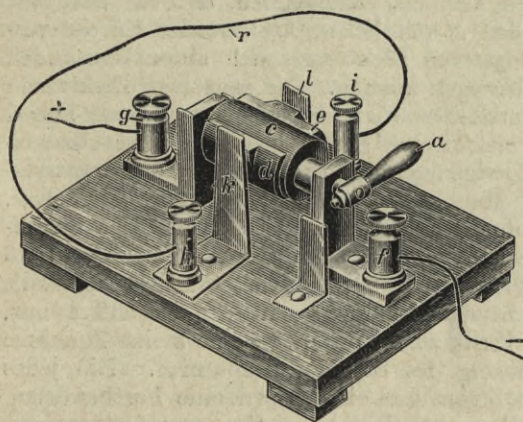
In anderen Fällen, namentlich bei der praktischen Benutzung der Elektrizität für Beleuchtung und ähnliche Zwecke, wendet man Ausschalter von der Form an, wie sie Fig. 34 geöffnet zeigt. Hier sieht man ein an dem Griff befestigtes ebenes Metallstück S, das beim Drehen des Griffes entweder auf den beiden 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 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. 35. Seine

Fig. 35.



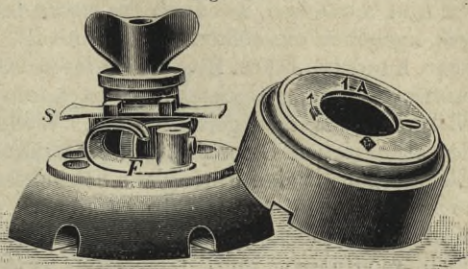
Wirkungsweise beruht darauf, daß zwei Metallwülste e und d, die sich auf einem Ebonitzylinder c befinden, gegen die Metallbleche l und k gedrückt werden, und zwar entweder e gegen l und d gegen k, oder, durch eine Drehung des Zylinders, umgekehrt e gegen k und d gegen l. Die metallische Achse des Zylinders 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 zu i und durch den Draht 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.

Fig. 34.



Nachdem wir nunmehr das 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. Die Anschauungen darüber sind über hundert Jahre lang zu keinem Abschluß gekommen. Sie haben immer wieder gewechselt, je nachdem man neue Erscheinungen der Elektrizität kennen gelernt hatte. Wenn es sich nur um eine Erklärung des elektrischen Stromes in Metalldrähten handelte, so könnte man die Elektrizität als eine Flüssigkeit betrachten, die, wie das Wasser in Röhren, so auch hier in den Metallen strömt. Aber diese einfache Anschauung muß im Hinblick auf die vielen anderen Eigenschaften der Elektrizität noch modifiziert werden. 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 muß aber ebenso in kleinste Teilchen, in Atome geteilt aufgefaßt werden, wie es die Chemie von ihren Stoffen schon lange tut. Die Atome der Elektrizität bezeichnet man als Elektronen und unterscheidet zwei Arten von ihnen, positive und negative. Man hat viele Gründe, anzunehmen, daß die positiven Elektronen immer fest mit den gewöhnlichen Atomen der Körper verbunden sind, während die negativen Elektronen sich unter Umständen frei vorfinden und sich frei bewegen können. Die negativen Elektronen sind viel kleiner, etwa 2000mal kleiner als die kleinsten 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, eben 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 Erscheinung der Elektronen. 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.

Diese Vorstellung von dem Wesen eines elektrischen Stromes wird nun aber noch gewisse Zusätze erfordern, die sich ergeben werden, wenn wir nun die Wirkungen des elektrischen Stromes der Reihe nach besprechen und die auf diesen Wirkungen beruhenden praktischen Anwendungen des elektrischen Stromes erörtern.

3. Kapitel.

Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen.

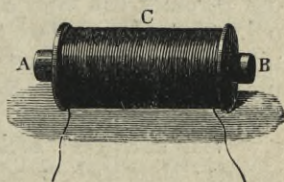
Inhalt: Elektromagnetismus. Erzeugung von Elektromagneten. Hysteresis. Magnetische Kraftlinien eines Stromes. Magnetische Leitungsfähigkeit. Ohmsches Gesetz für den Magnetismus. Magnete und Spulen. Anziehungen und Abstoßungen. Drehungen. Dauernde Rotationen. Linke-Hand-Regel. Magnetische Wirkungen zweier Ströme aufeinander (Elektrodynamik). Elektronen und Äther. **Anwendungen.** Neef'scher Hammer. Elektrische Klingel. Telegraph. Telephon und Mikrophon.

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 **Oerstedt's** Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel gewonnen wurde, die Eigenschaft, daß ein elektrischer Strom in seiner Nähe, in seiner Umgebung gewisse merkwürdige und zwar magnetische Wirkungen hervorbringt. Solche Wirkungen besitzt ein Strom gewöhnlicher Flüssigkeit durchaus nicht, und gerade dieser Unterschied war es, der die Forscher immer wieder daran zweifeln ließ, ob ein elektrischer Strom wirklich ein Strom sich bewegender Teile sei. Erst allmählich hat man diese Widersprüche zu vereinigen gelernt, und wir werden diese Aufhellung der Widersprüche besprechen müssen. Dazu ist es aber zuvor notwendig, diese magnetischen Fernwirkungen der elektrischen Ströme in ihren verschiedenen Formen zu besprechen. Seit nämlich **Oerstedt** die Ablenkung einer Magnetnadel als erste magnetische Wirkung eines elektrischen Stromes beobachtet hatte, hat sich die Reihe der Beziehungen zwischen dem elektrischen Strom und den magnetischen Erscheinungen 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.

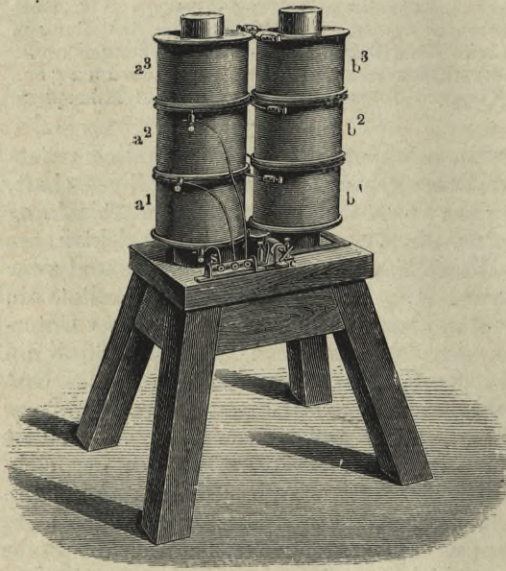
Wenn man nämlich einen elektrischen Strom spiralförmig um einen unmagnetischen Stab weichen Eisens herumführt, so wird der Eisenstab magnetisch. Um den Versuch zweckmäßig auszuführen, umwickelt man einen Hohlzylinder von Holz mit einer Reihe von Windungen aus überspannenem Draht, wie Fig. 36 bei C zeigt. Die Enden

Fig. 36.



dieser Drahtwindungen werden mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden. Es fließt also der Strom um diesen Zylinder in lauter spiralförmigen Windungen. Wenn man nun in die Höhlung des Zylinders einen Stab A B aus unmagnetischem weichen 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 haften bleiben. Man nennt einen solchen mit Draht umwickelten Zylinder eine *Magnetisierungsspule*. Sowie man den Strom unterbricht, hört der Magnetismus in dem weichen Eisen auf, ein etwa angehängter Schlüssel 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*.

Fig. 37.



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 Ampère'sche Schwimmerregel gegeben, die wir schon oben S. 7 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. 37 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.

An dem Tisch sind gewöhnlich Klemmschrauben angebracht, um den Strom in die Magnetisierungsspiralen einleiten zu können, und außerdem ein Kommutator, welcher dazu dient, die Pole der Magnete rasch wechseln zu können, oder auch den Strom ganz zu unterbrechen und daher den Magnetismus des Eisens ganz aufzuheben. Aus der Ampèreschen Schwimmerregel folgt, daß, wie es in Fig. 38 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.

Fig. 38.

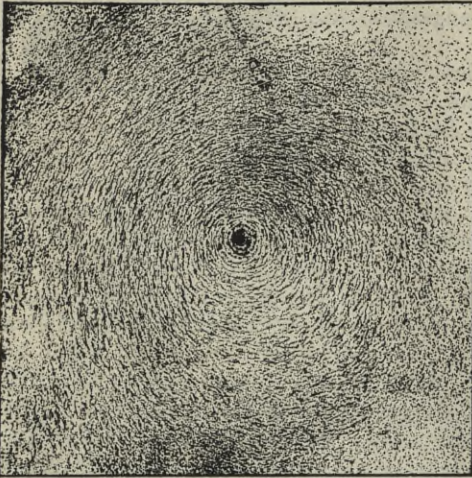


Sowie der Strom unterbrochen wird, hört der Magnetismus des Eisens auf. Doch ist das nicht ganz streng richtig. Es dauert nämlich immer eine gewisse kleine, aber meßbare Zeit, bis der Magnetismus aus dem Eisenkern verschwunden ist. Man nimmt zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen an, daß in jedem, 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 darin 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 weichen 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 und auf dem Rückweg durchläuft es nicht dieselben Werte. Bei gleicher magnetisierender Stromstärke ist der erzeugte Magnetismus ein kleinerer bei aufsteigendem (stärker werdendem) Strom als bei absteigendem Strom. Es kommt das eben daher, daß bei aufsteigen-

dem Strom sich die Koerzitivkraft der Magnetisierung entgegenstellt, bei absteigendem, schwächer werdendem Strom aber der Entmagnetisierung. Diese Erscheinung nennt man *Hysteresis* des Eisens (von ὕστερον, 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

Fig. 39.



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 fortwährend 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 stö-

rend 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. Wenn man einen geraden Draht, durch welchen man einen starken Strom sendet, senkrecht durch ein Papierblatt hindurchsteckt und nun feine Eisenfeilspäne auf das Papierblatt streut, so ordnen sich diese Späne so an, wie es Fig. 39 zeigt. Sie schließen sich nämlich zu Kreisen um den stromführenden Draht herum zusammen. Man bezeichnet eine jede solche gerade oder krumme Linie, in welcher sich Eisenfeilspäne unter der Wirkung von magnetischen Kräften anordnen, als eine *magnetische Kraftlinie*. Das eben angestellte Experiment 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. 40, und sendet durch sie (etwa von dem gezeichneten Element *ZC* 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. 41, so gehen aus demselben Grunde die Kraftlinien im wesentlichen parallel der Achse der Spirale hindurch. Eine solche stromdurchflossene Drahtspule nennt man auch ein Solenoid. Je mehr Windungen die Spule pro 1 cm Länge hat und je stärker der Strom ist, der durch sie fließt, um so größer ist die magnetische Kraft im Inneren derselben. Statt des Worts magnetische Kraft gebraucht man auch das ganz gleichbedeutende Wort *Feldstärke*. Die Feldstärke im Inneren eines Solenoids ist also abhängig von dem Produkt aus der Zahl der Windungen und der Stromstärke 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 um so größer, je größer die Zahl der Amperewindungen und je kürzer das Solenoid ist.

Die magnetische Kraft oder die Feldstärke, die an einer Stelle eines magnetischen Feldes herrscht, stellt man zweckmäßig in einer sehr an-

Fig. 40.

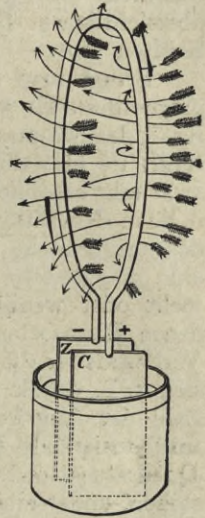
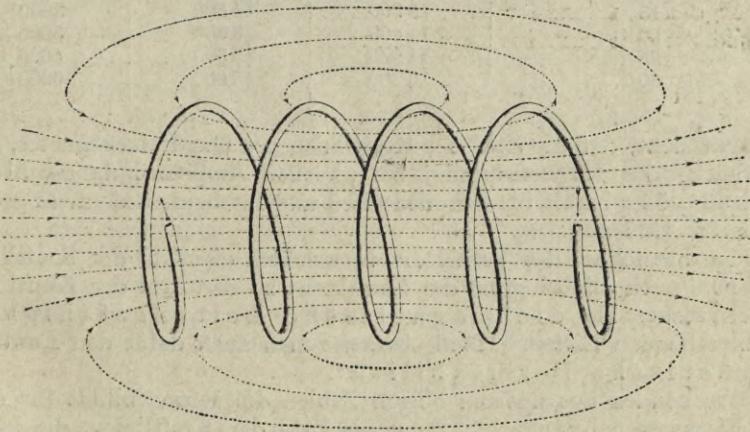


Fig. 41.



schaulichen Weise dar. Herrscht z. B. im Inneren unserer Spule die Feldstärke 200, so zieht man durch das Innere eine Anzahl von Linien, Kraftlinien, in der Richtung der Achse der Spule, und zwar so

viel, daß auf jeden Quadratcentimeter gerade 200 kommen. Dann kann man mit einem Blick aus der Zahl der Kraftlinien pro 1 qcm 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.

Bringt man in das Solenoid einen Eisenstab, so wird dieser selbst magnetisch. Es wirkt dann also im Inneren 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 (also für deren magnetisierende Kraft) einerseits, und für die Zahl der Kraftlinien pro Quadratcentimeter, die dadurch in den betreffenden Eisenkörpern entstehen, andererseits. Und zwar sind in folgender Tabelle drei Sorten von Eisen enthalten, die man als Schmiedeeisen, Stahlguß und Gußeisen bezeichnet.

Zahl der Amperewindungen (pro 1 cm)	Zahl der Kraftlinien pro 1 qcm		
	Schmiedeeisen	Stahlguß	Gußeisen
5	9 000	11 000	—
10	12 000	13 500	2300
15	13 300	14 500	3900
20	14 400	15 000	5000
25	14 900	15 500	5600
30	15 300	15 800	6200

Man sieht, daß die Zahl der Kraftlinien pro Quadratcentimeter, also die Stärke der Magnetisierung, bei gleicher Amperewindungszahl für Stahlguß größer ist als für Schmiedeeisen und für beide bedeutend größer ist als für 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 die magnetische Leitungsfähigkeit des betreffenden Eisens. Häufig braucht man auch dafür den Ausdruck magnetische Permeabilität.

Wir können aus unseren obigen Zahlen die Permeabilität für diese drei Eisensorten berechnen. Denn die Zahl der Kraftlinien, die in der leeren Spule pro Quadratcentimeter verlaufen, ist gleich der Zahl der Amperewindungen pro 1 cm Länge (genau muß man die letztere noch mit $\frac{5}{4}$ multiplizieren). Dadurch erhalten wir folgende Tabelle:

Zahl der Amperewindungen (pro 1 cm)	magnetische Leitungsfähigkeit		
	Schmiedeeisen	Stahlguß	Gußeisen
5	1440	1760	—
10	960	1080	184
15	709	773	208
20	576	600	200
25	477	496	179
30	408	421	165

Man sieht, daß die magnetische Leitungsfähigkeit der verschiedenen Eisensorten nicht eine unveränderliche Größe ist, wie die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle, sondern daß sie um so 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 um so größer, erstens je größer die Leitungsfähigkeit des Eisens ist, zweitens je größer der Querschnitt des Ringes ist, drittens je größer die Zahl der Amperewindungen pro 1 cm Länge ist, je kleiner also, bei gegebener Gesamtzahl der Amperewindungen, die Länge des Ringes (in der Mittellinie gemessen) ist. Man hat daher hier ein ganz analoges Gesetz, wie es das Ohmsche Gesetz bei einem elektrischen Strom ist. Bezeichnen wir nämlich die gesamte Zahl der Amperewindungen unseres Ringes, welche ja den Magnetismus erst erzeugt, als die magnetomotorische Kraft und bezeichnen wir diejenige Größe, welche von der Leitungsfähigkeit, dem Querschnitt und der Länge des Ringes abhängt, als den magnetischen Widerstand des Ringes, so können wir sagen: Die Zahl der Kraftlinien in unserem Ring ist gleich der magnetomotorischen Kraft dividiert durch den magnetischen Widerstand:

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

Was also im Ohmschen Gesetz die Stromstärke ist, das ist hier bei dem magnetischen Gesetz die Zahl der Kraftlinien.

Der magnetische Widerstand eines Ringes verhält sich ganz ebenso wie der elektrische Widerstand eines Drahtes, er ist nämlich um so größer,

je größer die Länge des Ringes, je kleiner der Querschnitt und je kleiner die Leitungsfähigkeit ist:

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

Ganz ebenso ist ja der

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

Zunächst gilt dieses Gesetz, das sogenannte Ohmsche Gesetz für den Magnetismus, nur für einen geschlossenen Eisenring, weil nur bei diesem die Kraftlinien ganz im 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. 42 den Eisenring, welcher an der Stelle SN 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 um so weniger, je kleiner die Luftschicht ist. Wir können nun für diesen Fall die Zahl der Kraftlinien berechnen, wenn wir nur den gesamten magnetischen Widerstand aus zwei Teilen zusammen-

setzen. Es ist nämlich der ganze magnetische Widerstand = magnet. Widerstand des Eisens + magnet. 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

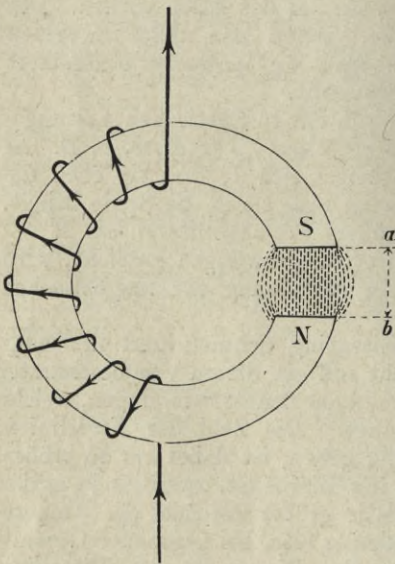
$$= \frac{60}{5 \cdot 1000} = 0,012.$$

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

Fig. 42.



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 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 tausend Mal weniger als das Eisen.

Der Anblick der Fig. 41, in welcher die magnetischen Kraftlinien einer stromdurchflossenen Spule gezeichnet sind, zeigt uns, daß eine solche 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 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.

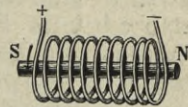
Eine drehbar aufgehängte Magnetnadel muß sich also z. B. in der Nähe eines Stromes ebenso drehen, wie in der Nähe eines Magneten. Das ist die Entdeckung von Oerstedt. Wird ferner ein Magnetstab über einer festen, von einem Strom durchflossenen Drahtspirale beweglich aufgehängt, so wird der Magnet entweder in die Spirale hineingezogen oder von ihr abgestoßen, je nachdem die Richtung seiner Kraftlinien mit denen der Spule übereinstimmt oder nicht.

Ist ein unmagnetischer Stab 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.

Eine stromdurchflossene Spirale zieht also immer einen Stab aus weichem Eisen in sich hinein, bis seine Mitte mit der Mitte der Spirale zusammenfällt, wie in Fig. 43. Daraus erklärt sich die Wirkung, die wir oben (S. 18) zur Konstruktion von Amperemetern benutzt haben.

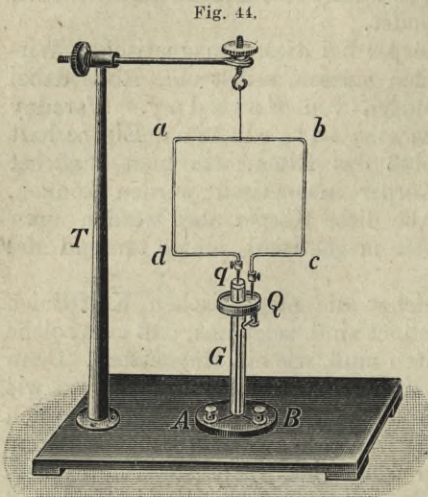
Umgekehrt muß aber auch, wenn der Stromleiter beweglich und der Magnet fest ist, der Stromleiter sich bewegen, und zwar ebenfalls so, daß die Richtung seiner Kraftlinien, die ja senkrecht zu seiner Ebene stehen, parallel der Richtung der Achse des Magneten wird. Um dies experimentell nachzuweisen, ist 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. 44 dargestellt. Eine Messingsäule G trägt oben ein Ebonitgefäß Q, inner-

Fig. 43.



halb dessen ein zweites Ebonitgefäß q sich befindet. Beide Ebonitgefäße sind mit Quecksilber gefüllt und das innere ist durch einen in der Säule G isoliert geführten Draht mit der Klemmschraube A , das äußere,

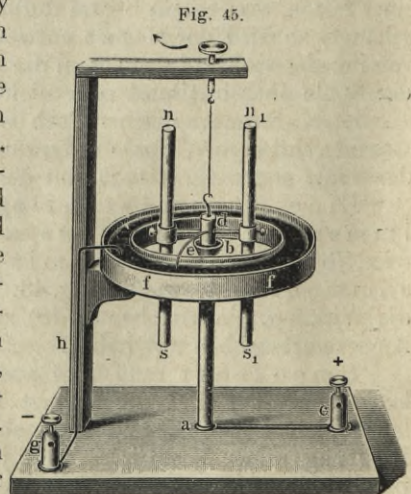
ringförmige, durch einen Draht mit der Klemmschraube B verbunden. Ein Drahtviereck $a b c d$, das, um es leichter drehbar zu machen, mittels eines Fadens an einem Stativ T aufgehängt ist, taucht mit einer Endspitze in das eine Quecksilbergefäß q , mit der anderen in das andere Q . Der Strom geht von 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 Strom-



kreises senkrecht steht gegen die Achse des Magneten, daß also die Achse des Magneten und die Kraftlinien des Stromkreises in einer Linie liegen.

Man kann aber auch durch eine geschickte Kombination von Ma-

gneten 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. 45. 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, 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 Magnetstäben beweglich, und

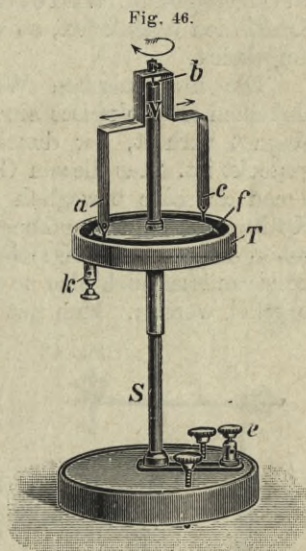
in der Tat fängt das Magnetpaar, sowie der Strom fließt, an, sich zu drehen und dreht sich so lange, bis der Strom unterbrochen wird.

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.

Auch um umgekehrt einen Stromleiter in kontinuierliche Rotation um einen Magneten zu bringen, hat Faraday eine Anordnung getroffen, die in Fig. 46 dargestellt ist. In dieser ist ein Teil eines Stromkreises $a\ b\ c$ durch die Spitze b beweglich in eine mit Quecksilber ausgefüllte Vertiefung gestellt, welche an dem Ende N des Magnetstabes $S\ N$ angebracht ist. Die Enden dieses Strombügels tauchen in die mit Quecksilber gefüllte Rinne f . Ein Strom einer Batterie wird durch die Klemme e in den Magnetstab geleitet, durchfließt diesen, geht dann von b in die beiden Zweige des Strombügels a und $b\ c$, dann in die Quecksilberrinne und wird durch die Klemme k zur Batterie zurückgeleitet. Der Drahtbügel rotiert dann dauernd in der Richtung des oben gezeichneten Pfeiles um den Magneten herum. Kehrt man den Magnetstab um, so daß sein Südpol nach oben zeigt, oder kehrt man die Richtung des Stromes in dem Drahtkreis um, so wird auch die Richtung der Rotation die entgegengesetzte.

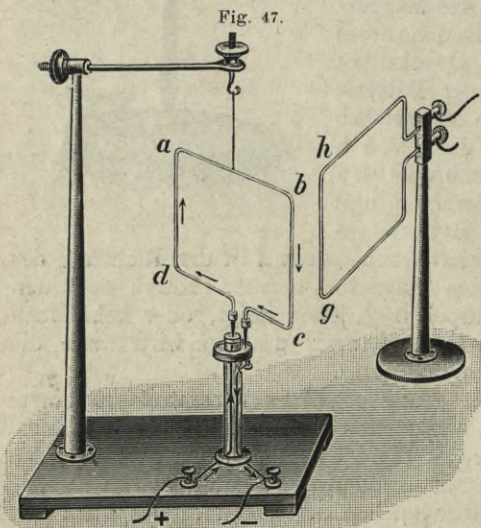
Der Drahtbügel rotiert dann dauernd in der Richtung des oben gezeichneten Pfeiles um den Magneten herum. Kehrt man den Magnetstab um, so daß sein Südpol nach oben zeigt, oder kehrt man die Richtung des Stromes in dem Drahtkreis um, so wird auch die Richtung der Rotation die entgegengesetzte.

Die Richtung dieser Bewegung einzelner Stromteile in einem magnetischen Feld läßt sich am einfachsten aus einer Regel entnehmen, bei welcher man die drei Finger der linken Hand: den Daumen, den Zeigefinger und den Mittelfinger zur 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, daß die Kraftlinien eines Magneten vom Nordpol ausgehen und, durch die Luft sich schließend, in den Südpol hineingehen. Wir wollen mit dieser Regel z. B. die Rotation des Drahtbügels in Fig. 45 untersuchen. Vom Nordpol N des Magneten gehen die Kraftlinien nach oben, also haben wir den Zeigefinger nach oben zu halten. Wenn der Strom im Drahtteil bc von b nach der Quecksilberrinne fließt, so haben wir den Mittelfinger oben auf der rechten Seite des Bügels nach rechts hin zu halten, folglich geht der Daumen nach vorn. Der rechte Teil des Bügels bewegt sich also nach vorn. Auf der linken Seite geht der Strom von b nach a, der Mittelfinger ist in dieser Richtung zu halten, der Daumen geht dann nach hinten, also bewegt sich die linke Hälfte des Drahtbügels nach hinten, d. h. der ganze Drahtbügel bewegt sich dabei im Uhrzeigersinn. Wird die Richtung des Stromes oder die der magnetischen Kraftlinien umgekehrt, so wird jedesmal auch die Richtung der Rotation umgekehrt.

Die magnetischen Wirkungen eines Solenoids und ebenso 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 Grunde aber müssen auch zwei Drahtkreise, von denen der eine beweglich ist, wenn sie von Strömen durchflossen sind, Kräfte aufeinander ausüben. 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 welcher durch scharfsinnige Experimente und Überlegungen diese Wirkungen elektrischer Ströme aufeinander aufklärte. Man nennt die gesamte Lehre von den mechanischen Wirkungen galvanischer Ströme aufeinander *Elektrodynamik*, sie ist nach unserer Auffassung nur ein spezieller Fall des Elektromagnetismus.

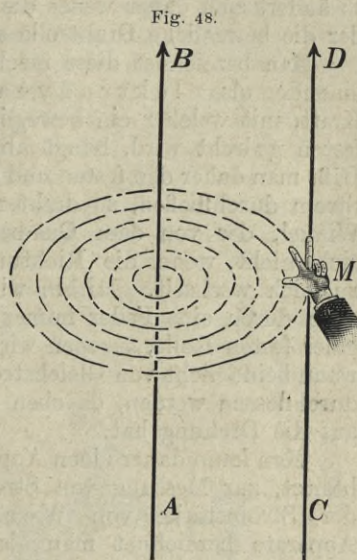
Um die Wirkungen von galvanischen Strömen aufeinander studieren zu können, mußte Ampère die Ströme, wenigstens teilweise, beweglich machen. Es wird also bei diesen Untersuchungen wieder das Ampèresche Gestell angewendet, das schon oben beschrieben wurde. Wenn man in Fig. 47 durch das Ampèresche Gestell (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 hg von unten nach oben, also in entgegengesetzter Richtung wie in cb , so wird cb abgestoßen. Ganz ebenso verhält sich die Seite ad des beweglichen Stromkreises. Fließt der Strom in hg in gleicher Richtung wie in $a d$, so wird $a d$ angezogen, cb abgestoßen; fließt der Strom in hg in entgegengesetzter Richtung wie in $a d$, so wird $a d$ abgestoßen, cb angezogen. Es ergibt sich daraus der Satz:

Zwei parallele gleichgerichtete Ströme stellen sich so, als ob sie einander anziehen, zwei parallele, in entgegengesetzter Richtung fließende Ströme so, als ob sie einander abstoßen.

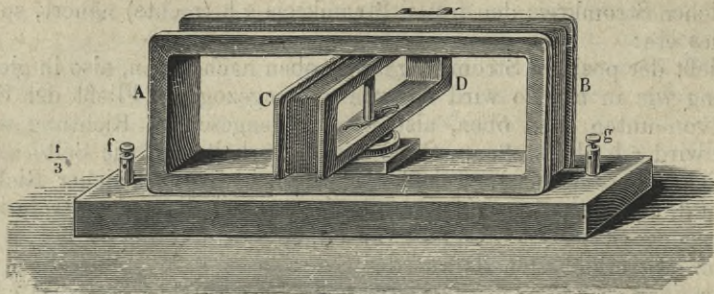
Dieses Gesetz ist übrigens eine direkte Folgerung aus der Linken-Hand-Regel. Um das einzusehen, betrachten wir in Fig. 48 die beiden geradlinigen Stromstücke AB und CD , in denen die Ströme parallel nach oben fließen sollen. Um den Strom AB herum, der fest sein möge, sind die Kraftlinien Kreise, die um ihn umgekehrt wie der Uhrzeiger herumgehen. An der Stelle M des 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 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. 49 gezeichneten Apparat sehen. In demselben ist ein fester Rahmen AB 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 CD , 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,

Fig. 49.



so ändert sich daher weder die Richtung noch die Größe der Kraft, mit der die bewegliche Drahtrolle sich der festen parallel zu stellen sucht.

Man bezeichnet diese mechanische Wirkung zweier Stromkreise aufeinander als **elektrodynamische Wirkung**. Die Größe der 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 nicht von Gleichströmen, sondern von **Wechselströmen** durchflossen werden, da eben die Richtung des Stromes keinen Einfluß auf die Drehung hat.

Man kann daher einen Apparat, der eine feste Rolle und eine drehbare besitzt, zur Messung von Stromstärken und insbesondere zur Messung der Stromstärke von **Wechselströmen** benutzen. Derartige Apparate bezeichnet man als **Elektrodynamometer**. Direkt in den Stromkreis eingeschaltet messen sie die Stromstärke, in den Nebenschluß gelegt messen sie, nach der oben S. 32 angeführten Betrachtung, die **Spannung** von Wechselströmen.

Die Tatsache, daß ein elektrischer Strom in seiner Umgebung magnetische Kräfte ausübt, ist, wie oben S. 37 erwähnt, sehr schwierig mit der Vorstellung eines wirklichen Stromes zu vereinigen. Die Bewegung der Elektrizität in 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 nur dadurch erklären, daß man annimmt, die Elektronen, die in einem Stromdraht sich bewegen, haben einen ganz besonderen Zusammenhang, eine enge Verknüpfung mit dem überall vorhandenen Äther, dem

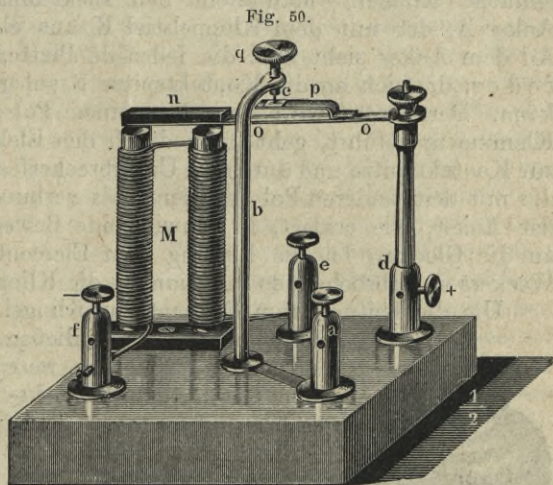
sogenannten Lichtäther, welchen die Optik schon lange annehmen muß, um die enorme Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts vorstellbar zu machen. Wo ein Elektron sich befindet, ob es ruht oder sich bewegt, da wirkt es auf den umgebenden Äther ein, indem es diesen in einen besonderen Zustand versetzt. Dieser veränderte Zustand des Äthers pflanzt sich nun in diesem rasch von Schicht zu Schicht fort und dieser veränderte Zustand des Äthers ist es, der die magnetischen Erscheinungen hervorbringt. 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.

Die elektromagnetischen Wirkungen der Ströme haben nun außer ihrer wissenschaftlichen Bedeutung auch eine sehr große Anwendbarkeit. In der That kann man ja mittels des elektrischen Stromes beliebig Magnete erzeugen und, indem man diese Eisen anziehen läßt, beliebig bestimmte Bewegungen hervorbringen. Und da der elektrische Strom sich mit außerordentlicher Geschwindigkeit fortpflanzt und immer auf vorgeschriebenen Bahnen, auf den Leitungsdrähten, bleibt, so kann man ihn in einem Moment hinleiten, wohin man will, und kann seine Wirkungen hervorbringen, wo man will, ganz unabhängig von dem Ort, wo man ihn erzeugt hat. Der elektrische Strom überwindet gewissermaßen Raum und Zeit. Kein anderer Vorgang in der Natur hat diese brauchbaren Eigenschaften, und daher ist keine andere Naturkraft, selbst die Wärme nicht, in so eminentem Maße anwendbar wie der elektrische Strom.

Eine erste sehr nützliche Anordnung, bei der man vermittels eines Elektromagneten eine rasch schwingende Bewegung erzeugt, hat ein Frankfurter Arzt, Neef, getroffen, die nach ihm Neef'scher Hammer benannt wird.

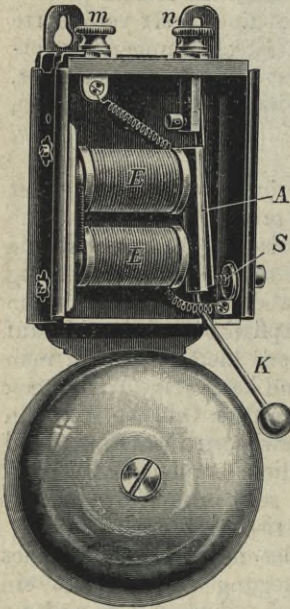
Diese Anordnung beruht darauf, daß der Strom um ein Stück weichen Eisens herumgeführt wird, dieses also, wenn er fließt, magnetisch macht. Von diesem Elektromagneten wird dann ein Stück weichen Eisens, ein Anker angezogen; dieser aber ist an einer Feder befestigt und die Anordnung ist so gemacht, daß, wenn der Anker angezogen wird, zugleich der Strom unterbrochen und infolgedessen der Anker von dem Magneten wieder losgelassen

wird. Die Einrichtung eines solchen Hammers ist in Fig. 50 gezeichnet. 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.

Fig. 51.



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. Dieser ist mit der Feder o und p verbunden, so daß zu gleicher Zeit die Feder p von der Platinspitze c weggezogen wird. Dadurch ist nun aber der Strom unterbrochen, folglich auch der Elektromagnet nicht mehr magnetisch. Infolgedessen wird n durch die Feder wieder in die Höhe geschleudert und die Verbindung mit c wieder hergestellt 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.

Eine direkte Anwendung wird von dem Neef'schen Hammer bei den elektrischen Klingeln gemacht. Man braucht offenbar nur an dem hin und her schwingenden Anker einen Klöppel zu befestigen, der auf eine Glocke schlagen kann, und die elektrische Klingel ist fertig. In der Tat zeigt Fig. 51 eine derartige

einfache Klingel. Man sieht den Elektromagneten E E mit seinem Anker A, der mit dem Klöppelstiel K aus einem Stück verfertigt ist. An dem Anker sieht man die federnde Platte, die Unterbrecherfeder, die sich an die Kontaktspitze S anlegen oder von ihr trennen kann. Der Strom wird von dem einen Pol des Elementes nach der Klemme m geführt, geht dann durch den Elektromagneten, von diesem zur Kontaktspitze und durch die Unterbrecherfeder zur anderen Klemme n, die mit dem anderen Pol des Elementes verbunden ist. Dadurch kommt der Anker, wie erklärt, in schwingende Bewegung, der Klöppel schlägt an die Glocke. Ist die Leitung vom Element nach den Klemmen des Weckers unterbrochen, so funktioniert die Klingel natürlich nicht.

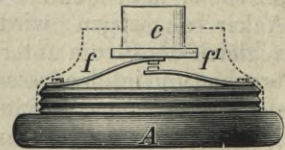
Um die Leitung vom Element zur Klingel beliebig, etwa von einem

Fig. 52.



Zimmer aus, zu schließen oder zu unterbrechen, werden bekanntlich Kontakknöpfe benutzt, deren äußere Ansicht in Fig. 52, deren innere Einrichtung durch Fig. 53 dargestellt ist. Der eine Draht, der vom

Fig. 53.

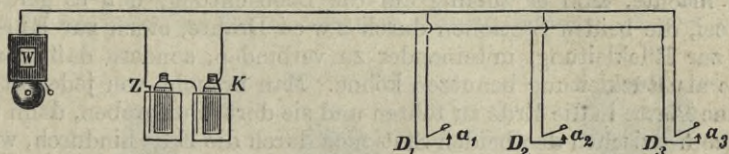


Element in das Zimmer führt, ist mit der Feder f verbunden, und von der anderen Feder f' führt die Leitung weiter zur Klingel. Die beiden Federn f

und f^1 sind für gewöhnlich getrennt, die Leitung vom Element zur Klingel ist also unterbrochen. Durch einen Druck auf den Elfenbeinknopf c wird aber f an f^1 angedrückt, der Strom geht vom Element durch f und f^1 zur Klingel und diese funktioniert.

Um von einer beliebigen Anzahl von Zimmern aus die Glocke ertönen lassen zu können, muß in jedem derselben ein solcher Kontaktknopf vorhanden sein, und zwar werden diese Kontakte alle parallel geschaltet. Es wird nämlich, wie Fig. 54 zeigt, von der Batterie Z K

Fig. 54.



der eine Pol Z mit der Klingel W verbunden und von der anderen Klemme der Klingel sowohl, wie von dem anderen Pol K der Batterie führen zwei getrennte Drähte bei sämtlichen Zimmern des Hauses vorbei, von denen aus geschellt werden soll. In jedem Zimmer, z. B. in D_1 , werden zwei Drähte von dieser Leitung abgezweigt, von jedem Draht einer, welche zu dem Druckknopf D_1 mit seinem beweglichen Kontakt a geführt werden. Dasselbe geschieht im Zimmer D_2 und im Zimmer D_3 usf. Wird also z. B. in D_3 der Knopf gedrückt, so geht der Strom von Z durch W, a_3 , D_3 nach K. Element und Klingel sind also miteinander verbunden und die Glocke tönt.

Weitaus die wichtigste Anwendung aber, welche die elektromagnetischen Wirkungen des Stromes erfahren haben, ist diejenige zur raschen Übertragung von Nachrichten auf weite Entfernungen, also zur Telegraphie und Telephonie. In der Tat kann man ja einen Strom durch Drähte beliebig weit fortleiten und durch denselben an ganz entfernten Stellen, indem man ihn dort auf Magnetnadeln wirken läßt oder um weiches Eisen herumsendet, beliebige Bewegungen hervorbringen lassen.

Im Anfang allerdings waren die Versuche, auf elektrischem Wege zu telegraphieren, sehr unzuweckmäßig, weil man für jeden Buchstaben, den man telegraphieren wollte, einen eigenen Draht anwenden zu müssen glaubte, so daß Napoleon I., als ihm der Plan eines derartigen Telegraphen vorgelegt wurde, ihn spöttisch als „*idée germanique*“ abwies. Erst seitdem man, durch Gauß angeregt, einsah, daß alle unsere Buchstaben durch zwei Zeichen sich bequem ausdrücken lassen, ließ sich die Idee der elektrischen Telegraphie praktisch ausführen.

In der Tat waren es nach vielen mehr oder weniger unbrauchbaren Vorschlägen 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 hier 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 kurzdauernde 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. 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 nur mit dem Morseschen Schreibtelegraphen und dem Hughesschen Typendrucktelegraphen telegraphiert, nur für wenige Spezialzwecke werden noch andere Telegraphen benutzt. Wir wollen uns hier nur mit dem Morseschen Telegraphen beschäftigen.

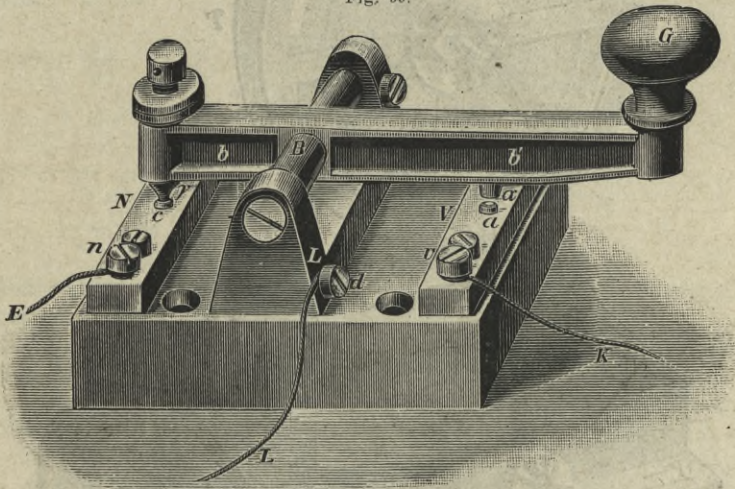
Bei dem Morsesystem werden die Zeichen durch kürzeres oder längeres Schließen eines Stromes gegeben, der durch die beiden verbundenen Stationen hindurchfließt. In der Aufgabestation steht eine Batterie, die den Strom liefert, der durch die Drahtleitung in die entfernte Station fließt, und ferner ist an der Aufgabestation ein Apparat vorhanden, durch welchen der Strom dieser Batterie beliebig geöffnet und geschlossen werden kann, ein sogenannter Taster oder Morseschlüssel. 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 Zeichen einzudrücken oder einzuschreiben.

Der Taster zunächst ist ein sehr einfacher Apparat. Er ist in Fig. 55 abgebildet. Ein metallischer Hebel $b b^1$ kann sich um seine Achse B drehen und kann daher durch den Knopf G niedergedrückt oder losgelassen werden. 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 a 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.

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. Dieser Schlüssel ist aber nicht

Fig. 55.

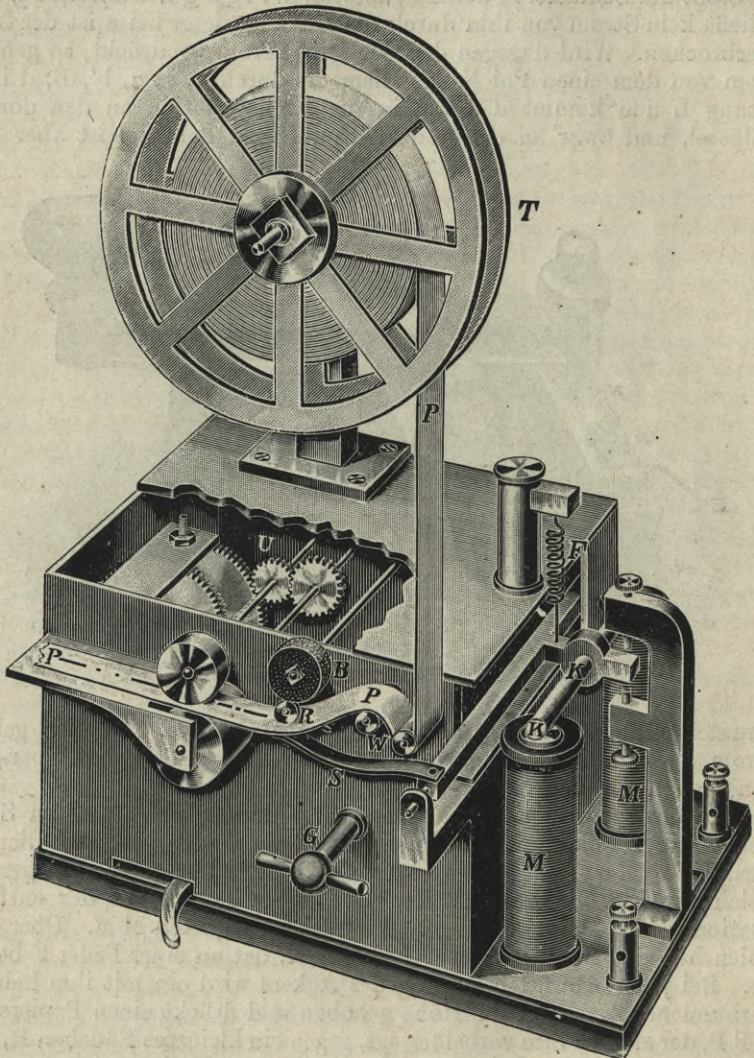


heruntergedrückt, sondern in der gezeichneten Lage. Folglich geht der Strom dort durch d, B, γ , c, n zum dortigen Telegraphenapparat und von diesem zur Erde.

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 Fig. 56 gezeichnet ist. Der Strom kommt von der entfernten Station in die Drahtwindungen des Elektromagneten MM. Über dessen Polen befindet sich der eiserne 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 kleineres Rädchen R, dessen Rand immer blau gefärbt ist, da es bei seiner Drehung immer von der mit blaugetränktem Filz bekleideten Rolle B Farbe aufnimmt. Ist der Strom nur ein ganz kurzer, 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

Fig. 56.



hervorgebracht. Das Papierband befindet sich aufgerollt auf einem Papierträger T und geht zwischen zwei Walzen hindurch, welche aufeinander aufliegen. Die obere Walze wird durch ein Räderwerk gleichmäßig bewegt und nimmt durch Reibung die untere Walze und den Papierstreifen mit. Das Räderwerk U befindet sich im Inneren des Käst-

chens und ist zum Teil zu sehen. Die Bewegung des Räderwerks wird durch eine Feder hervorgebracht, welche durch den Schlüssel G aufgezo-gen 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					
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·

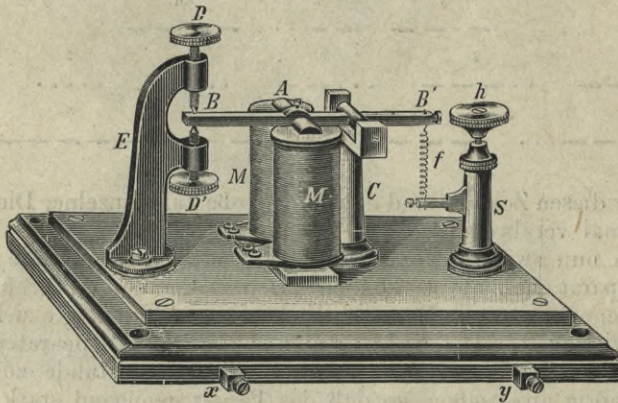
Außer diesen Zeichen sind noch eine große Zahl einzelner Dienstzeichen international verabredet.

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 ein so großer, 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 vielmehr 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. 57 ist die Abbildung eines solchen gegeben. Der Elektromagnet MM 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, 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. Durch die geringste Anziehung des Ankers aber wird das Hebelende B an die

untere Spitze *D'* gedrückt, die aus Metall ist (während die obere Spitze *D* 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 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

Fig. 57.



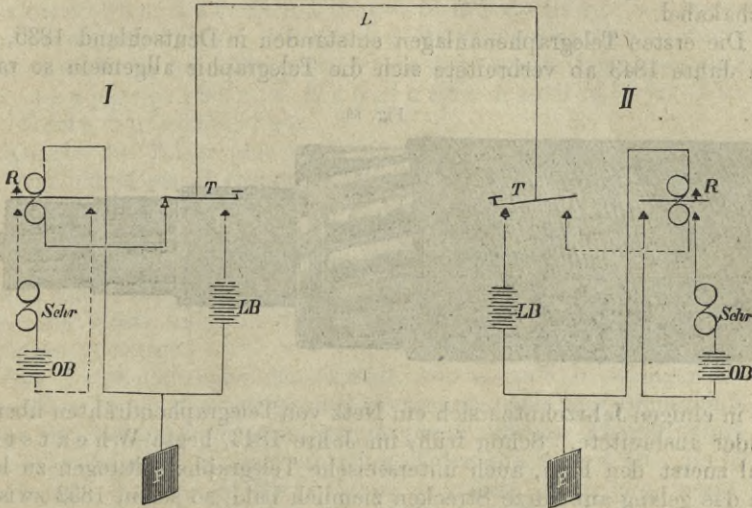
Magnetpolen. Durch diese Einrichtung des Relais ist also die große Schwierigkeit, die das Telegraphieren auf weite Entfernungen hat, beseitigt. Die schwächsten Ströme genügen schon, um den Anker des Relais in eine geringe Bewegung zu bringen, und eine ganz geringe Verschiebung desselben genügt schon, 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. 58 zu ersehen. Darin bedeutet *LB* die *Linienbatterie*, *OB* die *Ortsbatterie*, *Schr* den *Morse'schen Schreibapparat*, *R* das *Relais*, *T* den *Taster* und *P* die *Erdplatte*. Wird z. B. auf der Station II der Taster heruntergedrückt, also telegraphiert, so geht der Strom von dem einen Pol der *Linienbatterie* II durch den Taster II und die *Leitung L* zum Taster 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 geschlossen und der Schreibapparat in Tätigkeit versetzt.

Die Verbindung zwischen zwei Landstationen kann entweder eine oberirdische sein oder eine unterirdische. Man nimmt für die oberirdischen

Fig. 58.

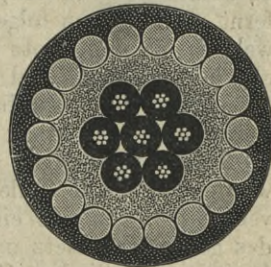


Leitungen verzinkten Eisendraht von 4 mm Durchmesser, bei großen Verkehrslinien auch von 5 und 6 mm Durchmesser. Für lange Telegraphenleitungen nimmt man häufig Siliziumbronzedraht von 3 mm Durchmesser. Der Draht muß natürlich gut leitend und isoliert sein. Um gute Isolation an den Unterstützungspunkten zu erreichen, verwendet man als Träger gewöhnlich Holzstangen und windet die Drähte um isolierende Porzellanlocken.

Viel schwieriger ist die unterirdische Verbindung zweier Stationen. Dann müssen die Drähte in das feuchte Erdreich oder in Flüsse gelegt werden, und um hier genügende Isolation zu erreichen und zugleich die Drähte vor Zerstörung durch Feuchtigkeit zu schützen, müssen sie mit isolierendem und widerstandsfähigem Material umkleidet werden. Man benutzt also dazu Kabel.

Man verwendet für die Kabel nur Kupferdrähte und bringt eine Anzahl von Leitungen in dasselbe Kabel. Die Leitungen bestehen entweder aus Kupferdrähten oder aus Kupferlitzen. Von den deutschen unterirdischen Kabeln zeigt Fig. 59 einen Durchschnitt. Es ist das ein siebenadriges Kabel, jede Ader besteht aus einer Litze, die aus sieben dünnen Drähten zusammengedreht ist. Jede Ader ist mit einer Guttaperchahülle umpreßt, was mittels besonderer Maschinen ausgeführt wird. Diese

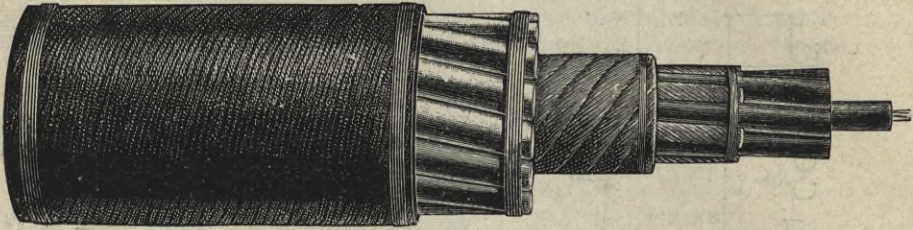
Fig. 59.



Guttaperchaadern werden nun umeinander gewunden, so daß sechs im Kreise um eine siebente herum liegen. Diese Schicht nennt man die Kabelseele. Um die Seele wird eine doppelte Lage von geteertem Jutehanf gelegt und diese mit einer Hülle von verzinkten Eisendrähten umgeben. Das ganze Kabel wird dann asphaltiert und nochmals mit Jutehanf umspinnen. Fig. 60 zeigt ein solches eisenarmiertes Gutta-perchakabel.

Die ersten Telegraphenanlagen entstanden in Deutschland 1835, und vom Jahre 1843 ab verbreitete sich die Telegraphie allgemein so rasch,

Fig. 60.



daß in einigen Jahrzehnten sich ein Netz von Telegraphendrähten über alle Länder ausbreitete. Schon früh, im Jahre 1843, hegte Wheatstone wohl zuerst den Plan, auch unterseeische Telegraphenleitungen zu legen, und das gelang auf kurze Strecken ziemlich bald, so schon 1852 zwischen England und Irland. Bei längeren Kabeln aber, z. B. durch das Mittelmeer, wuchsen die Schwierigkeiten bedeutend, da das Legen eines Kabels auf tiefem Meeresgrund sehr leicht ein Zerreißen desselben verursacht. Das große Problem war aber die Legung eines Kabels zwischen Europa und Amerika durch den Atlantischen Ozean. Die ersten, aber mißglückten Versuche dazu begannen im Jahre 1857, wo man am 6. August anfang, ein Kabel zwischen Irland und Amerika zu versenken. Aber bereits am 11. August riß dasselbe, etwa 500 km von der Küste. Das Jahr 1858 brachte neue Versuche unter Berücksichtigung der gewonnenen Erfahrungen, aber wieder riß das eine Kabel, während das andere nach kurzer Zeit zerstört wurde. Erst 1864 war wieder ein Kabel fertig von nahezu 5000 km Länge, es wurde auch glücklich durch den „Great Eastern“ gelegt, zerriß aber bald wieder (1865) mitten im Meere, etwa 1800 km von Irland entfernt. Endlich im folgenden Jahre, 1866, wurde ein neues Kabel gelegt, welches bis nun, trotz mancher Beschädigungen, ausgehalten hat. Zugleich wurde das Kabel vom Jahre 1865 durch den „Great Eastern“ wieder aufgefischt und ausgebessert, und so waren sofort zwei telegraphische Verbindungen zwischen Europa und Amerika hergestellt. Heute bestehen 18 Kabelverbindungen zwischen Europa und Amerika. In kurzer Folge wurden dann alle Teile der zivilisierten Welt durch Kabel miteinander verbunden. Infolge einer weitausschauenden Politik hat England fast das ganze Kabelnetz unter seiner Kontrolle, die meisten Kabel sind im Besitz von englischen Gesellschaften. Erst vor etwa einem Jahrzehnt hat Deutschland ein eigenes Kabel von Emden nach Amerika gelegt. Der Besitz fast aller Kabel sichert England, worauf in

diesem Buche schon lange mit gesperrter Schrift aufmerksam gemacht wurde, leider einen großen Vorsprung bei allen überseeischen Verwicklungen und ist ein wesentlicher Faktor der englischen Macht. Wir haben diesen Machtfaktor Englands in dem großen Krieg genügend zu spüren gehabt. Wenn der Krieg, wie zu erwarten, für uns siegreich ausgeht, so wird es eine wesentliche Aufgabe der deutschen Politik sein müssen, für Deutschland ein weitverzweigtes und unangreifbares Kabelnetz nach allen Teilen der Erde zu schaffen.

Konnte die Telegraphie auch lange das Bedürfnis des Verkehrs befriedigen, indem sie es gestattete, Mitteilungen jeder Art rasch zwischen zwei beliebig voneinander entfernten Personen zu übertragen, so brauchte sie doch dazu immer Vermittler, welche die Worte in telegraphische Zeichen und diese wieder in Worte umsetzten. Auch diese letzte Beschränkung fiel fort durch die Erfindung des Telephons und Mikrophons, welche die Worte selbst in die Ferne tragen, also ein Fernsprechen und Fernhören gestatten.

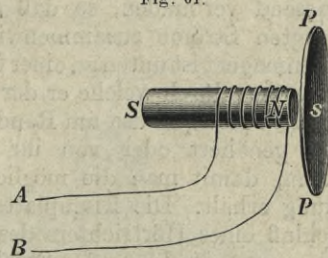
Das Telephon in der Gestalt, wie es sich in wenigen Jahren einen Platz unter den wichtigsten Verkehrsmitteln der Menschheit errungen hat, ist einer der genialsten Apparate, die die Physik kennt, um so genialer, da es in überaus einfacher Weise konstruiert ist. Es ist ein Amerikaner, Graham Bell, dem wir diese Erfindung verdanken. Und ebenso ist das von Hughes erfundene Mikrophon, in der Vollkommenheit, in der es jetzt existiert, geradezu als eine Glanzleistung der Technik zu bezeichnen.

Die Aufgabe war, Töne und Worte elektrisch auf größere Entfernungen zu übertragen. Töne sind nichts anderes als Schwingungen des tönenden Körpers, also eine bestimmte Art von Bewegung. Die Aufgabe, Töne zu übertragen, heißt also, eine schwingende Bewegung auf elektrischem Wege zu übertragen. Es soll an einer Stelle, an einer Station, ein Körper in rasch schwingende Bewegung versetzt werden, diese Bewegung soll entsprechend rasch wechselnde elektrische Ströme erzeugen, welche nach der anderen Station fortgepflanzt werden, und dort sollen diese Ströme wieder schwingende Bewegungen, Töne hervorbringen.

Die erste Aufgabe, rasch schwingende Bewegungen von Körpern in entsprechend rasch wechselnde elektrische Ströme umzuwandeln, wird von dem Mikrophon gelöst. Die zweite Aufgabe, durch rasch wechselnde elektrische Ströme wieder die entsprechenden schwingenden Bewegungen eines Körpers zu erzeugen, löst das Telephon.

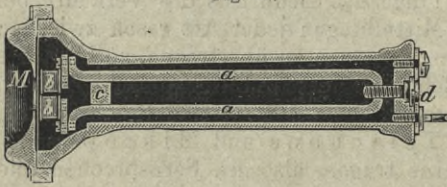
Die Art und Weise, wie Bell dieses letztere Problem mit den einfachsten Mitteln gelöst hat, wird aus der schematischen Fig. 61 klar hervorgehen. In der Figur ist ein Stahlmagnet N S gezeichnet, der an

Fig. 61.



seinem Nordpol N mit einem Draht umwickelt ist. Dieser Draht ist mit der Stromquelle A B verbunden, in welcher — auf noch zu erörternde Weise — eben-rasch wechselnde Stromschwankungen erzeugt werden. Vor dem Nordpol steht in der Nähe eine dünne Platte P P aus weichem Eisen, die man sich an den Rändern befestigt denken muß. In dieser Platte wird durch die Wirkung des Magneten ein Südpol s auf der dem Magneten zugewendeten Seite erzeugt. Fließt nun der Strom von A B in solcher Richtung um den Nordpol N, daß er diesen verstärkt, so wird die Platte P P von ihm etwas stärker angezogen, biegt sich also zu ihm hin. Wechselt dagegen der Strom von A B seine Richtung, so daß er jetzt den Nordpol N schwächt, so wird die Platte P P etwas weniger angezogen, biegt sich also nach außen. Jede Veränderung in der Richtung und Stärke des Stromes, der von A B ausgeht, erzeugt eine entsprechende Bewegung der Platte P P. Rasch wechselnde Ströme also erzeugen

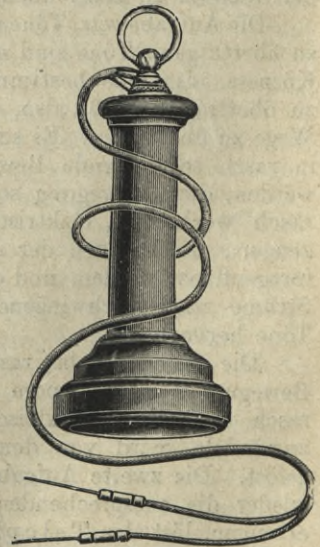
Fig. 62.



rasch schwingende Bewegungen der Platte P P und zwar in genau demselben Tempo. Diese Schwingungen der Platte P P teilen sich, dann der Luft mit, und durch die erzeugten Luftschwingungen hört man so die von A B ausgehenden raschen elektrischen Schwingungen.

Ganz genau nach diesem Schema ist das Telephon in der Tat eingerichtet. Statt eines Magnetstabes wird bei ihm gewöhnlich ein Hufeisenmagnet angewendet. Die innere Einrichtung eines solchen Telephons zeigt Fig. 62. Man sieht in einem Holzgehäuse einen Hufeisenmagneten a a liegen. Die Pole desselben sind mit eisernen Ansätzen, sogenannten Pol-schuhen, 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 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. Die äußere Ansicht eines solchen Telephons zeigt Fig. 63. Die Enden des Drahtes der beiden miteinander verbundenen Drahtspulen führen aus dem Gehäuse heraus und sind unten, nachdem sie eine Strecke weit in einer Schnur vereinigt sind, getrennt sichtbar.

Fig. 63.



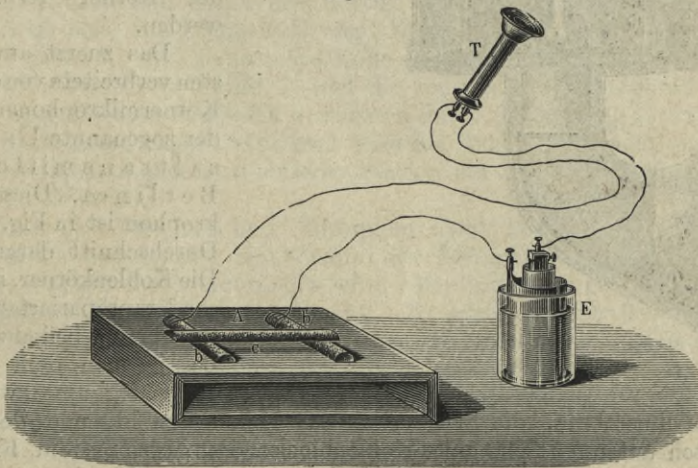
Das Telephon gibt die Sprache deutlich und auch im allgemeinen im

richtigen Timbre (in der richtigen Klangfarbe) wieder, und die Stärke des an der Empfangsstation wiedergegebenen Tones hängt notwendigerweise davon ab, wie stark die elektrischen wechselnden Ströme sind, die das Telephon erregen.

Es kommt also bloß darauf an, durch die Schallbewegung der Sprache entsprechend rasch wechselnde elektrische Ströme von genügender Stärke zu erzeugen; dann kann man diese in das Telephon senden und sie dadurch wieder hören — wie weit auch das Telephon von dem Ort entfernt sei, in dem der Schall erzeugt ist. Dieses leistet nun das von dem Amerikaner Hughes erfundene Mikrophon. Wenn man nämlich von vornherein einen Strom hat, z. B. durch ein galvanisches Element erzeugt, so braucht man durch die Worte und Töne nur Schwankungen in der Stromstärke hervorzurufen und kann dann diese durch ein Telephon wieder in Worte umsetzen. Gerade darauf beruht die Wirkungsweise des Mikrophons. Die Stromschwankungen werden nämlich dabei durch variable Berührung von Kohlenstäbchen hervorgebracht.

Die Kohle hat, wie wir wissen, einen ziemlich großen Leitungswiderstand. Wir wissen aber auch (S. 24), daß dieser Widerstand sich durch Druck sehr erheblich ändert. Die Idee von Hughes bestand nun darin, durch die Schallbewegungen zwei Kohlenstäbchen, die sich gerade eben berühren und durch die ein Strom hindurchgeht, 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 Telephon zum lauten Tönen bringen kann. In Fig. 64 ist eine Vorrichtung dazu

Fig. 64.



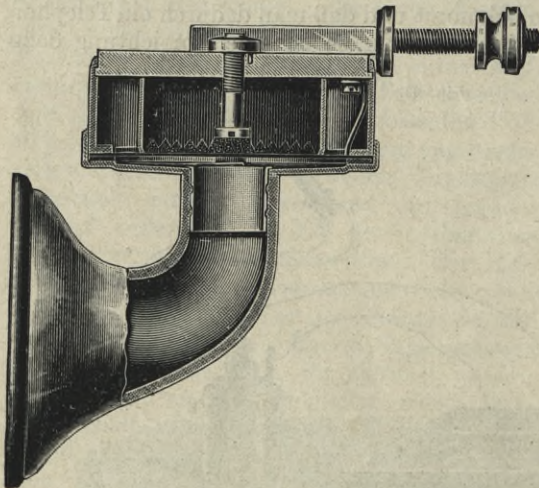
abgebildet. Von einem Element E geht ein Strom durch eine Kohle b, dann durch die leise darauf gelegte Kohle c zu der anderen Kohle b, durchläuft dann die Windungen des Telephons und kommt zum Element

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 Telephon ein lautes Geräusch. Diesen Apparat, ein Paar lose sich berührende Kohlen, auf einer Schallmembran befestigt, nennt man ein **Mikrophon**.

Hier hat man also ein einfaches Mittel, um in einem Telephon ganz erhebliche Stromschwankungen hervorzubringen. Man braucht eben nur einen galvanischen Strom von einem Element durch ein Telephon und ein Mikrophon zu senden, und dann gegen das Mikrophon zu sprechen, um in dem Telephon die Töne in ganz erheblicher Stärke reproduziert zu erhalten. Natürlich kann dabei das Mikrophon in der einen Station, das Telephon in der anderen sein. Der **Sender** (Sprechapparat) ist also ein Mikrophon und der **Empfänger** (Hörapparat) ist ein Telephon.

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 aus einer großen Zahl von Kohlenkörnern

Fig. 65.



bestehen. Bei solchen **Körnermikrophonen** ist das Hauptaugenmerk darauf zu richten, daß Zusammenbackungen der Körner vermieden werden.

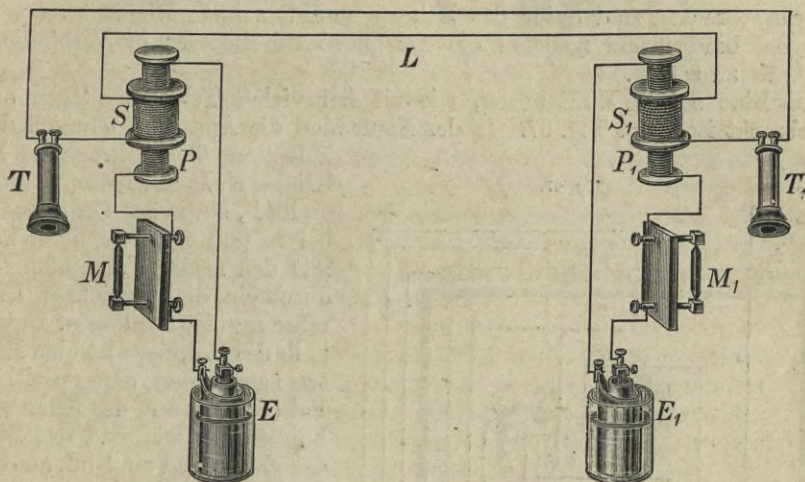
Das zuerst am meisten verbreitete von diesen Körnermikrophonen ist der sogenannte **Universaltransmitter** von Berliner. Dieses Mikrophon ist in Fig. 65 im Durchschnitt dargestellt. Die Kohlenkörner, aus besonders präparierter Kohle bestehend, befinden sich bei ihm in dem engen Zwischenraum zwischen

der Schallmembran, die hier selbst aus Kohle besteht, und der ausgezackten unteren Fläche eines Kohlenblocks. Das ganze System, Kohlenblock und Zwischenraum mit Kohlenkörnern bis zur Membran ist von einem Ring aus weichem Stoff umgeben. An die Kohlenkörnerkapsel, die horizontal gelagert sein muß, ist ein Trichter zum Sprechen angesetzt. Bei anderen derartigen Körnermikrophonen macht man die Kapsel, in

der sich die Körner befinden, drehbar, so daß man dadurch das Zusammenbacken vermeidet.

Um Telephon und Mikrophon in zwei Stationen zusammenzuschalten, hat sich eine besondere Anordnung als zweckmäßig erwiesen. Man sendet nämlich (Fig. 66) den Strom des Elements E an der Aufgabestation

Fig. 66.



durch das Mikrophon M und dann in die primäre Spule P einer Induktionsrolle (S. 13). 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 Telephon T_1 gehen. In jeder Station ist also das Element E resp. E_1 durch das zugehörige Mikrophon M resp. M_1 und die primäre Rolle P resp. P_1 geschlossen, während die beiden Telephone T und T_1 und die zugehörigen sekundären Rollen S und S_1 auf beiden Stationen zusammen durch die Leitung L verbunden sind. Statt durch einen Draht kann man die Rückleitung auch durch die Erde bewirken, indem man in jeder Station ein Ende der Rollen S oder S_1 in die Erde führt.

Wenn das Telephon 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 Telephon nach Beendigung des Gesprächs einfach an einen Haken gehängt und dadurch der Strom des Mikrophonkreises unterbrochen.

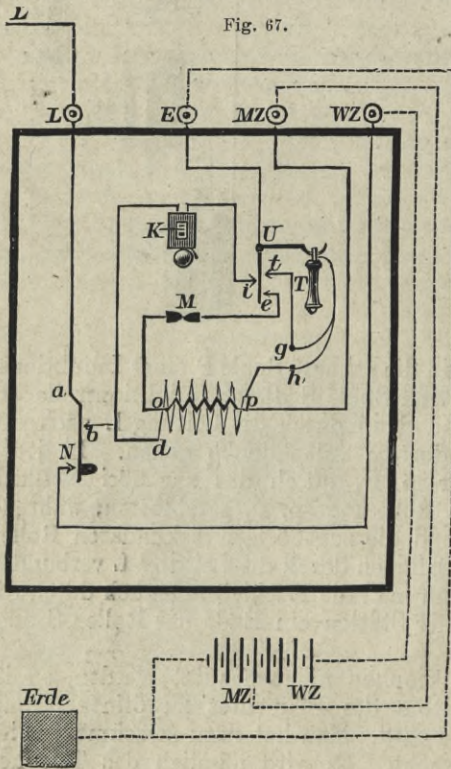
Durch dieselbe Operation stellt man aber noch eine andere Verbindung her, nämlich mit einer elektrischen Klingel, die durch eine besondere Batterie betrieben wird. Man drückt an der Aufgabestation auf einen Knopf und schließt dadurch einen Stromkreis, in dem die Klingel der zweiten Station sich befindet. Der dazu nötige Strom wird eben von der Klingelbatterie geliefert. Das ist das Anfangssignal für die zweite Station (meistens für die Telephonzentrale). Sobald dort der Angerufene

sein Telephon an das Ohr hält, kann das Gespräch durch Mikrophon und Telephon geführt werden.

Der Haken hat also die Aufgabe:

1. wenn das Telephon angehängt ist, einen Stromkreis zwischen der Batterie der ersten Station und der Klingel der zweiten zu schließen, ohne daß Mikrophon und Telephon eingeschaltet sind;
2. wenn das Telephon abgenommen ist, diesen Stromkreis zu unterbrechen und dafür das Mikrophon mit seinem Element zu verbinden und zugleich die Telephone miteinander in Verbindung zu setzen.

Eine solche Einrichtung, wie sie bei vielen Telephonanlagen angebracht ist, zeigt Fig. 67. In der Figur sind die Apparate, nämlich das Telephon T, Mikrophon M, Klingel K, Induktionsspulen o p und d h, sowie der Druckknopf bei N und der Telephonhaken mit den nötigen Verbindungen durch eine dick gezeichnete Einrahmung eingeschlossen. Unterhalb des Rahmens ist eine Batterie gezeichnet, deren positiver Pol (Kohle) mit der Erde verbunden ist, während das Zink des Endes und ein Zink aus der Mitte mit den Klemmen W Z (Weckerzink) und M Z (Mikrophonzink) oberhalb der Umrahmung verbunden sind. Zwei weitere Klemmen oben, mit E und L bezeichnet, führen die erste zur Erde, die zweite zur Leitung nach der entfernten Station.



hergestellt wird. Dadurch kann der Strom von dem Pol W Z der Batterie durch die Klemme W Z nach N fließen, und wenn dort der Knopf gedrückt ist, durch a zur Leitung L gehen. Von dieser fließt er zu dem L und a der nächsten Station (in welcher auch das Telephon an dem Haken hängt) und dort durch b (da ja dort der Druckknopf nicht gedrückt ist) zu der dortigen Klingel K, dann durch i, U, E zur Erde und durch die Erde zur ersten Station zurück.

Dadurch ertönt also die Klingel der zweiten Station, während durch

die Telephone und Mikrophone kein Strom geht, weil die Verbindungen bei t und e unterbrochen sind.

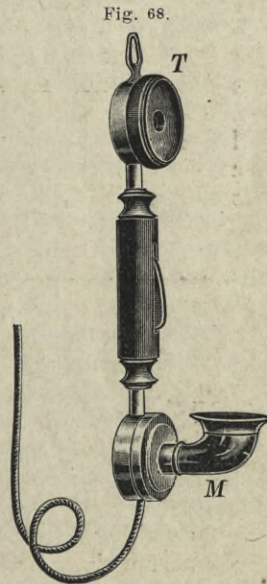
Nun werden auf beiden Stationen die Telephone von den Haken abgenommen. Dadurch wird die Verbindung mit i unterbrochen. Die Klingeln K sind also dadurch ausgeschaltet.

Dagegen werden nun t und e durch den Hebel und durch U mit der Erde verbunden. Dadurch ist jedes Mikrophon mit seiner Batterie in Verbindung gesetzt und zugleich sind die Telephone durch die Leitung L miteinander verbunden. Denn von dem Pol M Z der Batterie geht der Strom jetzt durch die Klemme M Z zur primären Spirale p o, von dort durch das Mikrophon M nach e und durch U, E zur Erde, zu welcher auch der andere Pol der Batterie abgeleitet ist. Zugleich gehen von der sekundären Spirale die induzierten Ströme durch h, d, b, a in die Leitung L zum Punkt b der zweiten Station, und dort durch d zu der dortigen sekundären Spirale, dann durch h zu dem dortigen Telephon T und durch g, t, U zur Erde. Von der Erde kommt der Strom (sozusagen) zur Erdplatte E der ersten Station zurück und geht dann aus dieser durch t in das Telephon T und dann zur sekundären Spirale zurück.

Damit ist also erreicht, was beabsichtigt war.

Zum Zwecke des deutlicheren Hörens bringt man gewöhnlich auf jeder Station zwei Telephone an, die nebeneinander geschaltet sind.

Die drei Apparate, Telephon, Mikrophon und Klingel, sowie die beiden Induktionsrollen sind häufig in einem Kästchen vereinigt und unterhalb desselben sind die Elemente angebracht. Statt die Klingel durch eine Batterie zu betreiben, verwendet man häufig auch einen kleinen auf Magnetoinduktion beruhenden Apparat, welcher durch Drehen einer Kurbel den nötigen Strom für die Klingel liefert. In den größeren Städten ist man jetzt dazu übergegangen, die notwendigen galvanischen Elemente nicht mehr bei den einzelnen Telephonabonnenten aufzustellen, sondern sie im Vermittlungsamt zu zentralisieren. Dann hat jeder Telephonabonnent bloß einen kleinen Apparat, welcher Telephon, Mikrophon und Glocke enthält, aber keine Elemente mehr. Am bequemsten sind die Apparate, bei denen das Telephon und Mikrophon 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 Telephon und M der Schallbecher des Mikrophons ist, zeigt Fig. 68.



Für den inneren Stadtverkehr zwischen vielen Telephonbesitzern ist es notwendig, 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 den Beamten desselben fällt die Aufgabe zu, immer, wenn angerufen wird, je zwei Teilnehmer miteinander in Verbindung zu bringen. In manchen Fällen richtet man diese Vermittlungsämter derart ein, daß automatisch, ohne menschliche Bedienung, jeder Abonnent sich durch das Amt mit jedem anderen in Verbindung setzen kann.

Es ist auch gelungen, große Telephonverbindungen zwischen verschiedenen Städten, sogenannte *i n t e r u r b a n e* Telephonverbindungen, auch auf große Entfernungen herzustellen. Das System der telephonischen Fernverbindungen breitet sich stets weiter aus. Große Industriebezirke, bedeutende Handelsstädte werden miteinander telephonisch verbunden, und es dürfte nicht zu viel behauptet sein, daß in absehbarer Zeit je zwei Personen aus irgendeiner Groß- oder Mittelstadt Europas sich miteinander telephonisch werden unterhalten können.

4. Kapitel.

Die elektrischen Spannungserscheinungen.

Inhalt: Ungeschlossene Batterie. Elektrischer Funke. Induktionsapparate. Schlagweite. Elektronen. Elektrizität, positive und negative. Elektrisierung durch Reibung. Elektrisiermaschine. Anziehungs- und Abstoßungerscheinungen. Goldblattelektroskop. Influenz. Leydener Flasche. Wimshurstmaschine.

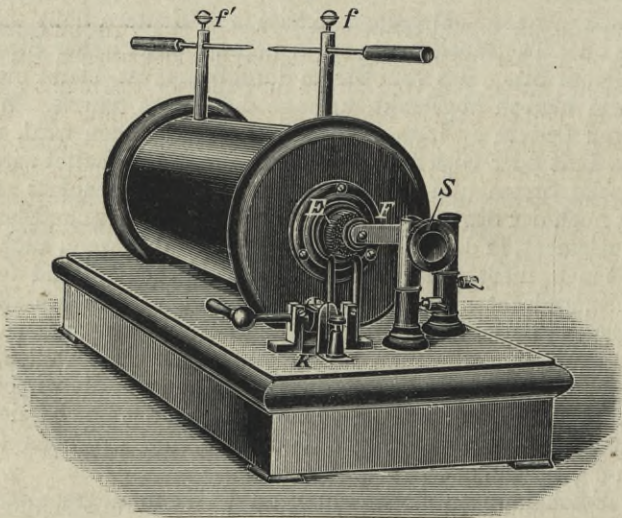
In einem ganz geschlossenen Kreise von Leitern läßt sich durch galvanische oder Thermoelemente ein dauernder elektrischer Strom unterhalten. Weiches Eisen, das vom Strom durchflossen ist, bleibt magnetisch, Magnetnadeln bleiben abgelenkt, solange der Strom dauert. Wenn aber der Kreis von Leitern an irgendeiner Stelle unterbrochen wird, wenn also ein Isolator, Luft oder Glas oder Ebonit, in ihn eingeschaltet wird, so hört der elektrische Strom und es hören seine Wirkungen sofort auf, trotzdem immer noch der Stromerzeuger, nämlich das galvanische Element oder das Thermoelement, in dem Kreise sich befindet. Aber wenn auch dann der Strom nicht mehr fließt, so ist doch ein eigentümlicher Zustand noch immer auf den Leitungsdrähten vorhanden. Es zeigt sich nämlich, daß auch bei ungeschlossenen Leitern, die mit einer Batterie verbunden sind, Erscheinungen auftreten, die man sonst nicht sieht. Wir wollen, um eine kurze Bezeichnung dafür zu haben, die Erscheinungen, die wir beobachten werden, kurz als **Spannungserscheinungen** bezeichnen, sie hängen tatsächlich von derjenigen Größe ab, die wir oben (S. 31) als **Spannung** bezeichnet haben.

Diese Erscheinungen finden zwar an jedem ungeschlossenen galvanischen Element oder Thermoelement statt, sie werden aber bedeutend verstärkt und ohne besondere Hilfsmittel überhaupt erst erkennbar, wenn man sehr große Spannungen anwendet, also eine Reihe von Elementen hintereinander schaltet. Schaltet man z. B. 100 galvanische Elemente hintereinander und verbindet man ihre Endpole mit zwei Leitungsdrähten, so findet man, daß, wenn man die Enden dieser Leitungsdrähte einander nähert, etwa auf $\frac{1}{10}$ mm, ohne aber sie zur Berührung zu bringen (erst dann würde ja der Strom fließen), daß zwischen diesen beiden Enden ein leuchtender Funke übergeht. Würde man statt 100 Elementen deren 1000 hintereinander schalten, so würde man schon bei größerem Abstand der Poldrähte einen solchen Funken, als erstes Kennzeichen der Spannungserscheinungen, beobachten können.

Mit galvanischen Elementen oder Thermoelementen sind aber hohe Spannungen, Spannungen von 10 000 oder 100 000 Volt, nur mit den größten Umständen herzustellen. In der Tat liefern 1000 Daniellsche Elemente erst eine Spannung von 1100 Volt, und wie viel Mühe macht die Einrichtung und Aufstellung von 1000 Daniells! Auf sehr einfache

Weise aber kann man sehr hohe Spannungen erzeugen durch die von Faraday entdeckten Induktionswirkungen und insbesondere durch die als **Elektroinduktion** bezeichneten. Wenn nämlich um einen Strom, der in einer (primären) Spule fließt, ein (sekundärer) Draht in vielen Windungen herumgelegt ist, so wird bei der Öffnung oder Schließung des primären Stromes in jeder Windung der sekundären Spule ein momentaner Induktionsstoß erzeugt. Wenn die sekundäre Rolle geschlossen ist, so entsteht dadurch ein momentaner Induktionsstrom. Wenn sie aber nicht geschlossen, sondern offen ist, so entstehen Spannungen, und die so erzeugten Spannungen von den einzelnen Windungen addieren sich. So hat man es in der Hand, einfach dadurch, daß man der sekundären Spule eine große Anzahl von Windungen gibt, sehr hohe Spannungen,

Fig. 69.



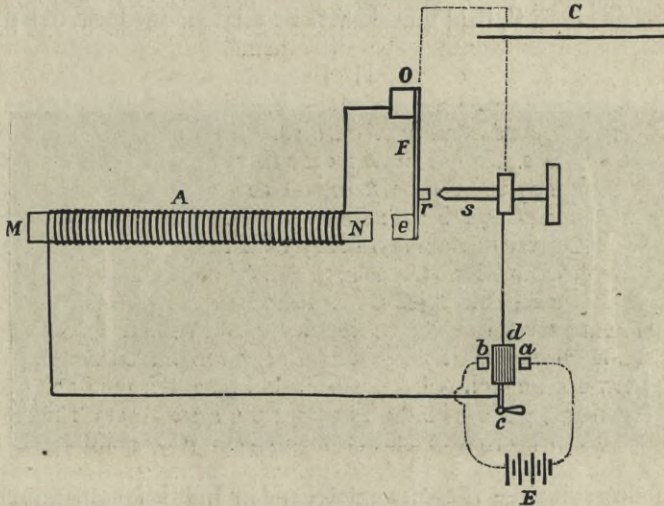
solche von Zehntausenden und Hunderttausenden von Volt, zu erzeugen. Man nennt derartig konstruierte Apparate **Induktionsapparate**. Da sie vielfach zur Erzeugung von elektrischen Funken benutzt werden, werden sie auch häufig als **Funkeninduktoren** bezeichnet.

Dabei wendet man, um den primären Strom abwechselnd und rasch zu unterbrechen und wieder zu schließen, wieder zu unterbrechen usf., einen **Neef'schen Hammer** (S. 51) an, der diese Öffnungen und Schließungen des primären Stromes ja selbsttätig besorgt. Man nennt ihn hier den **Unterbrecher**. In die primäre Spule wird ferner noch ein Bündel von weichen Eisendrähten geschoben. 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. 69 zeigt einen solchen 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. Er besteht aus einer Feder F , die an der Spitze S anliegt oder, wenn der Eisenkern durch den primären Strom magnetisch geworden ist, von ihr fortgezogen wird. Der primäre Strom geht durch einen Kommutator K zur Spitze und Feder und dann in die primäre Rolle, er wird also jedesmal

Fig. 70.

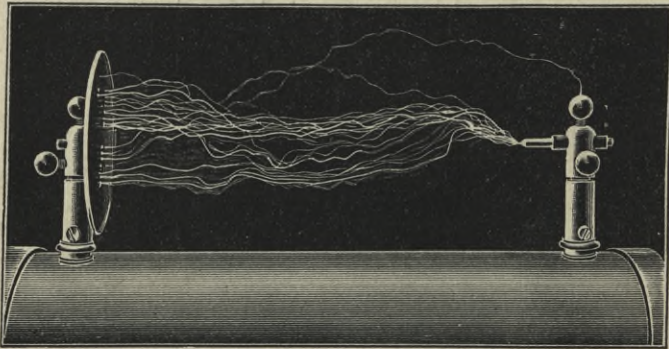


unterbrochen, wenn die Feder von der Spitze sich entfernt, und wieder geschlossen, wenn sie sich an die Spitze anlegt. Die Funken, die jedesmal bei der Trennung der Feder von der Spitze entstehen, schwächen die Wirksamkeit des Apparates. Um diese Schwächung zu beseitigen, verbindet man sowohl die Feder wie die Spitze mit je einer großen Fläche von Stanniolpapier, während beide Flächen durch paraffiniertes Papier getrennt sind. Dieser Apparat wird Kondensator genannt und liegt in dem Fußbrett des Induktors. Seine Wirkung wird später (S. 77) klar werden. Das Schema des ganzen Induktionsapparates ist in Fig. 70 gezeichnet. Man sieht in dieser eine Drahtspule aus dickem Draht, A , die über einen Eisenkern MN , aus einem Bündel Eisendrähte 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 O 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, d. h. bald ist die Spannung an f (Fig. 69) höher als an f' , bald umgekehrt. Es zeigt sich jedoch, daß die beim

Fig. 71.



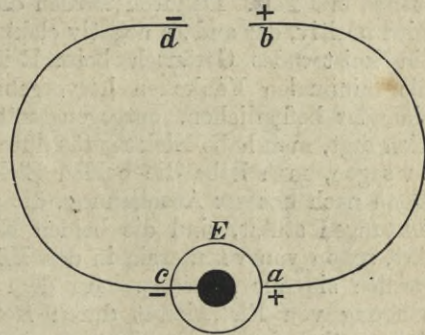
Öffnen des primären Stromes entstehenden Induktionsspannungen viel höher sind als die beim Schließen, weil bei den Öffnungen des Stromes dieser sehr rasch aufhört, während er beim Schließen verhältnismäßig langsam anwächst, so daß also doch im wesentlichen immer der eine der Pole eine höhere Spannung erreicht als der andere. Bei diesen hohen Spannungen zeigt sich nun sehr auffallend die Erscheinung, daß zwischen den Polen ein glänzender, klatschender elektrischer Funke überspringt. Während wir oben bei 100 galvanischen Elementen einen Funken nur auf die Entfernung von $\frac{1}{10}$ mm erhielten, können wir hier leicht 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. 71 gegeben. Durch die hohe Spannung wird also die isolierende Luftschicht durchbrochen und in dem Funken findet ein Ausgleich der Spannungen statt. Je stärker die Spannung ist, um so weiter können die Polenden (die Enden der Metallstangen von f und f' in Fig. 69) 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 *Schlag-*

weite, ein Maß und ein Kennzeichen für die Größe der erzeugten Spannung. 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. Bei größeren Schlagweiten, von 1 m und mehr, macht die Herstellung genügender Isolation gegen die hohen Spannungen große Schwierigkeiten. Doch werden solche große Apparate jetzt in tadelloser Ausführung von verschiedenen Fabriken erzeugt.

Eine Luftstrecke setzt also kleinen Spannungen einen solchen Widerstand entgegen, daß diese ihn nicht überwinden können. Je nach der Länge der Luftschicht sind immer größere und größere Spannungen nötig, um diesen Widerstand zu durchbrechen. Wir müssen annehmen, daß die Elektronen, die sich in einem Metalldraht leicht bewegen können, durch die Luft nur schwer hindurchgehen können. Das erscheint zunächst sehr merkwürdig, daß die dichten Metalle den Elektronen einen leichten Durchgang gewähren sollen, die dünne und leichtbewegliche Luft aber nicht. Indes werden wir später eine Erklärung für diese merkwürdige Erscheinung finden. Wie aber auch diese Erklärung sei, Tatsache ist jedenfalls, daß ein elektrischer Strom wohl durch Metalle hindurch fließt, nicht aber durch die Luft, daß ein Luftzwischenraum von einigen Millimetern viele Zehntausende von Volt erfordert, um Elektrizität durch ihn hindurchzutreiben.

Wenn nun eine galvanische Batterie oder ein Induktionsapparat vorhanden sind, die die Elektrizität zu treiben suchen, andererseits aber ein Luftzwischenraum in ihrem Schließungskreis vorhanden ist, der den Strom zu fließen verhindert, so daß also Spannungen auftreten, was geschieht dann mit den Elektronen, welche wir zur Erklärung des Stromes angenommen haben? Es sei in Fig. 72 E eine solche Stromquelle. Ihr positiver Pol sei mit einem Draht a b, ihr negativer mit einem Draht c d verbunden, zwischen b und d befindet sich ein Isolator. Offenbar müssen die Elektronen, da sie nicht durch die Luft hindurchgehen können, sich in den Drähten ansammeln. Von dem + Pol des Elementes werden die positiven Elektronen auf a b fortgetrieben, bis sie an den Luftzwischenraum kommen, von dem - Pol des Elementes die negativen auf c d. Auf dem Draht a b müssen also positive, auf dem Draht c d negative Elektronen vorhanden sein. Zeigen diese sich bloß durch die Spannungserscheinungen an, durch die Tendenz, sich in einem Funken auszugleichen, oder verraten sie noch auf andere Weise ihre Anwesenheit? Wir werden nachher finden, daß man sie auch auf andere Weise nachweisen kann, wir wollen aber vorläufig schon die Bezeichnung einführen, die sich für diese Erscheinungen eingebürgert hat. Wir sagen: die beiden Drähte sind elektrisch geladen, der eine positiv, der andere negativ, oder: sie ent-

Fig. 72.



halten eine gewisse Elektrizitätsmenge, der eine positive, der andere negative. Diese Elektrizitätsmenge, die auf jedem der beiden Drähte vorhanden ist, wird um so größer sein, je mehr Elektronen auf den Drähten liegen. Bei einer offenen Batterie ist also der eine Pol stets positiv elektrisch, der andere stets negativ elektrisch. Der Isolator, der zwischen den beiden Polen vorhanden ist, steht gerade deswegen unter einer gewissen Spannung, weil diese Elektrizitäten weiterzuströmen suchen und deshalb von beiden Seiten auf die Zwischenschicht drücken.

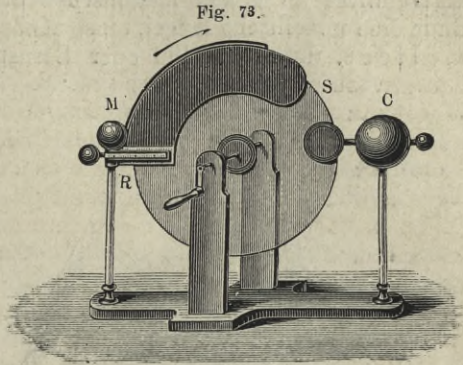
Solche Spannungserscheinungen nun, wie man sie durch offene Elemente oder durch den Induktionsapparat in großer Stärke hervorbringen kann, kann man auch auf andere Weise erzeugen, und die ältesten Erfahrungen über Elektrizität beziehen sich gerade auf solche Spannungserscheinungen. Sie treten immer dann auf, wenn die beiden Elektrizitäten entgegengesetzter Art durch einen isolierenden Zwischenraum getrennt sind.

Man kann nun die Elektronen beider Art 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 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 bloße Berührung mit einem elektrisierten Körper auch einen anderen unelektrischen elektrisieren oder, wie man es nennt, l a d e n. 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 und die Spannung 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 eine so überaus große Fläche verteilen, daß die Spannung an jeder Stelle verschwindend klein, also unmerkbar ist. Man drückt das so aus, daß man sagt, die Elektrizität ist zur Erde abgeleitet, was so viel heißen will als: der Leiter besitzt keine Spannung.

Die Elektrisierung von Körpern durch Reibung kann man kontinuierlich ausführen durch die Elektrisiermaschinen, indem man eine runde Glasscheibe S (Fig. 73) fest auf eine Achse setzt, durch welche man sie mittels einer Kurbel drehen kann, und nun die Glasscheibe

bei der Drehung sich fortwährend an zwei mit Zinnamalgalam bestrichenen Lederscheiben R, dem sogenannten Reibzeug, reiben läßt. Dadurch wird auf der Scheibe fortwährend positive Elektrizität erzeugt, auf dem Reibzeug negative. Um nun die positive Elektrizität der Glasscheibe auf einen isolierten Leiter C zu übertragen, verbindet man mit diesem zwei Holzringe, welche die Scheiben zwischen sich hindurch rotieren lassen, und welche feine Spitzen, Nähnadeln, der Scheibe gegenüber haben. Die an die Scheibe angrenzende Luft wird auch positiv elektrisch, und längs der leitenden Spitzen verbreitet sich so die positive Elektrizität auf den Leiter C. Dieser wird also positiv geladen. Zugleich steht das Reibzeug R in Verbindung mit einem anderen isolierten oder zur Erde abgeleiteten Leiter M, und auf diesem verbreitet sich die negative Elektrizität.



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. Diese Bewegungen und die scheinbaren Kräfte, die sie verursachen, rühren davon her, daß die Elektronen auch den umgebenden Äther beeinflussen (oben S. 50 f.), so daß dadurch indirekt, eben durch Vermittelung des Äthers, ein Elektron ein anderes mit Kräften angreift. Die tatsächlichen Gesetze dieser Kräfte sind schon seit langer Zeit bekannt. Zwei ungleichnamig elektrisierte Körper ziehen sich an, zwei gleichnamig elektrisierte Körper stoßen sich ab. Daß das in der Tat der Fall ist, läßt sich durch einfache Versuche zeigen.

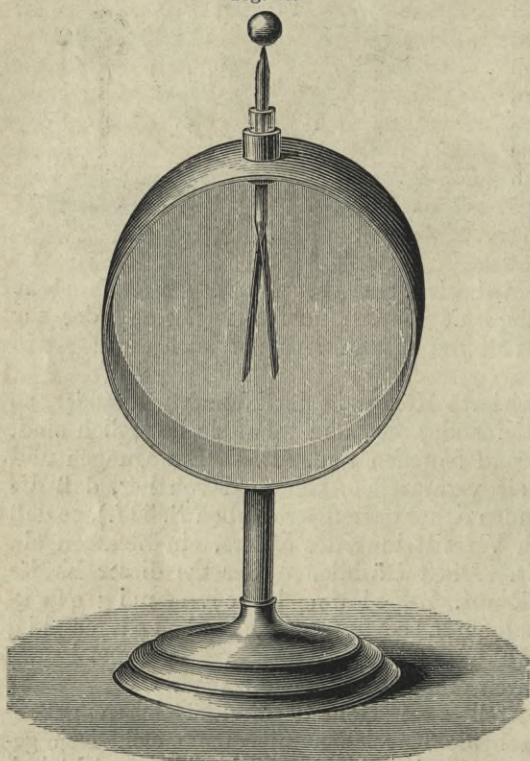
Man hänge an ein Gestell zwei Holundermarkkugeln nebeneinander auf. Berührt man beide Kügelchen mit einem elektrisch gemachten Glasstab, so werden dadurch beide in gleicher Weise elektrisch und diese beiden in gleicher Weise elektrisierten Kügelchen stoßen sich ab und beharren bei dieser Abstoßung. Auch 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.

Diese Kräfte, die elektrisierte Körper aufeinander ausüben, sind unserer Annahme nach keine in die Ferne wirkenden Kräfte, sondern sie beruhen darauf, daß der Äther in der Nähe jedes elektrischen Körpers in einem bestimmten gespannten oder gedrückten Zustand ist. Welches aber auch die eigentliche Ursache dieser Kräfte sei, erfahrungsgemäß existieren sie immer und man kann nun sogar 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. 74). Man nimmt zwei leichte Streifen von Blattaluminium (früher nahm man Blattgold, daher der Name), befestigt diese an einem metallischen Stäbchen, das an seinem anderen Ende eine metallische Kugel, einen Knopf, trägt, und steckt das Stäbchen 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.

Fig. 74.



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 in der Nähe eines elektrisierten Körpers sich entwickelt, als Influenzelektrizität. 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 die ungleichnamigen Elektronen an, die gleichnamigen stößt er ab; das Metall (und ebenso auch irgend ein nicht metallischer Körper) muß daher in der Nähe des influenzierenden Körpers ungleichnamig, entfernt gleichnamig elektrisiert werden.

Infolge 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 stehende leitende Flächen mit einer isolierenden Zwischenschicht nennt man **Kondensatoren** oder **Ansammlungsapparate**. Oben bei dem Funkeninduktor (S. 71) haben wir schon einen solchen angewendet.

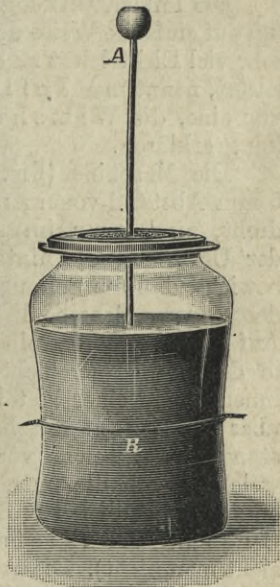
Die zweckmäßigste und am meisten benutzte Form für einen solchen Ansammlungsapparat ist die der **Leydener Flasche**, deren Prinzip nach dem Gesagten sofort zu übersehen ist. Sie besteht (Fig. 75) aus einer Flasche aus Glas in Form der gewöhnlichen Einlegegläser. Dieses Glas ist außen und innen bis zu etwa zwei Drittel 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 des Induktionsapparates verbunden.

Um diese Verbindung leicht herzustellen, trägt die Glasflasche einen Holzdeckel, durch welchen ein Metallstab mit einem Knopf **A** gesteckt ist. Der Metallstab berührt durch federnde Füße die innere Stanniolplatte, die **innere Belegung**. Die **äußere Belegung**, die äußere Stanniolplatte, wird mit einem blanken Draht **R** umgeben. Der eine Pol der Elektrisiermaschine oder des Induktionsapparates wird mit diesem Draht verbunden, während der andere Pol durch einen Draht mit dem Knopf des Metallstabes, also dadurch mit der inneren Belegung, verbunden wird. Durch die Elektrisiermaschine oder den Funkeninduktor wird dann die Flasche, wie man sagt, **geladen**. Gewöhnlich wird die äußere Belegung dabei mit der Erde verbunden, also abgeleitet.

Je größer die beiden Belegungen einer solchen Flasche sind und je näher sie aneinander stehen, also je dünner das Dielektrikum ist, um so mehr Elektrizität kann sich bei gleicher Stromquelle auf jeder der Platten ansammeln, um so 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 eine Reihe von Leydener Flaschen nimmt

Fig. 75.



und alle inneren Belegungen miteinander verbindet, und ebenso alle äußeren. Alle inneren Stanniolplatten bilden dann zusammen eine sehr große Stanniolplatte, ebenso alle äußeren. Eine solche Reihe miteinander verbundener Flaschen nennt man eine *Leydener Batterie*.

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

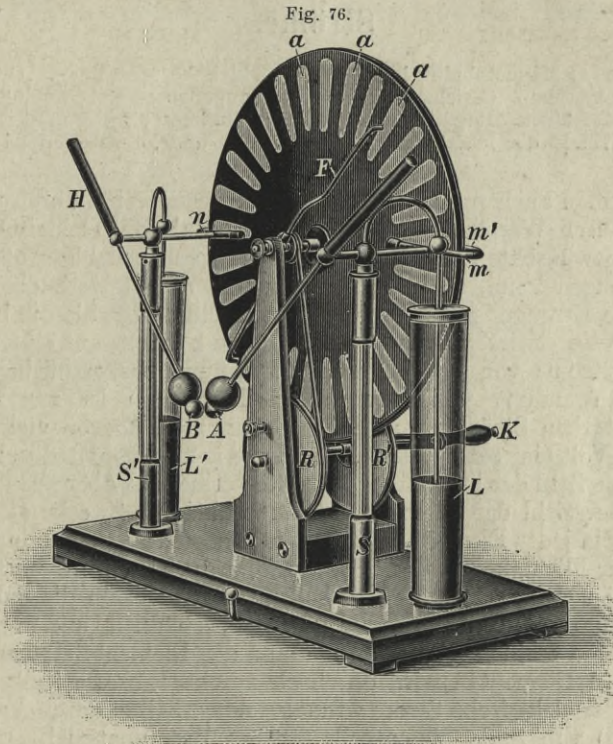
Um nun eine solche geladene Flasche oder eine Batterie zu entladen, muß man ihre Belegungen in leitende Verbindung bringen, etwa indem man einen Draht an der inneren Belegung befestigt und ihn zur äußeren Belegung führt. Tut man dies aber, so springt schon ein Funke über, bevor die Verbindung noch hergestellt ist, nämlich dann, wenn die Schlagweite zwischen dem Drahtende und der Belegung erreicht 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 Influenzwirkung der Elektrizität kann man ferner dazu benutzen, um auf einfache Weise durch bloßes Drehen einer Maschine, ohne Reibung, sehr viel Elektrizität zu erzeugen. Die Apparate, durch welche man dieses leistet, nennt man *Influenzmaschinen*, und wir wollen von ihnen nur eine, die *Wimshurst-Maschine*, beschreiben und ihre Wirkung erklären.

Die Maschine (Fig. 76) enthält zwei Scheiben aus Ebonit, welche 5 mm Abstand voneinander haben. Beide Scheiben werden zugleich gedreht, und zwar im entgegengesetzten Sinne, die vordere z. B. wie der Uhrzeiger, die hintere entgegengesetzt. Dies wird einfach dadurch bewirkt, daß die Schnur von den Kurbelrädern *R* und *R'* auf die Achse der vorderen Scheibe direkt, auf die Achse der hinteren gekreuzt gelegt ist. Auf jede Scheibe sind eine Anzahl Stanniolsektoren *a, a*, *a* von der Form wie in der Figur aufgeklebt. Die beiden Scheiben laufen rechts und links innerhalb je einer Metallgabel *m m'* und *n*, welche den Scheiben gegenüber mit Spitzen versehen sind. Von diesen Gabeln gehen noch Messingstangen aus, welche von den Glasfüßen *S* und *S'* gehalten werden und welche durch die verschiebbaren Stangen *H* in den Polkugeln *A* und *B* endigen. Endlich hat die Maschine als wesentlichen Teil noch auf jeder Seite einen *Ausgleicher F* (den hinteren, der senkrecht zu *F* steht, sieht man nicht). Dieser besteht aus einem Metallarm, dessen Enden durch weiche Pinsel aus Metalldraht gebildet sind, die auf den Sektoren *a, a* .. schleifen. Die Ausgleicher sind etwa um 50° gegen die Spitzenkämme geneigt. Die Spitzenkämme und die mit ihnen verbundenen Polkugeln können noch, wie in der Figur, mit Leydener Flaschen *L* und *L'* (d. h. mit deren inneren Belegungen) verbunden werden.

Wird die Maschine gedreht, so entwickelt sich rasch Elektrizität, welche zwischen den Kugeln *A* und *B* in Form von Funken oder Büscheln übergeht. Ist nämlich einer von den Sektoren, etwa auf der Vorderseite, geladen, z. B. negativ, so influenziert er bei der Drehung in den gegenüberliegenden Sektoren der Rückseite Influenzelektrizität, und wenn das an derjenigen Stelle geschieht, wo der hintere Ausgleicher steht, so geht die Ladung an dem Ausgleicher entlang und es wird der eine der beiden durch den Ausgleicher verbundenen Sektoren, der nähere, positiv, der andere,

entferntere, negativ elektrisch. Bei der Drehung der Scheiben findet das an allen Stellen sukzessive statt, so daß die hintere Scheibe auf der einen Hälfte, z. B. rechts vom Ausgleicher, bloß positive, auf der linken Seite bloß negative Sektoren hat. Dasselbe findet auf der vorderen Seite statt. Da der Ausgleicher dieser Scheibe senkrecht zu dem der hinteren Scheibe steht, so folgt, daß auf beiden Scheiben in der Nähe des einen Spitzenkammes positive, in der Nähe des anderen Spitzenkammes negative Ladungen vorhanden sind. Durch die Spitzen pflanzt sich diese Ladung



längs der mit ihnen verbundenen Messingstangen und Polkugeln fort und so wird die eine Polkugel fortwährend positiv, die andere negativ elektrisch, es treten in dem Zwischenraum zwischen den Polkugeln starke Spannungen auf und diese werden ebenso, wie bei dem Funkeninduktor, von Zeit zu Zeit durch einen Funken durchbrochen.

Um auch hierbei wieder große Mengen von Elektrizität anzusammeln und dann durch den Funken in Bewegung zu setzen, sind die beiden Spitzenkämme mit den inneren Belegungen je einer Leydener Flasche verbunden, wie man in der Figur bei L und L' sieht, während die äußeren Belegungen der Flaschen zur Erde abgeleitet sind. Es wird dann wieder wegen der großen Kapazität dieser Flaschen viel Elektrizität angesammelt, und daher werden die Funken dadurch viel kräftiger, lauter klatschend, als wenn solche Flaschen nicht angebracht sind.

5. Kapitel.

Umwandlung großer Energiemengen in elektrische Ströme.

Inhalt: Magnetoinduktion. Magnetelektrische Maschinen. Grammescher Ring. Dynamoprinzip. Gleichstromdynamos. Hauptstrom-, Nebenschlußmaschinen. Mehrpolige Maschinen. Regulierung der Nebenschlußmaschinen. Amperemeter und Voltmeter. Effekt der Maschinen. Wechselstrom- und Drehstromdynamos.

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 Anwendung von galvanischen Elementen ist zur Erzeugung von sehr starken Strömen von hoher Spannung, also von vielen Ampere und vielen Volt eine sehr prekäre. Man kann solche wohl dadurch erhalten, daß man die Zahl der benutzten Elemente vermehrt. Aber eben diese Vermehrung der Zahl der Elemente ist für praktische Zwecke ziemlich unmöglich. Ein jedes Element erfordert eine sorgfältige Behandlung, öfteren Wechsel der Flüssigkeiten und Metalle. Eine große Anzahl von Elementen nimmt einen großen Raum ein. Außerdem entwickeln die galvanischen Elemente zum Teil, und gerade die stärkeren, schädliche und unangenehme Dämpfe. Und endlich ist die Anwendung der Elemente eine sehr teure. In fast allen Elementen wird durch chemische Prozesse Zink in Säuren aufgelöst, der elektrische Strom wird also nur erhalten durch Verbrennung (Oxydation) von Zink, einem sehr teuren Brennmaterial.

Die prinzipiell vorteilhafteste Methode, um elektrische Ströme zu erzeugen, wäre die, direkt die Wärme in Elektrizität umzuwandeln, so wie man in den Dampfmaschinen die Wärme direkt in mechanische Arbeit verwandelt. Vorläufig aber ist dies allein möglich durch die Anwendung der Thermoelektrizität, und diese liefert bisher, selbst bei den vorteilhaftesten Konstruktionen, nur eine sehr geringe Ausnutzung der Wärme, so daß auch diese für starke Ströme nicht in Frage kommt.

Das wirksamste Mittel dagegen zur einfachen Erzeugung von starken elektrischen Strömen bietet die Induktion durch Magnete, die sogenannte **M a g n e t o i n d u k t i o n**.

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 Kerne mit Draht umwickeln, man kann lange Eisenzyylinder 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. Ferner werden dabei, wenn eine Spule sich abwechselnd zum Nordpol und zum Südpol hinbewegt, zunächst immer Ströme wechselnder Richtung, *Wechselströme*, auftreten.

Solche Maschinen, die durch Bewegung von Drahtspulen gegen Magnete (oder umgekehrt) Ströme erzeugen, nennt man *magnetelektrische Maschinen*. Für die bequeme Aufeinanderfolge der abwechselnden Pole sind die Magnete immer Hufeisenmagnete. Man nennt den Hufeisenmagneten, welcher die Ströme induziert, den *induzierenden Magneten* oder auch den *Feldmagneten*, die Drahtspulen mit ihren Eisenkernen bezeichnet man als *Induktor* oder *Anker*.

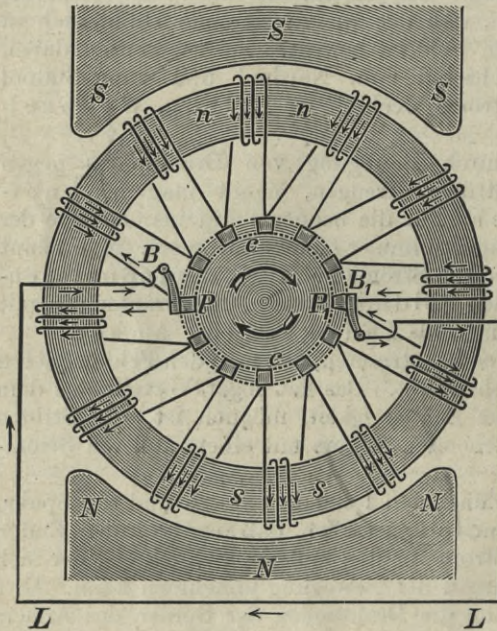
Man kann diese Maschinen so konstruieren, daß man den Feldmagneten rotieren und den Anker feststehen läßt. Das hat sogar Vorteile aus dem Grunde, weil es dadurch ohne Schwierigkeit möglich ist, die Ströme aus den Drahtspulen des feststehenden Ankers mit einem äußeren Stromkreis zu verbinden.

Will man umgekehrt 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 beiden Enden einer solchen Spule oder die freien Enden des ganzen Spulensystems 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. Die Enden dieses Drahtes lötete er aneinander, so daß der Draht vollkommen geschlossen war und keine freien Enden mehr hatte. Ein solcher Induktor, den man den Pacinottischen Ring, gewöhnlich aber den Grammeschen Ring nennt, weil er durch Gramme erst allgemein bekannt wurde, ein solcher Induktor schiebt nun, wenn man ihn vor den Polen eines Magneten rotieren läßt, in den äußeren Stromkreis stets, wie wir gleich beweisen werden, gleichgerichtete Ströme, wenn man an zwei gegenüberliegenden Stellen der Wickelung durch Bürsten den Strom abnimmt.

Fig. 77.



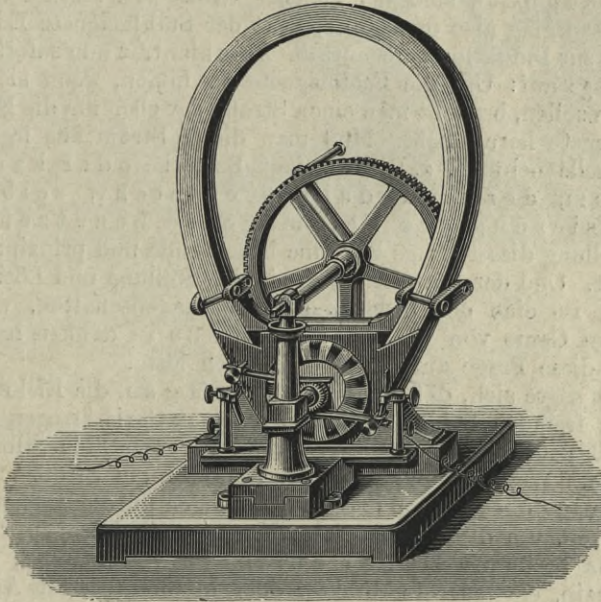
Bei der wirklichen Ausführung eines solchen Ringes bildete nun Gramme, wie Fig. 77 zeigt, die Umwicklung des Ringes aus einer großen Anzahl von einzelnen Drahtspulen, deren Enden er an die Achse führte und dort in Kupferstreifen *cc* ausgehen ließ. Die Kupferstreifen sind alle voneinander isoliert und ein jeder bildet die Verbindung

zwischen dem Ende der einen und dem Anfang der benachbarten Spule. Es sind also ebensoviele Kupferstreifen vorhanden, wie einzelne Spulen, und die Spulen sind alle hintereinander verbunden, so daß sie eine vollständige gleichlaufende Umwicklung des Eisenringes bilden. An diesen Kupferstreifen 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 *LL* senden. Den auf der Achse sitzenden Teil *cc*, der aus einer Anzahl Kupferstreifen und dazwischenliegenden isolierenden Streifen besteht, nennt man den Kommutator oder Kollektor (Stromsammelring). Oberhalb und unterhalb des Ringes befinden sich die Pole des Feldmagneten, etwa oben der Südpol *S*, unten der Nordpol *N*. Man sieht dann, daß alle Spulen des Ringes, die gerade in der oberen Hälfte sich befinden, Induktionsströme von derselben Richtung und die in der unteren Hälfte Ströme von der entgegengesetzten Richtung liefern müssen. In unserer Figur fließen

oben die Ströme vom Umfang des Ringes nach der Achse zu, unten von der Achse nach dem Umfang des Ringes. Zu der einen Bürste B_1 fließt also dauernd 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 LL an, so fließt in dieser der Strom von B_1 und B , bleibt also tatsächlich stets gleichgerichtet.

Eine solche magnetelektrische Maschine mit Grammeschem Ring zeigt Fig. 78. Man sieht bei ihr einen hufeisenförmigen Stahlmagneten

Fig. 78.



stehen, zwischen dessen Polschuhen sich der Ring befindet, dessen einzelne Drahtspulen abwechselnd hell und dunkel gezeichnet sind. Die Achse, auf der der Ring sitzt, wird vermittle einer Kurbel und Zahnradübertragung in sehr rasche Rotation versetzt. Die Pole des Magneten sind rechts und links. Die Bürsten schleifen oben und unten auf dem Kollektor.

Beim Grammeschen Ring also schleifen die Bürsten nicht immer auf denselben Drahtenden, sondern im Gegenteil jedesmal auf anderen. 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.

Dasselbe Prinzip, daß die Bürsten der Reihe nach immer von anderen, aber immer gleich induzierten Spulen den Strom abnehmen, hat man auch bei einer anderen Form des Induktors, als bei der Ringform, anwenden

können, nämlich bei der Zylinderform, wenn die Drähte auf dem Zylinder passend verbunden sind. Einen solchen zylindrischen Anker nennt man *Trommelanker* und er ist jetzt fast allein gebräuchlich, der Grammesche Ring ist bereits veraltet.

Ein wesentliches Moment zur Vervollkommnung der Maschinen besteht aber in folgendem. Zunächst wurden bei allen solchen Maschinen *Stahlmagnete* angewendet, um die Ströme zu induzieren, wie es auch bei der eben abgebildeten Maschine gezeichnet ist. Nun ist aber der Magnetismus von Stahlmagneten ein verhältnismäßig unbedeutender. *Elektromagnete* sind bei gleicher Größe viel stärker als *Stahlmagnete*. Man ging also dazu über, statt der *Stahlmagnete* *Elektromagnete* zur Induktion zu benutzen. Aber hier trat nun sofort folgende wichtige Frage auf: 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 irgend einer äußeren Quelle nehmen, z. B. aus einer Batterie, oder kann man den Strom, der im Induktor entsteht, selbst zur *Magnetisierung* der *Feldmagnete* benutzen?

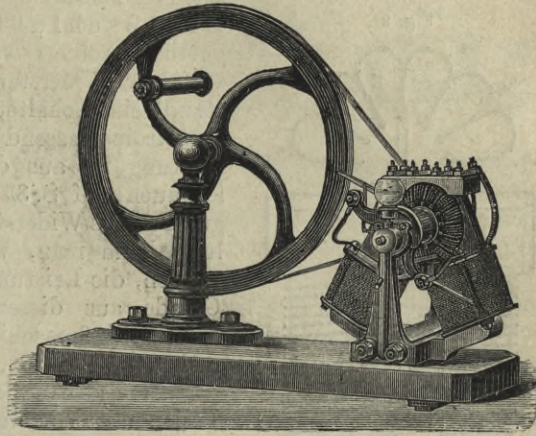
Die Stellung dieser Frage war eine bedeutende und prinzipiell höchst wichtige Tat. Und der Fortschritt, der in der Stellung und Lösung dieser Frage liegt, ist eine der bedeutendsten Errungenschaften, welche die Technik dem Genie von *Werner Siemens* zu danken hat, der im Jahre 1867 diese Frage aufwarf 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 Induktor ein Strom erzeugt sei, so brauche man diesen ja bloß in *Spiralwindungen* um die *Magnete* passend herumzuführen, um die Stärke dieser *Magnete* erheblich zu vergrößern. 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.

Ein Beispiel für eine solche *Dynamomaschine* bietet die in Fig. 79

abgebildete kleine Dynamo für Handbetrieb, welche speziell für Lehrzwecke hergestellt wird, und die für Demonstrationen recht geeignet ist. Der Anker der Maschine wird durch das Rad mittels Schnurlaufs gedreht.

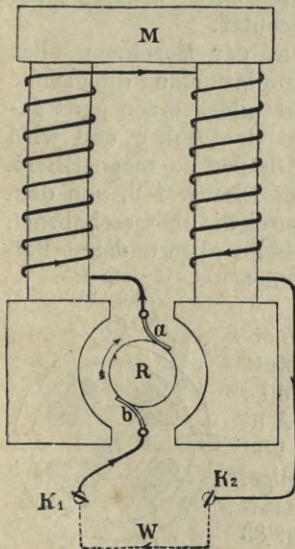
Fig. 79.



Die beiden Magnetschenkel sind schief gestellt, ihre Polschuhe umfassen den Ringanker, an dem man nach vorn auch den Kommutator sieht. Diese Demonstrationsmaschinen werden entweder mit starkem Draht oder mit mittlerem oder mit feinerem gewickelt und liefern bei 2400 Touren in der Minute je nach den drei Wicklungsarten Spannungen von 3,2, 7,5, 22 Volt und Stromstärken von 24, 11, 4 Ampere. Die mittlere Wicklung ist am meisten zu Versuchen geeignet.

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

Fig. 80.

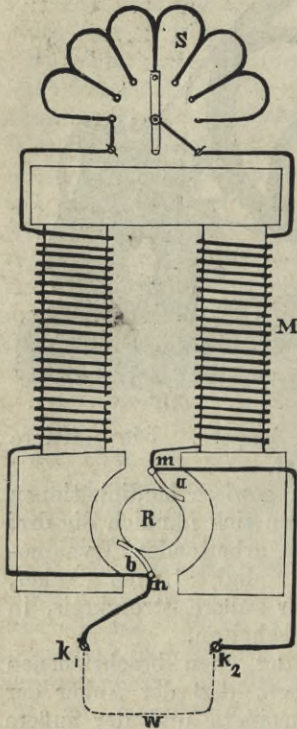


Es wurde bei der eben beschriebenen Maschine angenommen, daß der Anker der Maschine, die Feldmagnete und der äußere Schließungskreis hintereinander geschaltet sind, so daß also das Schema der Dynamomaschine so aussieht, wie es Fig. 80 zeigt. Darin fließt der Strom der Reihe nach von den Drähten des Ankers R durch die Bürste a um die Windungen der beiden Elektromagnetschenkel M herum zur einen Polklemme K_2 , von dieser durch den äußeren Schließungskreis w zur anderen Polklemme K_1 und durch die Bürste b in den Anker zurück. Anker, Elektromagnet und 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. 81. Hier teilt sich der Strom, der durch die

Bürsten a und b aus dem Anker R kommt, bei m und n geht zum Teil zu den Polklemmen k_1 und k_2 und von diesen durch den äußeren Schließungskreis w, zum Teil aber geht er um die Magnete M. Man

Fig. 81.



zeichnet Maschinen mit dieser Anordnung als Nebenschlußmaschinen. In die Magnetbewicklung wird gewöhnlich noch ein variabler Widerstand S (ein Regulierwiderstand) eingeschaltet, um die Stärke des Magnetstroms passend zu verändern. Seine Einrichtung ist aus der Figur selbst klar und ist auch auf S. 33 beschrieben. Durch Regulieren des Widerstandes der Magnetbewicklung kann man, wie wir gleich besprechen werden, die Leistung der Maschine regulieren. Gerade aus diesem Grunde werden solche 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 jetzt nur noch selten, in wenigen ganz bestimmten Fällen benutzt.

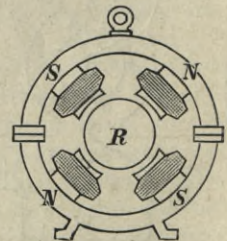
Die äußere Form der Maschinen aller Fabriken ist jetzt im allgemeinen die gleiche geworden. Das Eisen bildet einen ganz geschlossenen Kreis um den Anker und wird durch aufgeschobene Spulen so magnetisiert, wie es Fig. 82 zeigt. Man sieht ein geschlossenes Eisengestell, von dem oben und unten Eisenkerne nach innen gehen, die durch die übergeschobenen Spulen magnetisiert werden. Zwischen den passend abgerundeten Polshuhen dieser Magnetkerne befindet sich der Anker R.

Fig. 82.



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. 83

Fig. 83.



gibt das Schema einer solchen vierpoligen Maschine, bei 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

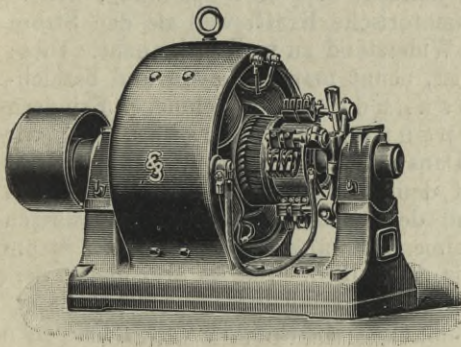
ausgeführt. Zwischen je zwei entgegengesetzten Polen schleifen Bürsten auf dem Kollektor, so daß eine sechspolige Maschine sechs Bürsten enthält. Die einander entsprechenden Bürsten können hintereinander oder parallel verbunden werden. Der Trommelanker der modernen Maschinen wird gewöhnlich nicht als glatter eiserner Zylinder ausgebildet, sondern er wird, wie Fig. 84 zeigt, mit Nuten versehen, in welche die zu induzierenden Drähte eingelegt werden, und heißt dann **Nutenanker**.

Fig. 84.



Eine Maschine dieser Art zeigt Fig. 85. Es ist das eine Maschine der Siemens-Schuckertwerke (SSW) in Berlin, die vier Magnetschenkel und einen Trommelanker besitzt. Man erkennt den breiten Trommelanker, die vier auf dem eisernen Ring sitzenden Magnetpole, den breiten Kommutator mit den vier Bürstenreihen. Jede von den Bürstenreihen besteht aus vier Bürsten.

Fig. 85.



Der Anker der Dynamomaschinen 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. Manchmal, bei größeren Maschinen mit vielen Polen, wird die Dynamomaschine auch direkt auf die Achse der Dampfmaschine gesetzt und rotiert dabei langsam. In neuerer Zeit werden die größeren Dynamomaschinen 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, um so stärker ist das Feld, um so stärker sind die entstehenden Induktionsströme. Ferner hängt die elektromotorische Kraft ab von der Drehungsgeschwindigkeit des Ankers. Je rascher der Anker sich dreht, um so größer ist die erzeugte elektromotorische Kraft. Bei sonst gleichbleibenden 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 zehnmal so große elektromotorische Kraft wie ein Anker, der nur mit 100 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. 31) 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. 26) 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 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. 81 (auf S. 86) gezeichnet ist, in den Zweigstrom, welcher um die Magnete fließt, einen regulierbaren Widerstand, einen *Regulator* 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 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.

Der Nebenschlußregulator besteht also aus Widerständen, welche in den Nebenstromkreis ein- und aus ihm ausgeschaltet werden können. Er hat häufig die Form, die wir schon auf S. 33 beschrieben haben.

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. 86 gezeichnet.

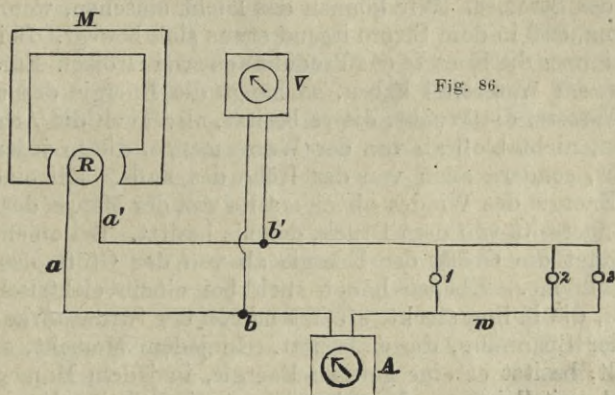


Fig. 86.

Von dem Anker R der Maschine M gehen zwei Drähte aus, a b und a' b', welche zu den zwei Klemmschrauben b und b' führen. Von b und b' werden die Drähte w fortgeführt, welche die Hauptleitungen für die dazwischen zu schaltenden Apparate 1, 2, 3 usw. bilden. In den einen dieser Drähte wird das Amperemeter A eingeschaltet. Das Voltmeter V dagegen wird in den Nebenschluß zu den beiden Drähten gelegt. 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. Daß zur Erzeugung von elektrischen Strömen in solchen Maschinen Arbeit, und zwar erhebliche Arbeit aufzuwenden notwendig ist, kann man auch durch direkte Versuche an jeder Maschine sofort erkennen.

Solange die Klemmen der Maschine nicht durch einen äußeren Draht geschlossen sind, so daß kein Strom fließen kann, läßt sich die Maschine ziemlich leicht in Bewegung setzen und halten. Sowie aber der Stromkreis geschlossen wird, so daß also die Ströme fließen und dadurch die innere Widerstandskraft entsteht, geht die Maschine sehr schwer, und man muß erhebliche Arbeit aufwenden, um sie zu drehen. Die mechanische Arbeit oder, wie wir besser sagen, die mechanische Energie verwandelt sich in elektrische Energie.

Das Maß für die elektrische Energie ist aber nicht etwa die Stromstärke allein, sondern es ist das Produkt aus der Stromstärke und der Spannung des Stromes. Wir können das leicht einsehen, wenn wir bloß daran denken, daß in dem Strom irgend etwas bewegt. Bei jeder Bewegung ist immer die Energie das Produkt aus zwei Größen. Zum Beispiel, wenn wir einen Wasserfall haben, so hängt die Energie des unten auffallenden Wassers, die Wucht, die es besitzt, also auch die Arbeit, die es leisten kann, nicht bloß ab von der Wassermenge, die in jeder Sekunde herunterfällt, sondern auch von der Höhe des Falls. Bei einem Sturm hängt die Energie des Windes ab einerseits von der Menge der bewegten Luft und anderseits von dem Druck, den sie besitzt. Bei einem fallenden Gewicht hängt die Größe der Energie ab von der Größe des Gewichts und der Fallhöhe. Ebenso hängt auch bei einem elektrischen Strom die Energie, die in ihm steckt, ab erstens von der Stromstärke und zweitens von der Spannung, die er besitzt. In jedem Moment, solange der Strom fließt, besitzt er eine gewisse Energie, in jedem Moment kann er also eine Arbeit leisten. Man bezeichnet die Arbeit, die irgend eine Maschinerie, also auch unser Strom, in jeder Sekunde leisten kann, als den Effekt dieser Maschinerie und mißt sie mechanisch in Pferdestärken. Ein Pferd kann nämlich, wie man als Mittelwert annimmt, in jeder Sekunde 75 Kilogramm einen Meter hoch heben, also eine Arbeit von 75 Kilogrammern leisten. Ein Wasserfall, bei dem in jeder Sekunde 1000 Kilo Wasser 30 Meter tief herunterfallen, kann also in jeder Sekunde 30 000 Kilogrammern 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. Statt dieses Wortes braucht man gewöhnlich den Ausdruck Watt und mißt also den Effekt eines Stromes in Watt. Der ganze Effekt in einem Stromleiter ist also gleich Spannungsunterschied seiner Enden (in Volt) \times Stromstärke (in Ampere) (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 Pferdekräften (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

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

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 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 mindestens dieselbe Arbeit auf die Dynamomaschine überträgt, in Wirklichkeit aber muß die Dampfmaschine natürlich mehr Arbeit leisten, weil sie noch die Reibung der Maschinen und die sonstigen schädlichen Widerstände zu überwinden hat.

Der Effekt eines ganzen Stromkreises verteilt sich auf die einzelnen Teile desselben. In jedem bestimmten Stück des Stromkreises herrscht eine gewisse Stromstärke und herrscht ein bestimmter Spannungsunterschied an den Enden, so daß der Effekt in diesem Stück eben gleich diesem Spannungsunterschied mal der Stromstärke ist. Die Summe aller Effekte der einzelnen Teile des Stromkreises ist der gesamte Effekt.

Wichtig ist besonders der Effekt im 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 Klemmenspannung ist, so gibt die Klemmenspannung 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 Inneren bloß dadurch, daß der Strom im Anker und um die Magnete herumfließt. Es ist die Aufgabe einer jeden Maschinenkonstruktion, diesen Effekt im Inneren 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 Inneren 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 Prozent, 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 Effekt bezeichnet man als den Wirkungsgrad der

Maschine. Er beträgt bei kleinen Maschinen 75—80 Prozent, bei großen steigt er bis zu 95 Prozent.

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 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.

Die eigentümlichen Verhältnisse der Wechselströme, die viel komplizierter sind als die der Gleichströme, waren wissenschaftlich lange nicht näher untersucht. Aber die Wechselströme ermöglichen es, eine Fortleitung und Verteilung der elektrischen Energie in so einfacher und billiger Weise herzustellen, wie es mit Gleichströmen nicht möglich ist. Dies beruht auf folgendem Umstand. Die Fortleitung von elektrischer Energie auf große Entfernung ist um so teurer, je größer die Stärke der Ströme ist, und um so billiger, je größer die Spannung, also je geringer die Stärke ist. Denn für starke Ströme braucht man Leitungen von großem Querschnitt, also viel Kupfer, und für schwache Ströme Leitungen von geringem Querschnitt, also wenig Kupfer. Kupfer ist aber teuer. Am vorteilhaftesten für die Fernleitung elektrischer Energie sind also Ströme mit möglichst hoher elektromotorischer Kraft (Spannung) und geringer Stromstärke. Nun kann man zwar aus Maschinen aller Art prinzipiell Ströme von hoher elektromotorischer Kraft erhalten, indem man nur die Zahl der Drähte auf dem Anker und die Geschwindigkeit der Umdrehungen groß zu machen braucht. Aber faktisch kann man bei Maschinen mit beweglichen Drahtwickelungen und einem Kollektor, und den haben eben die Gleichstrommaschinen, keine zu hohe Spannung erzeugen, weil ein Überschlagen von Funken am Kollektor zu leicht eintritt, wodurch der Spannung eine Grenze gesetzt ist. Hier haben nun die Wechselströme einen großen Vorteil vor den Gleichströmen. Die Wechselstrommaschinen haben überhaupt keinen Kollektor und man kann sie so konstruieren, daß die hohen Spannungen nur in festen, unbewegten Drahtwickelungen vorhanden sind. Aus diesen Gründen werden Wechselstrommaschinen vielfach gebaut und sogar zum Teil solche von kolossalen Dimensionen. Ja es werden heutzutage 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 zuweilen von einer kleinen Gleichstrommaschine erzeugt, die ganz getrennt von der Wechselstrommaschine ist. Häufig aber sitzen diese Gleichstrommaschinen auf der-

selben Drehungsachse wie die Hauptmaschine für Wechselstrom. Der Arbeitsaufwand, den eine solche Gleichstrommaschine zur Erregung der Magnete erfordert, beträgt bei mittelgroßen Maschinen nur 1—3 Prozent der ganzen zur Erzeugung des Wechselstroms notwendigen Arbeit. Während sich bei den Gleichstrommaschinen allgemein der Typus herausgebildet hat, daß die Feldmagnete ruhen und der Anker rotiert, und zwar so, daß 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, möge als Schema die Wechselstrommaschine der Siemens-Schuckertwerke (Fig. 87—89) angeführt werden. Der Anker besteht bei dieser aus einem feststehenden äußeren Ring von Eisen (R in Fig. 87), der die induzierten Drahtspulen trägt. Die Feldmagnete M sind sternförmig im Inneren des Ringes angeordnet, und dieser Magnetradkranz 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 Pol-schuhe, wo sie dem Ring gegenüberstehen. Der eiserne Ring selbst ist an seinem inneren Umfang mit einer Anzahl von Nuten versehen, und zwar sind dreimal so viel Nuten vorhanden als Magnetpole. Fig. 87 zeigt den Magnetkranz M und den Eisenring R mit seinen Nuten. Die Drahtwicklung des Ankers wird nun in die Nuten

Fig. 87.

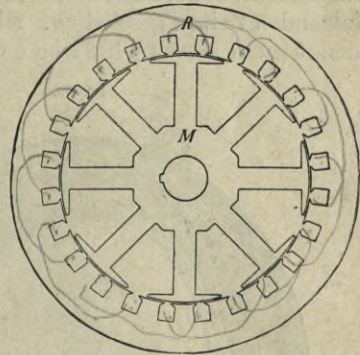


Fig. 88.

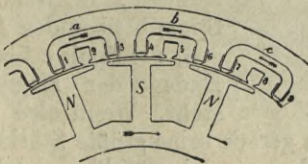
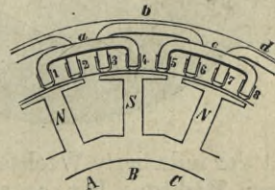


Fig. 89.



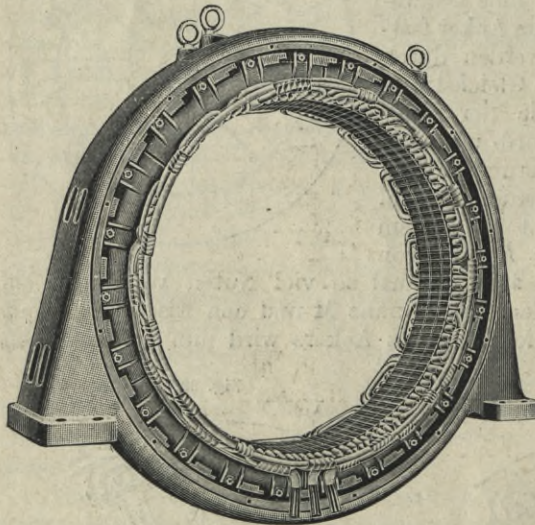
eingelegt, und zwar kann man mehrere Wechselstromkreise erhalten, je nach der Art, wie man die Nuten zur Wicklung benutzt.

Um einen einzigen, sogenannten einfachen oder einphasigen Wechselstrom zu erhalten, legt man, wie Fig. 88 zeigt,

Drähte in die Nuten 1 und 3 und verbindet diese, wie in der Figur; die folgende Wickelung legt man in die Nuten 4 und 6 usw., läßt also die Nuten 2, 5, 8 usw. frei. Da die Wickelungen, 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 die ersteren sich gerade vom Nordpol zum Südpol, die letzteren vom Südpol zum Nordpol bewegen. 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 in die Stelle des früheren Südpols gelangt ist und umgekehrt.

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 Wechselstrom oder kurz Dreh-

Fig. 90.

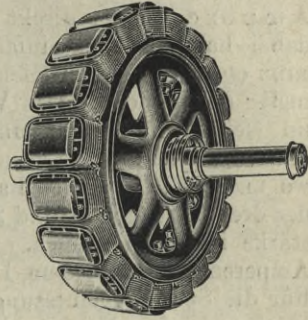


strom. Um aus der Maschine Drehströme zu erhalten, macht man die Wickelung so, wie es in Fig. 89 angedeutet ist. Die erste Wickelung a wird in Nute 1 und 4 gelegt, die zweite b in 3 und 6, die dritte c in 5 und 8 usw.; es wird also keine Nute freigelassen. Man sieht aus der Figur, daß in einem und demselben 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 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. Bei den Drehstrommaschinen werden nun die drei Enden der drei Spulensysteme in der Maschine selbst miteinander verbunden, und die drei Anfänge werden zu je einer festen Klemme geführt. Von diesen drei Klemmen werden dann die Drehströme nach außen geführt.

Fig. 91.



Die Abbildung eines ausgeführten Stators einer Drehstrommaschine der Bergmann-Elektrizitätswerke zeigt Fig. 90. 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. 91 ersichtlich, und die ganze Maschine wird durch

Fig. 92.

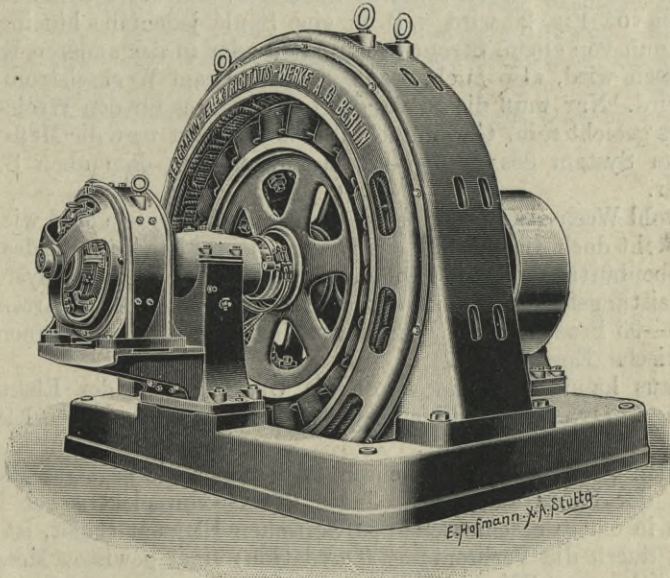


Fig. 92 dargestellt. Das Gehäuse erhält noch Schutzschilde, um die Spulen vor Beschädigung zu schützen. An der ausgeführten Maschine sieht man noch vorn auf derselben Achse eine kleine Gleichstrommaschine, die den Erregerstrom für die Magnete liefert.

Um die Spannung in den Wechselstrommaschinen zu ändern, reguliert man, wie bei den Nebenschlußmaschinen für Gleichstrom, den Erregerstrom der Magnete. Indem man diesen stärker oder schwächer macht, wird auch die Spannung des Wechselstromes 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 an die Klemmen der Maschine im Nebenschluß zum äußeren Stromkreis angelegt, das Amperemeter kommt direkt in die Leitung des Hauptstroms. Dagegen bei Drehstrom, wo man drei 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 jedem 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.

Die Meßapparate für Wechselströme sind zum Teil dieselben, wie die für Gleichströme. Wenn nämlich ein Meßapparat auf der Bewegung eines Stückes von weichem Eisen unter dem Einfluß eines Stromes beruht, so läßt er sich für Wechselströme auch verwenden. Denn das Eisenstückchen von Fig. 20 wird z. B. in eine Spule jedenfalls hineingezogen, ob diese nun von einem Strom in der einen oder in der anderen Richtung durchflossen wird, also auch, wenn sie von einem Wechselstrom durchflossen wird. Nur muß die Skala des Instrumentes für den Wechselstrom besonders geeicht sein. Gewöhnlich aber konstruiert man die Meßapparate nach dem System des Elektrodynamometers, von dem oben S. 50 die Rede war.

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 für das andere System. Beide Arten setzen heute 85—95 Proz. der von Dampfmaschinen auf sie übertragenen Arbeit in elektrische Energie um.

Daraus kann man nun sofort die Überlegenheit der Elektrizitätserzeugung in Dynamomaschinen gegenüber der in galvanischen Elementen ersehen.

In den galvanischen Elementen wird immer die negative Elektrode, Zink, in der Säure aufgelöst. Jeder Betrag von elektrischer Energie, den man in einem geschlossenen galvanischen Element erhält, ist hervorgebracht durch die Verbrennung (Oxydation) einer gewissen Menge Zink in Schwefelsäure. Bei den Dynamomaschinen dagegen werden die elektrischen Ströme hervorgebracht durch die Drehung des Ankers oder der Magnete, also durch die Arbeit, welche man auf die Maschine aufwendet. Dreht man sie durch eine Gasmaschine oder Dampfmaschine, so werden die elektrischen Ströme indirekt hervorgebracht durch die Verbrennung der Kohlen oder des Leuchtgases, welche in den Arbeitsmaschinen zur

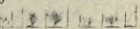
Verwendung kommen. Es läßt sich nun eine einfache Rechnung anstellen, welche das Verhältnis der Kosten von elektrischen Strömen, die durch galvanische Elemente erzeugt werden, vergleichen läßt mit denjenigen, welche durch Dynamomaschinen erzeugt werden, die durch Dampf- oder Gasmaschinen getrieben werden. Ein Kilogramm Zink liefert, wenn es vollständig oxydiert wird (verbrennt), eine Wärmemenge von 550 Kalorien (Wärmeeinheiten). Nehmen wir an, daß diese Wärme vollständig in elektrische Energie umgesetzt wird, was auch nahezu der Fall sein wird. Ein Kilogramm Kohle dagegen gibt bei der Verbrennung 8000 Kalorien. Von diesen 8000 Kalorien werden aber nur etwa 12 Proz. in den Dampfmaschinen faktisch zur Arbeitsleistung verwendet, also 960 Kalorien, und von diesen 960 Kalorien, resp. ihrer entsprechenden Arbeit werden etwa 10 Proz. auf die Überwindung der Reibung der Dynamomaschine und auf unproduktive Erwärmung verwendet, während 90 Proz., also etwa 860 Kalorien, nutzbar in Elektrizität verwandelt werden. Ein Kilogramm Zink liefert also eine Menge elektrische Energie, welche 550 Kalorien, ein Kilogramm Kohle eine solche, welche 860 Kalorien entspricht. Nun ist aber der Preis von Zink ungefähr 15mal so hoch als der von Kohle, so daß dieselbe elektrische Energiemenge durch Kohlenverbrennung für weniger als den 23. Teil der Kosten hergestellt wird, als durch Verbrennung von Zink.

Damit ist die Überlegenheit der Dynamomaschinen über die galvanischen Elemente für Anwendungen im großen konstatiert.

Die Dynamomaschinen verwandeln also direkt mechanische Arbeit in elektrische Energie, und zwar in beliebigem Betrage. Man hat heutzutage bereits Dynamomaschinen von solcher Größe konstruiert, daß eine Maschine 10 000 Pferdekräfte aufnehmen, also die Arbeit von 10 000 Pferden kontinuierlich in elektrische Energie verwandeln kann.

6. Kapitel.

Die Leistung von Arbeit durch elektrische Ströme.

Inhalt: Arbeitsleistung. Elektromotoren, Kraftverteilung, Kraftübertragung. Hohe Spannungen. Drehstrommotoren. Transformatoren. Anwendung in der Landwirtschaft. Elektrische Trambahnen. Fernbahnen. Schnellbahnen. 

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.

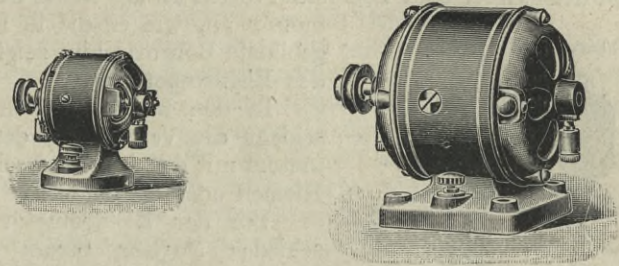
Eine jede magnetelektrische oder dynamoelektrische Gleichstrommaschine läßt sich nämlich in doppelter Weise verwenden. Wenn man den Anker derselben durch Aufwendung von Arbeit vor den Magnetpolen dreht, so erzeugt man in ihm Induktionsströme, und dies ist die ursprüngliche und im vorigen Kapitel ausführlich besprochene Verwendung der Maschinen. Wenn man aber anderseits durch die Drahtwindungen des Ankers irgend einen elektrischen Strom von außen schickt, so üben ja die Magnete auf diesen Strom Kräfte aus, und unter dem Einfluß dieser Kräfte müssen sich die Stromleiter, d. h. muß sich der Anker bewegen und zwar nach der Linken-Hand-Regel, die wir oben S. 47 besprochen haben. Wenn man also einen Strom von außen durch die Drahtwindungen des Ankers und der Magnete sendet, so muß der Anker sich drehen und kann dadurch Arbeit leisten. Woher man den Strom nimmt, den man in die Maschine einleitet, ist ganz gleichgültig. Man kann ihn aus galvanischen Elementen oder Thermoelementen nehmen, wenn es die Ökonomie erlaubt und sonstige Rücksichten erfordern, man kann ihn aus einer anderen Dynamomaschine nehmen oder man kann ihn endlich in Städten, in welchen 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.

Ein elektrischer Motor, welcher von einem Strom durchflossen wird, kann also Arbeit leisten. Zu dem Zwecke setzt man z. B. auf seine Achse eine Riemenscheibe oder Schnurscheibe und überträgt durch Riemen oder Schnur die Bewegung des Elektromotors auf diejenige Maschine, die man treiben lassen will. Auf diese Weise leistet der Elektromotor Arbeit; er tut es dadurch, daß ihm von der Elektrizitätsquelle elektrische Energie zugeführt wird.

Die elektrischen Motoren, welche durch Gleichströme getrieben werden, 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 Seite 85 f. besprochen haben. Hauptsächlich werden Nebenschlußmotoren benutzt und zwar überall da,

Fig. 93.



wo man den elektrischen Strom aus einer Leitung nimmt, die von einer Zentralstation gespeist wird, und das ist der am meisten vorkommende Fall. Fig. 93 zeigt zwei derartige Kleinmotoren der Siemens-Schuckertwerke 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.

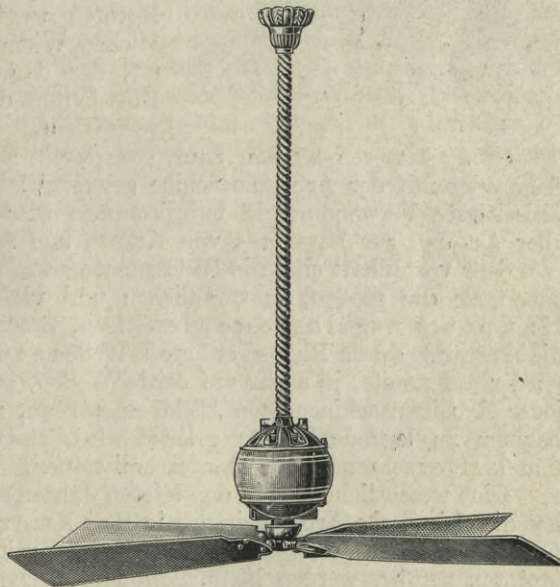
Die Anwendbarkeit aller elektrischen Motoren ist nun natürlich eine sehr ausgedehnte. Sie sind für fast alle Zwecke vorzüglich brauchbar, in denen man Maschinenkraft zum Drehen von Arbeitsmaschinen aufwendet.

Die Elektromotoren, namentlich die kleineren, haben im allgemeinen ziemlich große

Umdrehungsgeschwindigkeiten. Um nun den Elektromotor mit den Arbeitsmaschinen zu verbinden, hat man viel-

fache 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. 94 bei einem Deckenventilator zeigt, die Ventilatorflügel direkt

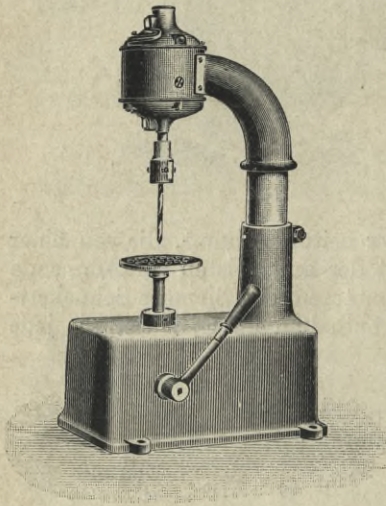
Fig. 94.



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, wie es die in Fig. 95 abgebildete Bohrmaschine zeigt, die oben den Elektromotor hat.

Fig. 95.



In den meisten Fällen aber geschieht die Verbindung des Elektromotors mit der Arbeitsmaschine durch Riemen oder Schnüre.

Um den Elektromotor mit verschieden starkem Strom laufen zu lassen, wenn er bald mehr, bald weniger Arbeit leisten soll, schaltet man vor ihn oft einen Regulierwiderstand von der schon mehrfach beschriebenen Form, aus dem man durch Bewegung eines Handgriffs mehr oder weniger Widerstand ausschalten kann. Größere Motoren werden immer mit einem solchen Widerstand zusammengeschaltet, der dann auch dazu dient, beim Einschalten den Strom allmählich zu verstärken.

Große Motoren werden zum Teil durch Riemen, zum Teil durch Zahnräder mit der Arbeitsmaschine gekuppelt. Sie haben natürlich die vielseitigste Verwendung in Fabrikräumen zum Betrieb 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 beseitigen. 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.

Eine wesentliche und in den letzten Jahren 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.

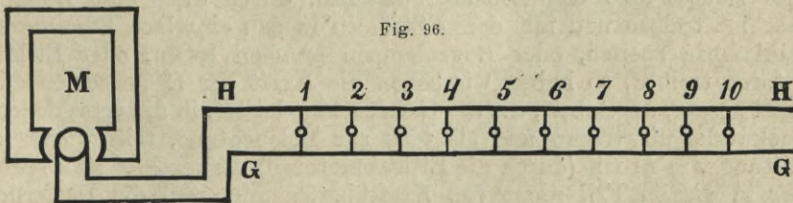
Die Vorzüge der Elektromotoren bestehen in ihrer sofortigen Betriebsbereitschaft, in ihrer Gefahrlosigkeit, in dem kleinen Raum, welchen sie einnehmen, und der Billigkeit der Anlage, verglichen mit den Anlagekosten für kleine Gasmotoren oder Dampfmaschinen, und endlich darin,

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.

Die wertvollste Anwendung der elektrischen Arbeitsleistung besteht aber darin, daß es durch sie 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 Zentralstationen durch große Dynamomaschinen erzeugt und überallhin geleitet werden, werden nun aber dem Kleingewerbe Motoren schon von $\frac{1}{60}$ Pferdekraft geliefert, welche ihre Arbeit zu billigem Preise leisten und deren Verbrauch an Strom in demselben Verhältnis steht, wie die geleistete Arbeit.

In dieser Aufgabe, der Kraftverteilung, liegt also eine nationalökonomisch äußerst wichtige Aufgabe vor, nämlich die, an beliebig vielen Punkten kleine oder auch große Maschinenkräfte der Industrie zur Verfügung zu stellen. Der elektrische Strom selbst wird in großen Zentralstationen, sei es durch Maschinenkraft, sei es durch Wasserkraft erzeugt, und durch seine Vermittelung wird die Kraft auf viele Stellen verteilt. Für die richtige Lösung dieser Aufgabe handelt es sich darum, von einer großen Dynamomaschine aus den Strom in eine Reihe von kleinen Elektromotoren zu leiten, von denen jeder seine bestimmte Arbeit zu leisten hat, und diese Verteilung so zu bewerkstelligen, daß ein Motor den anderen nicht stört, daß z. B. der eine Motor außer Tätigkeit gesetzt werden kann, ohne daß die anderen Motoren in ihrem Gange beeinflußt werden und dadurch unzuweckmäßig arbeiten.

Die Lösung dieser Aufgabe, wie auch der ähnlichen Aufgabe bei der Lichtverteilung, geschieht auf einfachste Weise durch Parallelschaltung der Motoren. Alle Elektromotoren, die also an den verschiedenen Stellen Arbeit zu leisten haben, werden nebeneinander (parallel) in den Stromkreis eingeschaltet, der von der Zentralstation kommt. Diese Parallelschaltung aller Stromverbrauchsapparate hat sich ganz allgemein als äußerst einfach und zweckmäßig bewährt. In Fig. 96 ist



diese Schaltung gezeichnet. Darin bedeutet M die Dynamomaschine, welche den Strom erzeugt, und 1, 2, 3 bis 10 eine Reihe von Elektromotoren. Es gehen also von den Klemmen der Dynamo dabei zwei

Leitungen H H und G G aus, die zu allen Stellen führen, an denen Elektromotoren aufgestellt werden sollen, und zwischen diese Leitungen werden die einzelnen Elektromotoren 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.

Die Größe der Arbeit, welche jeder Elektromotor pro Sekunde leisten kann, ist, in Watt ausgedrückt, gleich dem Produkt aus seiner Klemmenspannung und der Stromstärke, welche in ihm herrscht. Die Stromstärke in jedem parallel geschalteten Elektromotor hängt, wenn seine Klemmenspannung dieselbe bleibt, nur ab von der Arbeit, die der Motor leistet. Wenn man also bewirken kann, daß die Klemmenspannung an den Enden jedes Elektromotors dieselbe bleibt, welches auch die Vorgänge sonst in dem Stromkreis sind, so wird jeder Motor ganz unabhängig von den Vorgängen in den anderen Maschinen sein. Dies ist also das einzige, was verlangt wird: Es muß an den Enden jedes Elektromotors stets dieselbe Klemmenspannung herrschen. Wenn alle Elektromotoren nebeneinander geschaltet sind und die Hauptzuleitungsdrähte sehr kleinen Widerstand haben, so kommt das darauf hinaus, daß die Maschine, die die Ströme liefert, dauernd dieselbe Klemmenspannung hat, unabhängig von den Widerständen im äußeren Stromkreis. Daraus folgt, daß die elektrischen Ströme am besten erzeugt werden durch Nebenschlußmaschinen, die man ja leicht auf konstante Klemmenspannung regulieren kann (S. 88), und daß damit das Problem der Arbeitsverteilung vollständig gelöst ist. In den meisten Städten ist die Einrichtung so getroffen, daß zwischen den beiden Hauptleitungen H H und G G eine Spannung von 110 Volt herrscht.

Zum Betriebe eines Elektromotors ist es, wie gesagt, ganz gleichgültig, woher man den Strom nimmt, den man in den Elektromotor einleitet. Man kann ihn aus galvanischen Elementen, man könnte ihn aus Thermosäulen entnehmen, man entnimmt ihn aber gewöhnlich aus Dynamomaschinen. Ist das letztere der Fall, so ist die Arbeitsleistung in eigentlichem Sinne eine Übertragung der Kraft oder richtiger der Arbeit von einer Stelle zu einer anderen. Man bezeichnet sie dann auch als elektrische Kraftübertragung.

Im Grunde genommen haben wir es bei allen Leistungen der Elektrizität mit einer Übertragung der Kraft zu tun. Wenn wir z. B. im Keller eines Hauses eine Gasmaschine aufstellen, durch diese eine Dynamomaschine treiben und mit deren Strömen in den einzelnen Stockwerken Glühlampen speisen, oder Bogenlampen brennen lassen, oder Elektromotoren treiben, so haben wir schon die Kraft der Gasmaschine oder, besser gesagt, die Arbeit, die die Gasmaschine leistet, in die verschiedenen Stockwerke übertragen und sie teils zur Beleuchtung, teils wieder zur Leistung von Arbeit (durch die Elektromotoren) verwendet. Man spricht aber in diesem Fall nicht von Kraftübertragung, weil die Entfernung zwischen der Stelle, wo die Kraft vorhanden ist, und denjenigen Stellen, wo sie nützliche Arbeit leistet, eine geringe ist, die man eventuell auch durch andere Transmissionsmittel überwinden könnte, sondern man spricht von eigentlicher Kraftübertragung erst dann, wenn die Ent-

fernungen so groß sind, daß man außer durch Elektrizität nur durch komplizierte Mittel, wie Druckluft oder Drahtseile, die Kraft überhaupt verwenden könnte. Prinzipiell ist aber natürlich ein Unterschied zwischen der Kraftübertragung auf geringe und auf große Entfernungen nicht vorhanden.

Bei der elektrischen Kraftübertragung werden zuerst durch Aufwendung von Arbeit, z. B. von einer Dampfmaschine oder einer Wasserkraft elektrische Ströme in einer Dynamomaschine erzeugt; diese werden durch eine Drahtleitung beliebig weit fortgeführt und in eine zweite Dynamomaschine, den Elektromotor, eingeführt und deren Anker wird dann durch sie in Drehung versetzt. Durch diese Drehung kann man dann die zweite Maschine Arbeit leisten lassen, indem man ihre Bewegung in gewöhnlicher Weise durch Riemen oder Zahnräder auf irgend eine Arbeitsmaschine überträgt. Da die beiden Dynamomaschinen, die stromgebende und die arbeitleistende, beliebig weit auseinander stehen können, so hat man damit also eine Übertragung der Arbeit von der ersten Stelle zur zweiten. Praktisch wird man eine solche Übertragung in der Weise anwenden, daß man die Ströme da erzeugt, wo die Betriebskraft billig ist, und auf elektrischem Wege Arbeit dort leistet, wo die Betriebskraft teuer ist. Es dient also diese elektrische Übertragung der Arbeit hauptsächlich dazu, um **W a s s e r k r ä f t e** an entfernten Stellen Arbeit verrichten zu lassen. Die Energie, welche von Wasserfällen und überhaupt von fließendem Wasser zum Treiben von Maschinen benutzt werden kann, wird ja von der Natur in unerschöpflicher Fülle direkt geboten, und die Benutzung derselben erfordert oft keine viel größeren Kosten als die der ersten Einrichtung. Wenn also auch bei der elektrischen Kraftübertragung auf einigermaßen weite Entfernungen 25 Proz. der Arbeit verloren gehen, so ist es doch in vielen Fällen von großem Vorteil, diese direkt dargebotenen natürlichen Kräfte zur Arbeitsleistung zu verwenden, die man sonst ganz unbenutzt lassen muß. In der Tat macht die Ausnutzung der **Wasserkräfte** auf elektrischem Wege sehr bedeutende Fortschritte. Zuerst hat man in der Schweiz eingesehen, daß man auf diese Weise die schwarze Kohle, die der Schweiz ja fehlt, durch die weiße Kohle, die Wasserkräfte, ersetzen kann. Und jetzt herrscht seit vielen Jahren in Deutschland sowohl wie in den meisten anderen Ländern das eifrige Bestreben, die **Wasserkräfte** elektrisch auszunützen. Die große Bedeutung dieser Kraftübertragung ist allmählich allgemein erkannt worden. Bei uns haben sich an dem Rheinfall bei Rheinfeldern, an der Isar, am Lech, an der Spree usw. allmählich ganze Industriestädte gebildet, welche ihre Kräfte auf elektrischem Wege erhalten.

Ferner ist es in vielen Fällen auch vorteilhaft, auf elektrischem Wege Kraft zu übertragen, wenn es gilt, eine Reihe von weit auseinander liegenden kleinen Maschinen zu betreiben. Erfahrungsgemäß stellt sich der Verbrauch an Kohlen für kleine Dampfmaschinen von wenigen Pferdekraften relativ ziemlich doppelt und dreifach so hoch, als für große Dampfmaschinen schon von 50 bis 100 Pferdekraften. Wenn man also statt einer Reihe von kleinen Dampfmaschinen eine große aufstellt und ihre Arbeit auf elektrischem Wege an verschiedene Orte verteilt, so kann man an Unterhaltungs- und Einrichtungskosten sparen. Im großen hat diese Verbindung

von zentralisierter Erzeugung der elektrischen Energie und ihrer Verteilung auf große Flächen in den letzten Jahren in immer steigendem Maße zur Errichtung von **Überlandzentralen** geführt. Man bildet nicht mehr eine Industriegegend in der Nähe von großen Wasserkraften, sondern man überträgt die elektrische Energie, sei es, daß man sie von Wasserkraften erhält oder durch Verbrennung von Kohlen, auf große Entfernungen und verteilt sie auf große Flächen und versorgt alle in dem Gebiet befindlichen Industrien mit ihr. Solche Überlandzentralen sind zunächst mit großem Erfolge in Oberschlesien und in Rheinland-Westfalen, jetzt aber in vielen Gegenden entstanden und diese versorgen Gebiete von mehr als 1500 Quadratkilometer mit elektrischen Strömen, die allen in diesem Gebiet ansässigen Industrien, auch kleinen Betrieben, sowohl für Kraft wie für Beleuchtung wie auch zum Teil den Kleinbahnen zugute kommen und die ebenso die Landwirtschaft mit Strom versorgen.

Die elektrische Arbeitsübertragung, wie sie eben skizziert wurde, erfordert notwendig eine Reihe von Maschinen. Erstens nämlich die Kraftmaschine, den Motor. Als solcher kann eine Turbine genommen werden oder eine Dampfmaschine oder eine Gasmaschine oder ein durch Wind oder Wasser getriebenes Rad. Von dieser Kraftmaschine wird die Bewegung auf eine Dynamomaschine übertragen, in welcher die mechanische Arbeit in Elektrizität umgewandelt wird. Diese Dynamomaschine nennt man die **primäre Maschine**. Von ihr aus werden dann die elektrischen Ströme durch Drähte fortgeleitet bis zu einer zweiten Dynamomaschine, der **sekundären Maschine**, deren Anker durch diese elektrischen Ströme in Drehung kommt und Arbeit leisten kann. Man braucht also in dieser Anordnung mindestens eine Kraftmaschine, eine primäre und eine sekundäre Dynamomaschine zu jeder elektrischen Kraftübertragung.

Untersuchen wir die Verhältnisse bei einer solchen Kraftübertragung etwas genauer!

Die gesamte Arbeit, die von der Dampfmaschine oder der Turbine in jeder Sekunde auf die erste Maschine übertragen wird, wird zu folgenden Leistungen benutzt:

Erstens dient sie dazu, die Reibungswiderstände der primären Dynamomaschine zu überwinden.

Zweitens erzeugt sie in den Metallmassen der primären Maschine Induktionsströme, sogenannte **Wirbelströme**, welche sich in Wärme umsetzen und die für die Arbeitsleistung, ebenso wie die Reibung nutzlos sind.

Drittens aber erzeugt sie in der primären Maschine eine elektromotorische Kraft, welche nun den Strom durch die ganze Leitung und in die sekundäre Maschine sendet.

Der gesamte Effekt des Stromes der primären Maschine in Watt ist gleich dieser elektromotorischen Kraft in Volt multipliziert mit der Stromstärke in Ampere. Aber von diesem ganzen Effekt wird ein Teil in der primären Maschine selbst verbraucht (er wird nämlich dort auch in Wärme umgesetzt), und derjenige Effekt, der von der Maschine nach **außen** abgegeben wird, in die Leitung und in die sekundäre Maschine,

ist nur gleich dem Produkt aus der Klemmenspannung der Maschine (welche kleiner ist als die elektromotorische Kraft) und der Stromstärke.

Dieser Effekt im äußeren Stromkreis wird nun zu folgenden zwei Leistungen verwendet. Erstens wird ein Teil in der Leitung zwischen der primären und sekundären Maschine dazu verbraucht, um diese zu erwärmen, wie wir später sehen werden. Diese Leistung wollen wir als *Leitungsverlust* bezeichnen. Sie hat offenbar wirtschaftlich nur die Bedeutung eines Verlustes und es ist unsere Aufgabe, sie möglichst zu verringern. Der übrige Teil des gesamten äußeren Effektes wird von der sekundären Maschine selbst absorbiert.

Wesentlich für die Leistung der Kraftübertragung ist nur der letztere Teil. An den Klemmen der sekundären Maschine herrscht eine bestimmte Klemmenspannung. Diese mit der Stromstärke multipliziert, gibt den Effekt in Watt, welcher von der zweiten Maschine aufgenommen wird.

Der von der zweiten Maschine aufgenommene Effekt wird nun einerseits nutzlos verwendet zur Überwindung von Reibungswiderständen und zur Erzeugung von Wärme; andernteils aber wird er nutzbar verwendet, nämlich zur Leistung derjenigen nützlichen Arbeit, welche eben gerade von der sekundären Maschine verlangt wird (beispielshalber zum Heben von Wasser).

Das Verhältnis der ganzen geleisteten Nutzarbeit der sekundären Maschine zur gesamten von der primären Maschine aufgenommenen Arbeit bezeichnet man als den *Nutzeffekt der ganzen Kraftübertragung*. Es ergibt sich ohne weiteres, daß dieser letztere Nutzeffekt um so größer wird, je geringer der Leitungsverlust ist. Der Leitungsverlust ist aber um so geringer, je kleiner die Stromstärke ist.

Um daher mit geringem Leitungsverlust, also geringer Stromstärke, doch große Arbeitsmengen übertragen zu können, ist es notwendig, die *Spannung* der angewendeten Ströme sehr hoch zu machen. Denn die Arbeit, die eine Dynamomaschine leisten oder aufnehmen kann, hängt ja ab von dem Produkt aus ihrer Spannung und ihrer Stromstärke. Soll also letztere klein sein, so muß erstere groß sein, um dieselbe Arbeitsgröße zu repräsentieren.

Es ist z. B. in einer Kraftübertragungsanlage in der Schweiz auf eine Entfernung von 8 km gemessen worden, daß

die Klemmenspannung an der primären Maschine 1753,3 Volt,

die Klemmenspannung an der sekundären Maschine 1655,9 Volt

betrug, also war der Spannungsverlust auf der 8 km langen Leitung 97,4 Volt, und das Verhältnis der beiden Klemmenspannungen, von dem

der Nutzeffekt abhängt, war $\frac{1655,9}{1753,3} = 0,944$.

Wäre nun die Leitung doppelt so lang, 16 statt 8 km, so würde der Spannungsverlust in der Leitung 194,8 Volt betragen. Um trotzdem dasselbe Verhältnis der Klemmenspannungen zu bekommen, würde man bloß beiden Maschinen nahezu die doppelte Klemmenspannung zu erteilen brauchen, der ersten etwa 3480 Volt, der zweiten also 3285,2 Volt. Dann wäre trotz des größeren Spannungsverlustes in der Leitung der

Nutzeffekt derselbe, wie in dem angeführten Fall, nämlich $\frac{3285,2}{3480} = 0,944$.

Es lassen sich also auch große Energiemengen auf große Entfernung mit erheblichem Nutzeffekt übertragen, wenn man nur bewirkt, daß beide Maschinen sehr hohe Spannungen haben.

Hohe Spannungen aber lassen sich viel leichter mit Wechselstrommaschinen erzeugen, als mit Gleichstrommaschinen, weil bei den letzteren der Kollektor ein sehr gefährlicher Teil der Maschine ist und dieser bei den Wechselstrommaschinen ganz fehlt. An dem Kollektor nämlich können die hohen Spannungen leicht Funken erzeugen, die von den leitenden Lamellen über die zwischenliegenden isolierenden Stücke springen und durch welche der Spannung eine Grenze gesetzt ist. Deswegen eignen sich zur Kraftübertragung auf größere Entfernungen die Wechselstrommaschinen bedeutend besser als die Gleichstrommaschinen. Insbesondere aber sind es die **Drehstrommaschinen** (oben S. 94), welche für diese Zwecke benutzt werden. Diese liefern ja ein System von drei Wechselströmen verschiedener Phase und es hat sich gezeigt, daß man für solche Drehströme Elektromotoren konstruieren kann, die ganz besonders einfach und leistungsfähig sind. Derartige Motoren bezeichnet man als **Drehstrommotoren**. Die Kraftübertragung durch hochgespannten Drehstrom wurde zuerst (1891) von der **Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (A.E.G.)** in Berlin und der Maschinenfabrik **Oerlikon** eingeführt.

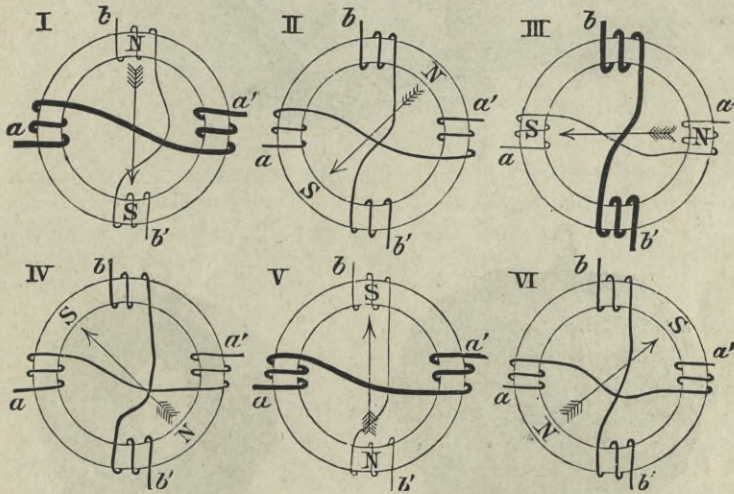
Das Prinzip, auf dem die Motoren für Drehstrom beruhen, ist an sich ein sehr interessantes. Es wird bei ihnen gerade der Phasenunterschied zweier oder mehrerer Wechselströme ausgenutzt.

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. 97 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 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

Fig. 97.



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. 98 zeigt einen solchen Ring, mit drei Rollenpaaren R_1 bis R_6 umwunden, von denen je zwei passend miteinander verbunden sind, und durch die Drehströme fließen können. Die mit einer Fahne versehene Metallscheibe fff , die im Innern drehbar aufgesetzt ist, kommt dabei in rasche Rotation.

Auf diesem Prinzip beruhen nun die Drehstrommotoren. Von solchen Drehstrommotoren zeigt Fig. 99 eine Abbildung, einen Motor der A.E.G. in Berlin. Der äußere Mantel dieser Motoren, der in Fig. 100 besonders gezeichnet ist, ist aus einem Eisenring gebildet,

Fig. 98.

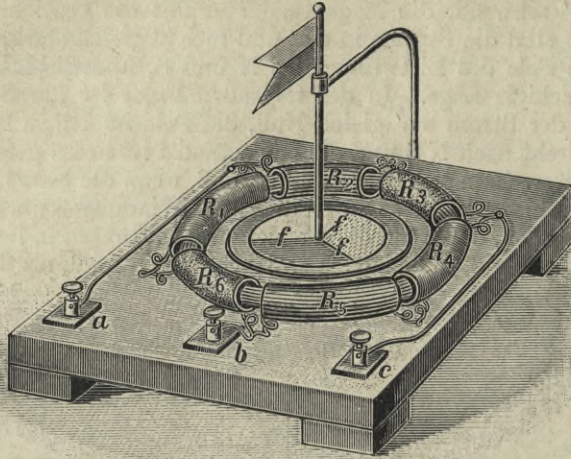


Fig. 99.

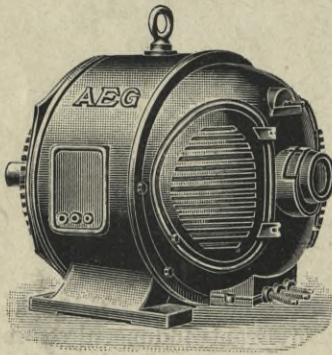
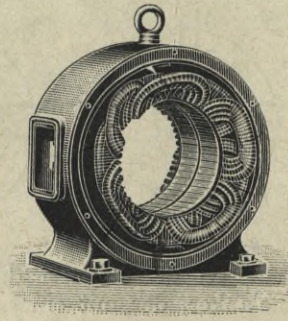


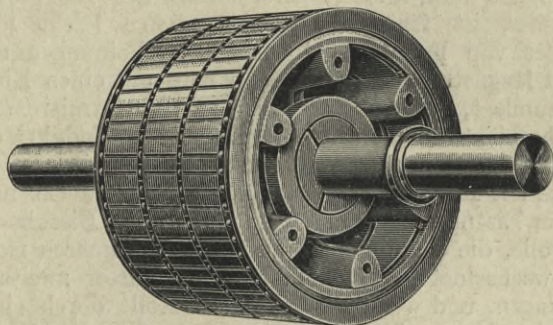
Fig. 100.



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. 101 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. Bei diesen Drehstrommotoren, die man auch Induktionsmotoren nennt, wird also die Achse des Ankers in gewöhnlicher Weise mit den Arbeitsmaschinen verbunden, indem sie etwa eine Riemenscheibe trägt, auf welche der Riemen nach der Arbeitsmaschine gelegt wird, oder indem sie mit Zahn-

rädern versehen wird oder dergleichen. Sie sind daher die einfachsten Motoren, die man sich denken kann, einfacher selbst als die Gleichstrommotoren, so daß mit ihrer Erfindung die Arbeitsleistung durch Wechselströme einen großen Fortschritt gewonnen hat. Um einen solchen Motor einzuschalten,

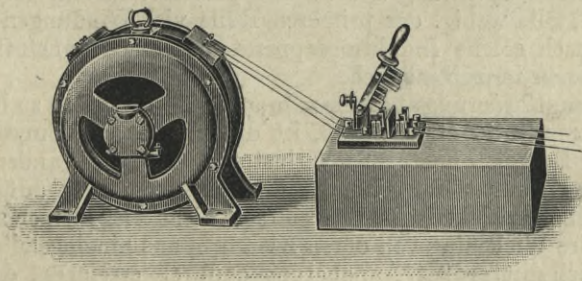
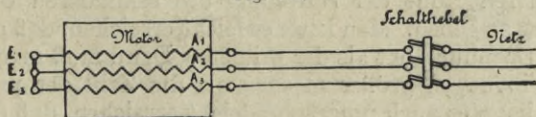
Fig. 101.



läßt man, wie Fig. 102 zeigt, die drei Leitungen, welche aus dem Drehstromnetz (von der primären Maschine, gewöhnlich in Zentralstationen erzeugt) kommen, zuerst durch einen Schalthebel gehen, durch den man die Ströme in die festen Wickelungen des Motors einschaltet.

Mit diesen Drehstrommotoren kann man also die Drehströme auch zur Arbeitsleistung anwenden und dadurch die Vorteile völlig ausnützen,

Fig. 102.



welche diese Ströme vor den Gleichströmen, wie erwähnt, in Bezug auf die billige Fortleitung der elektrischen Energie besitzen.

Indes ist hier noch ein Umstand zu berücksichtigen. Wenn man auch elektrische Energie von der Erzeugungsstelle aus billig in die Ferne leiten kann, indem man sie in der Form von hochgespannten Strömen mit verhältnismäßig geringer Stromstärke erzeugt, so ist damit noch nicht alles geleistet. Denn an der Verbrauchsstelle braucht man gewöhnlich um-

gekehrt Ströme von großer Stärke und kann andererseits hohe Spannungen nicht gut anwenden, weil diese zu gefährlich sind. Es tritt also hier eine neue Aufgabe hervor, nämlich die, einen Strom zu transformieren, ihn von hoher Spannung und geringer Intensität zu bringen auf geringe Spannung und große Intensität.

Diese Aufgabe nun, die Transformation der Energie eines elektrischen Stromes, ist für Wechselströme leicht lösbar durch Anwendung der von Faraday entdeckten Erscheinungen der Elektroinduktion und Magnetoinduktion. Wenn man um einen Eisenkern eine Drahtrolle herumlegt, durch die man den zu transformierenden Wechselstrom hindurchschickt und die wir, wie früher bei den Induktionsapparaten, 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 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, 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 durch solche Induktionsapparate 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 Wickelung in den äußeren Stromkreis abzugebende elektrische Energie soll nicht viel kleiner sein, als die in die primäre Wickelung von deren Klemmen aus hineingeleitete Energie. Dies läßt sich mit großer Annäherung dadurch erreichen, daß man die beiden Wickelungen, die primäre und die sekundäre, auf einen ringförmig geschlossenen Eisenkern bringt. Dieser Eisenkern wird dann durch die Wechselströme, die die primäre Wickelung 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 Wickelung und dadurch wird die Änderung der Magnetisierung des Eisens vollständig zur Erzeugung der Induktionsströme ausgenutzt. Ganz gleich lassen sich die Energien des

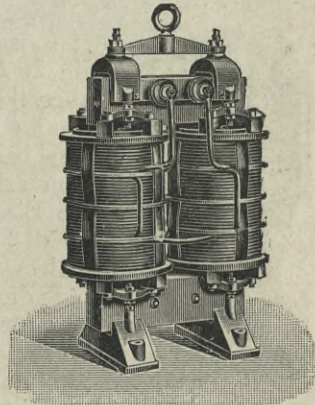
primären und sekundären Kreises allerdings nicht machen, ein Verlust an Energie muß notwendig eintreten, zunächst infolge der Erwärmung der beiden Wickelungen und des Eisenkerns durch den Strom, resp. die Wirbelströme, ferner aber durch die Hysterese des Eisens, von der wir schon S. 40 gesprochen haben.

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 Transformatoren sind nun diese Verluste so gering gemacht, daß der Wirkungsgrad bis zu 96 Proz. steigt, 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. 103. 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 aneinandergelegten 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. Man unterscheidet bei jedem Transformator die Leitungen von den beiden Wickelungen als Hochspannungs- und Niederspannungsleitungen, letztere wird auch als Verbrauchsleitung bezeichnet. Alle beide gehen natürlich in Klemmen aus, die am Gehäuse angebracht sind.

Fig. 103.

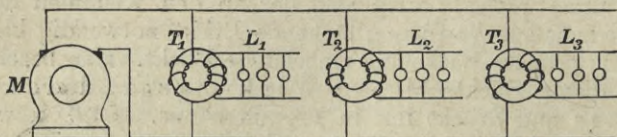


Die Transformatoren werden jetzt gewöhnlich für Wechselströme von 80 bis 100 Polwechseln in der Sekunde gebaut. Die primäre Spannung kann bei den einzelnen Nummern zwischen 5000 und 10 000 Volt betragen und diese wird durch den Transformator heruntersetzt je nach Wunsch auf 115, 230, 525 Volt. Die Transformatoren arbeiten, wie gesagt, mit einem Wirkungsgrad von zirka 96 Proz., wenn die sekundäre Spule ihre Maximalstärke abgibt oder, wie man sagt, vollständig belastet ist.

Wenn bei einer solchen Kraftübertragung durch Wechselstrom auf größere Entfernungen verschiedene Orte oder Stellen vorhanden sind, an denen man durch Transformatoren aus einem hochgespannten Strom niedriggespannten erzeugen und entnehmen will, so schaltet man die Transformatoren alle parallel in die Hochspannungsleitung ein und nimmt von der sekundären Wickelung eines jeden den niedrig gespannten Strom ab. So zeigt Fig. 104 eine Dynamomaschine M, welche hochgespannten Strom in die beiden Hauptleitungen sendet. Zwischen diese Leitungen sind die Transformatoren T_1 , T_2 , T_3 , d. h. ihre primären

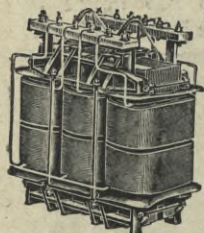
Wickelungen parallel geschaltet, und von den sekundären Wickelungen derselben gehen die einzelnen Leitungsnetze L_1 , L_2 , L_3 aus, welche ganz unabhängig voneinander sind und in die man Motoren oder Lampen in gewöhnlicher Weise parallel einschaltet.

Fig. 104.



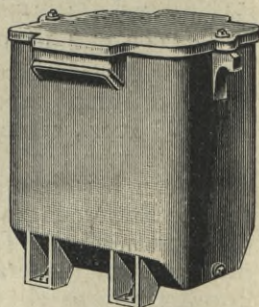
Ein besonderer Fall der Wechselstromtransformatoren sind die Drehstromtransformatoren. Unter Drehstrom versteht man ja ein System dreier Wechselströme, welche gegeneinander Phasenunterschiede haben. Man kann die drei Wechselströme transformieren, indem man jeden durch einen besonderen Transformator gehen läßt. Die transformierten Ströme haben dann denselben Phasenunterschied, wie die eingeleiteten primären Ströme.

Fig. 105.



Man kann jedoch auch die drei Transformatoren in einem Apparat vereinigen, wie bei dem in Fig. 105 abgebildeten Drehstromtransformator der A.E.G. 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 geschlossen ist, also geschlossene Magnete bildet. Auf der einen Seite sind die Anschlußklemmen für die Hochspannungslleitung (dünner Draht für den schwachen, hochgespannten Strom), auf der anderen diejenige für die Nutzleitung (dicker Draht für den starken, niedriggespannten Strom). Der ganze Apparat wird gewöhnlich in einen Kasten aus Eisen gestellt, welcher mit Öl gefüllt ist, wie ihn Fig. 106 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.

Fig. 106.



Die Drehstrommaschinen mit Transformatoren und die Drehstrommotoren haben der Elektrizität in den letzten Jahren auch mehr und mehr 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

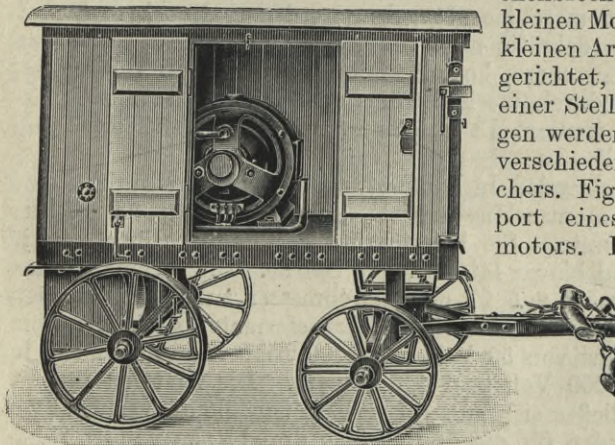
geeignet. Die Drehstromdynamo wird dabei, wenn Wasserkräfte vorhanden sind, am besten von einer solchen getrieben, sonst müssen Dampfmaschinen oder auch Lokomobile zum Betrieb derselben aufgestellt werden. Dabei hat es sich in vielen Fällen als sehr vorteilhaft erwiesen, eine gemeinsame Anlage zur Erzeugung des Stromes für mehrere benachbarte Güter einzurichten. Die Gleichstrommaschine zur Erregung der Magnete der Drehstrommaschine wählt man dabei zweckmäßig gleich größer, damit sie auch zum Laden von Akkumulatoren ausreicht, durch die die Wohnhäuser beleuchtet werden. Die Hochspannungsleitung wird nun auf den Feldern auf Stangen verlegt und sie hat an geeigneten Stellen Anschlüsse zur Einschaltung eines Transformators, durch den man dann den niedrig gespannten Nutzstrom erzeugt. Man macht dabei auch die Transformatoren fahrbar, um sie von einer Stelle zur anderen bequem transportieren zu können.

Fig. 107.



Dadurch kann man auf freiem Felde Elektromotoren betreiben, die etwa zum Pflügen und Mähen benutzt werden. In dem Hof werden die Motoren zum Antrieb von Dreschmaschinen, Buttermaschinen, Häckselschneidemaschinen, Schrotmühlen,

Fig. 108.



Pumpen, Rübenschnidern, Kuchenbrechern usw. benutzt. Die kleinen Motoren für viele dieser kleinen Arbeiten werden so eingerichtet, daß sie leicht von einer Stelle zur anderen getragen werden können, z. B. in die verschiedenen Räume eines Speichers. Fig. 107 zeigt den Transport eines solchen Speicher-motors. Für den elektrischen

Betrieb von Dreschmaschinen, der bedeutende Vorteile gegenüber dem Betrieb mit Lokomobilen hat, und der auch schon bei so kleinen Maschinen

vorteilhaft ist, für die sonst Göpelbetrieb angewendet wurde, hat die A.E.G. einen besonderen Dreschmotorwagen konstruiert, der in Fig. 108 abgebildet ist. Er enthält in seinem mittleren Teile den Elektromotor, im hinteren die Anlaßapparate und Werkzeuge, im vorderen ein

50 m langes Anschlußkabel. Der ganze Wagen bleibt im allgemeinen während des Betriebes geschlossen, nur die Riemenscheibe des Elektromotors, welche mit der Dreschmaschine verbunden wird, ragt heraus und hinten ein Handrad, welches zur Ein- und Ausschaltung des Stromes dient. 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 ungetriebenen Arbeitskräfte auf dem Lande sind die Schaltungen so ausgeführt, daß sie unmöglich falsch bedient werden können. In derselben, für den praktischen Betrieb angemessenen Weise sind auch elektrische Pflüge eingerichtet, deren Vorteil vor den Dampfplügen darin besteht, daß sie sehr einfach zu bedienen sind und daß ihnen weder Kohle noch Wasser zugeführt zu werden braucht.

Die Möglichkeit der Transformation von niederer Spannung auf hohe und von hoher Spannung auf niedrige macht ferner die Wechselströme und Drehströme ganz besonders geeignet zur Übertragung von Arbeit auf sehr weite Entfernungen. Man hat eben bei ihnen die hohen Spannungen nur in der Leitung und kann an allen Verbrauchsstellen niedrig gespannten Strom von hoher Intensität durch Transformation erhalten.

Wie weit man auf diese Weise kommen kann, das lehrten zuerst die berühmten Versuche, die im Jahre 1891 von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin in Verbindung mit der Maschinenfabrik Oerlikon angestellt wurden, wobei diese Firmen eine Kraftübertragung von Lauffen a. N. nach Frankfurt a. M., bei einer Entfernung von 175 km, mit sehr gutem Erfolg installierten.

Es sollten von einer Wasserkraft in Lauffen zirka 200 Pferdekräfte an die dortige Dynamomaschine abgegeben werden und es kam darauf an, möglichst viel Pferdekräfte nach Frankfurt zu bringen. Dazu war eine für damalige Zeiten enorm hohe Spannung, zirka 15 000 Volt, nötig, und diese konnte nur durch Wechselströme oder Drehströme mit Transformatoren hergestellt werden. Es wurde nun bei dieser Kraftübertragung der Drehstrom gewählt.

Die Anlage war folgende. In Lauffen wurde durch eine Turbine eine große Drehstromdynamomaschine getrieben, welche bis zu 300 Pferdekräfte aufnehmen konnte. Sie lieferte drei getrennte Ströme von je 50 Volt Spannung und bis zu 1400 Ampere Stärke. Die Ströme wurden durch kurze Kupferkabel von 27 mm Durchmesser zu einem primären Drehstromtransformator, und zwar einem Öltransformator, gesendet. Dort wurden die drei Ströme von 50 Volt und 1400 Ampere transformiert in Ströme von etwa 15 000 Volt und 4,3 Ampere. Die letzteren Ströme von nur 4,3 Ampere ließen sich nun auf verhältnismäßig dünnen Drähten weiterleiten. Es wurden für die drei Ströme drei blanke Kupferdrähte von je 4 mm Durchmesser benutzt, welche nun, wie Telegraphenleitungen, von Lauffen nach Frankfurt geführt wurden. Es wurden dazu zirka 3000 Stangen verwendet.

Die in Frankfurt ankommenden hochgespannten Ströme wurden nun durch weitere Öltransformatoren wieder zurücktransformiert auf

etwa 100 Volt, so daß sie dann wieder Stärken bis zu 700 Ampere erhielten. Ein Teil dieser Ströme wurde zur Speisung von 1000 Glühlampen benutzt, ein anderer Teil derselben betrieb einige Drehstrommotoren. Von den letzteren setzte einer eine Pumpe in Bewegung, durch welche ein Wasserfall von 10 m Höhe in Frankfurt gespeist wurde. So war ein Teil der Energie des Wasserfalls in Lauffen nach vielen Umformungen und nach einem zurückgelegten Weg von 175 km wieder in die Energie eines Wasserfalls in Frankfurt verwandelt.

Angestellte Messungen ergaben, daß 74 Proz. von der Energie des Lauffener Wasserfalls in Frankfurt wieder nutzbar verwendet werden konnten.

Dieser große Versuch hat klar gezeigt, daß die Ausführung solcher elektrischer Kraftübertragungsanlagen mit hohem Nutzeffekt überall und auf alle in Betracht kommenden Entfernungen möglich ist. Wo also die Herleitung von Energie aus der Ferne sich rechnerisch lohnt, da besteht auch keine Schwierigkeit in der praktischen Ausführung der Anlage, und in der Tat sind bereits eine sehr große Zahl von Kraftübertragungsanlagen mit ausgezeichnetem Erfolge ausgeführt, bei denen normal eine Spannung von 10 000 Volt in den Leitungsdrähten herrscht. Dabei werden die primären Drehstromdynamos jetzt selbst für so hohe Spannungen gebaut, daß man nicht mehr, wie bei dem geschilderten Versuch zwischen Lauffen a. N. und Frankfurt a. M., einen primären Transformator braucht. Durch den Wegfall dieses primären Transformators wird der Nutzeffekt der Kraftübertragung noch verbessert. Aber das Bestreben der Elektrotechnik geht weiter, zu noch viel höheren Spannungen, und es liegen in der Tat schon Anlagen vor mit 50 000 bis 100 000 Volt Spannung. So wurde von den Siemens-Schuckertwerken eine Kraftübertragung mit Drehstrom von 50 000 Volt Spannung zwischen Moosburg und München ausgeführt, bei der 4200 Kilowatt (5700 Pferdekkräfte) auf 54 km übertragen werden, und in neuerer Zeit ist von ihnen in Spanien eine solche Kraftübertragung mit 66 000 Volt eingerichtet worden, welche 30 000 Pferdekkräfte von Molina nach Madrid, Cartagena, Alcoy und Valencia überträgt. Die Aktiengesellschaft Lauchhammer hat eine Kraftübertragung von 100 000 Volt Spannung in Betrieb genommen. In Amerika sind schon Kraftübertragungsanlagen mit mehreren hunderttausend Volt Spannung ausgeführt. Bei uns begnügt man sich bisher in den meisten Fällen mit Kraftübertragungen auf solche Entfernungen, bei denen man mit 5000 bis 10 000 Volt Spannung noch wirtschaftliche Resultate erzielt.

Alle unsere bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf feststehende Kraftübertragungsanlagen. Nicht bloß die primäre Dynamomaschine mit ihrer Dampfmaschine oder Turbine war fest an einem bestimmten Ort, sondern auch die sekundäre Dynamomaschine, welche die Arbeit leistete, behielt ihren bestimmten Platz an einer von der ersten entfernten Stelle.

Seitdem aber 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 Mög-

lichkeit vor, die Elektrizität zur Beförderung von Eisenbahnen, Tram-
bahnen, Booten u. dergl. 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 eine Dynamomaschine, 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.

Es ist also dieses Problem der elektrischen Eisenbahn ein spezieller Fall des Problems der elektrischen Kraftübertragung. Ein elektrischer Strom wird irgendwo erzeugt (durch eine Dynamomaschine, die irgendwo in der Nähe der Bahn steht), er wird in den Motor des Eisenbahnwagens eingeleitet und dadurch kommt dieser in Bewegung. Das ist also prinzipiell nichts anderes als jede andere elektrische Arbeitsleistung.

Aber bei dieser speziellen Aufgabe tritt die besondere Schwierigkeit auf: Wie soll man dem Eisenbahnwagen (dem Motor) den elektrischen Strom zuführen? Bei einer feststehenden Kraftübertragungsanlage hat man eine bestimmte Entfernung zwischen der primären Dynamomaschine und dem Elektromotor und man kann diese daher durch festliegende Drähte verbinden. Bei einer elektrischen Eisenbahn aber bewegt sich der Motor, und sein Abstand von der primären Dynamomaschine ist kein fester, er bewegt sich entweder von der primären Maschine fort oder zu ihr hin, es muß also auch die Leitung für den Strom veränderliche Lage haben. In der Tat ist dies die wichtigste Frage bei dem elektrischen Eisenbahnbetrieb.

Der nächste Gedanke ist natürlich der, daß man die Schienen selbst zur Leitung des Stromes benutzt, und auf diese Weise wurde auch von Siemens & Halske ihre erste elektrische Eisenbahn eingerichtet.

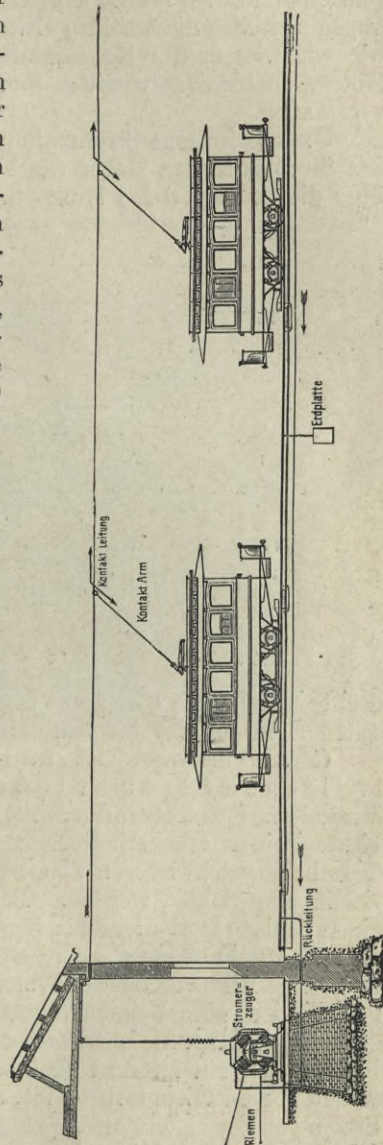
Doch zeigte es sich bald, daß das im allgemeinen nicht gut angeht. Bei nassem Wetter nämlich und wenn zerfließender Schnee zwischen den Schienen liegt, sind die Schienen leitend verbunden, und es wird dadurch der Strom, der von der Dynamomaschine kommt, stark geschwächt. Deshalb begann man bald nach anderen Mitteln zu suchen, um den Strom in einen Wagen sicher und ohne Verluste einzuführen.

Im Laufe der Entwicklung der elektrischen Eisenbahn hat sich hauptsächlich eine Methode für die Zuleitung des Stromes bewährt, nämlich die Methode der oberirdischen Zuführung des Stromes. In einigen wenigen Fällen ist statt dieser das System der unterirdischen Zuführung ausgeführt worden.

Die oberirdische Stromzuführung wurde schon von Siemens & Halske bei einer ihrer ersten Anlagen, nachdem sich die Schienenleitung als unzweckmäßig erwiesen hatte, eingeführt, wurde aber dann namentlich in Amerika, wo das elektrische Straßenbahnsystem die meisten Fortschritte gemacht hat, weiter ausgebildet und ist von dort wieder nach Europa übergegangen, wo es jetzt in der weitaus größten

Zahl aller Fälle angewendet wird. Bei diesem System wird über den Schienen ein besonderer blanker Draht ausgespannt, mit welchem der eine Pol der Dynamomaschine 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 fortdauernd und leitet dadurch den Strom in den Wagen, also in den im Wagengestell befindlichen Elektromotor. Von diesem aus geht er dann durch die Schienen wieder zur Dynamomaschine 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. 109 erkennt. Links steht die primäre Dynamomaschine; die beiden Hauptleitungen, die von dieser ausgehen, sind: oben der Fahrdraht, unten die Schienen, und zwischen beiden sind alle Wagenmotoren nebeneinander geschaltet.

Fig. 109.



Es befindet sich also bei diesem System auf der Decke jedes Wagens ein Arm, gewöhnlich aus Stahlrohr gefertigt, welcher oben eine Kontaktrolle trägt, die längs 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 Arbeitsdraht abspringen kann. Fig. 110 zeigt einen großen Wagen mit zwei solchen Gleitbügeln, welche zwei Motoren den Strom zuführen.

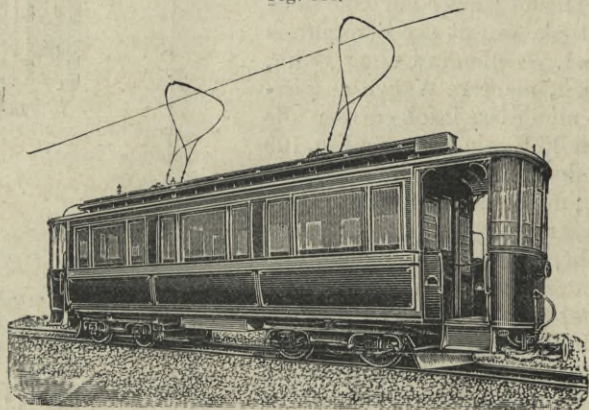
Da die Schienen immer die Rückleitung des Stromes zur Station übernehmen müssen, so muß man dafür sorgen, daß die einzelnen Stücke derselben in gutem Kontakt miteinander stehen. An den Stößen werden

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. Da die einzelnen Trambahnwagen zwischen diese beiden Leitungen parallel geschaltet sind, so genügt, wie wir wissen, das Konstanterhalten der Spannung, um einem jeden Motor, unabhängig von den anderen, den ihm notwendigen Strom zu verschaffen.

Die oberirdische Stromzuführung liefert zwar eine sichere Zuleitung des Stromes in den Motor des Trambahnwagens. Aber die Drähte, die über die Straßen dabei laufen müssen und namentlich die vielen Quer-

Fig. 110.



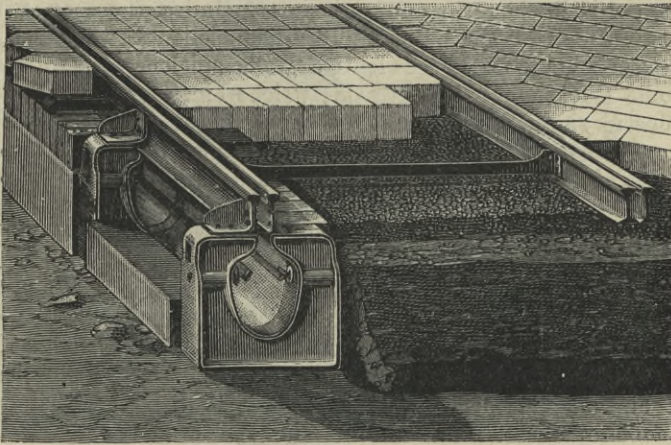
drähte, welche den Fahrdrabt tragen, stören unter Umständen den ästhetischen Eindruck der Straßensbilder.

Gerade deswegen ist man in einigen Fällen zu der unterirdischen Stromzuführung übergegangen, bei der eine solche Veränderung des Straßensbansblicks ganz vermieden ist, allerdings auf Kosten einer sehr erheblichen Verteuerung der Anlage. Ein solches Trambahnssystem ist von Siemens & Halske in Budapest, in Wien und in Berlin eingerichtet worden. Bei dieser Anlage befindet sich unter der einen Schiene fortlaufend ein Kanal, wie aus Fig. 111 ersichtlich ist, dessen oberen Abschluß eben die eine Schiene bildet. Dieselbe besitzt in der Mitte eine Rille von 33 mm Weite, durch welche also der Kanal zugänglich ist. In dem Kanal sind nun zwei nackte Leitungen aus dickem Winkel-eisen angebracht, die unterhalb der einen Schiene laufen. Zwischen diesen bewegt sich ein an dem Trambahnwagen befestigtes Kontaktschiffchen, welches in der Mitte isoliert ist, die beiden Leitungen berührt und so den Strom von der einen Leitung nach oben in den Motor des Trambahnwagens führt und ihn von diesem zur anderen Leitung zurückführt. Die beiden Leitungen haben eine Spannungsdifferenz von 300 Volt. Die Anlagekosten sind bei diesem System natürlich höhere, weil der Kanal unterhalb des Straßenniveaus geführt werden muß. Besondere Vorrichtungen müssen dabei getroffen werden, um den Kanal von Wasser und Schnee und Schmutz

zu befreien. Für deutsche Verhältnisse, bei den häufig sehr schneereichen Wintern und regenreichen Sommern, hat sich allerdings die unterirdische Stromzuführung nicht besonders bewährt. Gewöhnlich wird diese unterirdische Stromzuführung nur in den eleganten Straßen einer Stadt eingerichtet, während in den äußeren Stadtteilen der Fahrdraht gespannt wird. Beim Übergang von der äußeren in die innere Stadt muß dann der Kontaktarm oder Gleitbügel umgelegt und dafür das Kontaktschiffchen zwischen die Schienen hinabgelassen werden.

Als Motoren werden für elektrische Trambahnen gewöhnlich Hauptstrommotoren gewählt, die ganz in eine Eisenhülle eingeschlossen werden, um durch den Straßenschmutz nicht gebrauchsunfähig zu werden. Die Übertragung der Bewegung von der Achse des Motors auf die Wagen-

Fig. 111.



räder 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.

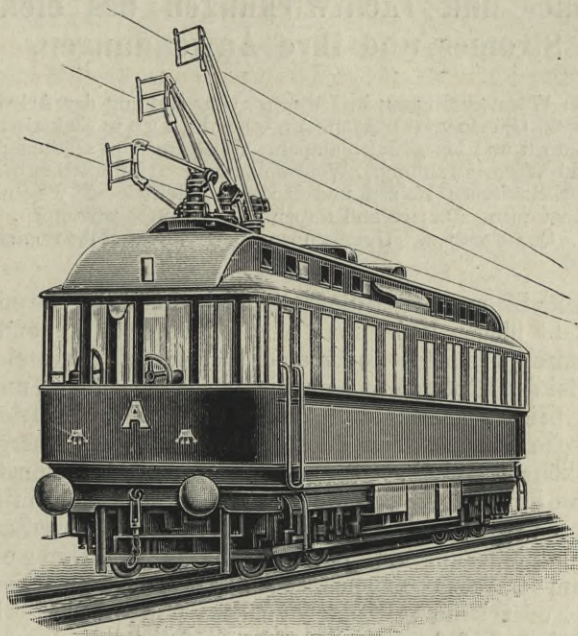
Natürlich herrscht in der elektrischen Industrie seit langer Zeit das Bestreben, die Elektrizität nicht bloß in den Trambahnbetrieb, sondern auch in den Betrieb der großen Eisenbahnen, für den Fernverkehr, einzuführen. Aber für den Fernbetrieb braucht man hier, ebenso wie bei der gewöhnlichen Kraftübertragung, hohe Spannungen, um geringe Verluste in der Leitung zu haben. Und für hohe Spannungen ist, wie gesagt, nur der Wechselstrom resp. Drehstrom geeignet. Der Drehstrom aber hat für Fernbahnen wegen der drei Leitungen, die dabei geführt werden müssen, erhebliche Schwierigkeiten, so daß in Wirklichkeit Drehstrombahnen nur für kurze Bahnstrecken, insbesondere für Gebirgsbahnen (z. B. die Jungfraubahn) eingeführt wurden. Für den gewöhnlichen Wechselstrom, den sogenannten Einphasenstrom, hat man lange nicht einen geeigneten Elektromotor herstellen können, welcher ebenso leistungsfähig

wäre wie der Gleichstrommotor oder der Drehstrommotor. Erst in den letzten Jahren ist dies gelungen. Eine gewöhnliche Gleichstrommaschine nämlich, mit Hauptstromschaltung, wird auch durch Wechselströme als Motor angetrieben, weil mit der Umkehrung der Stromrichtung im Anker sich zugleich auch die Pole der Feldmagnete umkehren. Nur muß man hier besondere Einrichtungen treffen, um die starke Funkenbildung an den Bürsten zu beseitigen. Seit einigen Jahren werden derartige Wechselstrommotoren, sogenannte Kollektormotoren, von den großen Fabriken zu immer größerer Vollkommenheit gebracht, und sie sind jetzt schon so leistungsfähig geworden, daß man daran geht, Teile der großen Eisenbahnlینien elektrisch zu betreiben. Die Bahn von Dessau bis Bitterfeld wird jetzt schon derartig elektrisch betrieben und die Fortsetzung dieser elektrischen Bahn einerseits bis Leipzig, andererseits bis Magdeburg steht bevor. Es wird bei diesen Bahnen Einphasenstrom von 15 000 Volt Spannung benutzt. Indes kommen bei dieser Elektrisierung der großen Bahnen außer finanziellen Erwägungen, welche hierbei natürlich eine sehr gewichtige Rolle spielen, insbesondere auch militärische Rücksichten in Betracht, welche einer solchen Umwandlung nicht günstig sind. Es ist nämlich zu beachten, daß eine elektrische Bahn im Kriegsfall viel leichter zu beschädigen und unbrauchbar zu machen ist, als eine Dampfbahn. Durch das Zerschneiden der Stromzuführungsdrähte ist der elektrische Betrieb sofort auf weite Strecken lahm zu legen, während bei den Dampfbahnen das Aufreißen der Schienen doch nur lokale Störungen auf mehr oder minder große Strecken hervorbringt. Diesem Gesichtspunkt läßt sich, wie der furchtbare Krieg beweist, eine sehr erhebliche Bedeutung nicht absprechen. Die Hoffnung, die die Elektrotechnik hatte, daß unser ganzes Bahnsystem elektrisiert werden würde, erscheint jetzt durchaus illusorisch. Dagegen fallen natürlich bei einzelnen wichtigen Bahnen, wie z. B. bei der Berliner Stadt- und Ringbahn, diese Bedenken fort und ihre Umwandlung in elektrischen Betrieb wird wohl in nicht allzulanger Zeit erfolgen.

Die elektrischen Bahnen bieten aber in anderer Weise die Möglichkeit, ganz neue Formen des Fernverkehrs zu schaffen. Im allgemeinen eignen sich nämlich die elektrischen Bahnen, da bei ihnen jeder einzelne Wagen einen Motor besitzen kann, also jeder selbst eine Lokomotive ist, viel mehr zum Einzelbetrieb als zum Massenbetrieb. Rasch aufeinander folgende einzelne Wagen, jeder mit einer beschränkten Zahl von Personen, wie sie gerade bei Straßenbahnen eingeführt sind, und mit großer Geschwindigkeit laufend, können auch für größere Entfernungen eingeführt werden, und dafür ist die elektrische Bahn der Dampfbahn überlegen. Insbesondere aber hat man versucht, mittels der Elektrizität die Schnelligkeit der Bahnen zu erhöhen. Vor fünfzehn Jahren hat sich in Berlin eine Gesellschaft für elektrische Schnellbahnen gebildet, welche sich das Ziel steckte, elektrische Bahnen zu bauen, welche mit 200 Kilometer per Stunde Geschwindigkeit fahren. Dieses Ziel hat sie im Jahre 1903 in glänzender Weise erreicht. Sie hatte zwei Schnellbahnwagen, von denen der eine von Siemens & Halske, der andere von der A.E.G. gebaut war, und beide lösten tadellos die Aufgabe, mit einer Geschwindigkeit von über 200 Kilometern pro Stunde zu fahren.

Der Strom wurde bei diesen Fahrten, welche zwischen Zossen und Lichterfelde stattfanden, auf drei Fahrdrähten dem Wagen zugeführt, und zwar war es Drehstrom mit 10 000 bis 15 000 Volt Spannung. Fig. 112 zeigt einen dieser Schnellbahnwagen. Durch je drei kurze Kontaktstücke wurde der Strom von den Fahrdrähten abgenommen und in das Innere des Wagens geleitet. Die Stromabnehmer mußten natürlich besonders

Fig. 112.



konstruiert sein, um trotz der großen Geschwindigkeit immer sicheren Kontakt zu machen. Die Kontaktarme nehmen, wie man sieht, den Strom nicht von oben, sondern von der Seite ab. Der hochgespannte Strom wird im Innern des Wagens durch Transformatoren in niedrig gespannten verwandelt und dieser geht in die Drehstrommotoren ein. Es ist zu hoffen, daß diese großartigen und kühnen Versuche dem Eisenbahnwesen allmählich neue Formen geben werden. Das Bessere wird hier wie überall der Feind des Guten werden, und wenn erst einmal nach dem Kriege neues Leben aus den Ruinen blühen und eine glücklichere Zeit anbrechen wird, dann wird schnellster Verkehr die Losung sein, und die Elektrizität wird ein neues umfassendes Gebiet ihrer Anwendung erobert haben.

7. Kapitel.

Die Wärme- und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen.

Inhalt: Wärmeerzeugung in Leitern. Umwandlung der Arbeit in Wärme, Joulesches Gesetz. Glühen von Drähten. **Anwendungen:** Elektrisches Glühlicht. Kohlenfadenlampen und Metallfadenlampen. Schaltung von Glühlampen. Gesetze der Licht- und Wärmestrahlung. Wolframlampen. Halbwattlampen. Schalter, Sicherungen. Elektrisches Heizen und Kochen. Elektrisches Bogenlicht. Regulierung. Bogenlampen. Dauerbrandlampen. Flammenbogenlampen. Quecksilberbogenlampen. Quarzlampen. Uviolampen. Künstliche Höhensonne.

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

Tritt nun in den leitenden Körpern, wenn ein Strom in ihnen fließt, gar keine Veränderung ein? Bleiben die Leiter ganz unverändert? Zeigt sich die ganze Wirkung des Stromes nur in der Umgebung der Leiter, indem sie dort magnetische oder elektrodynamische Effekte hervorbringt, oder kann man auch an dem Leiter selbst erkennen, daß ein Strom in ihm fließt? Diese Frage ist natürlich nur durch das Experiment zu beantworten. Aber schon die bloße Überlegung wird uns vermuten lassen, daß in dem Stromleiter selbst etwas vor sich geht. Nehmen wir an, wir hätten zwei ganz gleiche Batterien, jede etwa von 100 Volt Spannung, und wir schließen die eine durch eine Leitung, in der ein Elektromotor sich befindet, während die zweite bloß durch einen Draht geschlossen sein soll. Wir nehmen den Widerstand des Drahtes im letzten Fall so groß, daß die Stromstärke genau dieselbe ist, wie im ersten Fall, wenn der Motor festgehalten wird. Lassen wir dann den Motor frei, so wissen wir, daß er in Rotation kommt und Arbeit leisten kann. Wir können durch ihn z. B. eine Pumpe treiben lassen; dann wird in jeder Sekunde eine gewisse Menge Wasser gehoben, also eine bestimmte Arbeit geleistet. Der Strom hat also einen gewissen mechanischen Effekt, er leistet in jeder Sekunde eine gewisse und hier sogar nützliche Arbeit, und wir wissen, daß dieser Effekt abhängt von dem Produkt der Volt und der Ampere im Stromkreis. Wo bleibt nun aber dieser Effekt im anderen Stromkreis? Dort ist kein Elektromotor zu treiben, Spannung und Stromstärke sind dieselben, wo bleibt also der Effekt? Verloren gehen kann ja die Arbeit, wie wir wissen, nicht. Wir werden also schon vermuten dürfen, daß sich

diese Arbeit im zweiten Fall in irgend eine andere Form der Energie verwandelt hat. Und das ist in der That der Fall. Die Energie des elektrischen Stromes verwandelt sich in Wärme. In beiden Stromkreisen wird Wärme erzeugt, aber im zweiten genau um so viel mehr, als dem Betrag der im ersten geleisteten Arbeit entspricht. 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.

Solange man es mit sehr schwachen Strömen zu tun hatte, war diese Erwärmung schwer zu konstatieren, man mußte feine thermometrische Vorrichtungen anwenden, um sie zu erkennen. Bei einigermaßen stärkeren Strömen aber kann man ganz leicht mit der Hand erkennen, daß die Leitungsdrähte erwärmt werden, und wenn man es mit Strömen von einigen Ampere zu tun hat, so kann man ganz leicht dünne Drähte zum Glühen, zum Rot-, Gelb-, Weißglühen und schließlich zum Schmelzen bringen.

Hat man sehr starke Ströme, so kann man sogar ganze Kupferbarren kilowise zum Schmelzen bringen, wie es in New York unbeachtigterweise bei der ersten Einrichtung von elektrischen Zentralstationen geschah.

Je dünner ein Draht ist, um so stärker wird er, bei derselben Stromstärke, erwärmt, um so leichter kommt er zum Glühen und Schmelzen. Es läßt sich das leicht einsehen, wenn wir die oben angestellte Überlegung, daß der elektrische Effekt sich in Wärme verwandelt, nun genauer verfolgen.

Der elektrische Effekt in einem Stück eines Leiters, das von einem Strom durchflossen wird, ist ja immer gleich der Stromstärke multipliziert mit dem Spannungsunterschiede an beiden Enden des Leiterstücks.

Dieser Spannungsunterschied oder, wie wir ihn früher genannt haben (S. 31), der Spannungsverlust auf dem Leiterstück ist aber selbst gleich der Stromstärke mal dem Widerstand des Leiterstücks. Daraus folgt, daß der elektrische Effekt, also auch die in jeder Sekunde entwickelte Wärme in einem Leiterstück gleich ist dem Produkt aus dem Widerstand des Stückes und dem Quadrat der Stromstärke (Stromstärke mal Stromstärke). In jedem Leiterstück ist die in jeder Sekunde entwickelte Wärmemenge gleich dem Widerstand des Leiterstücks, multipliziert mit dem Quadrat der Stromstärke.

Dieses Gesetz der Wärmeentwicklung durch den galvanischen Strom wurde von Joule (ausgesprochen: Dschaul), einem englischen Bierbrauer, der aber außer seinem Bier auch noch vortreffliche physikalische Experimente machte, zuerst experimentell gefunden. Man nennt es deshalb das Joulesche Gesetz und die durch den Strom in Leitern erzeugte Wärme auch die Joulesche Wärme.

Aus dem Jouleschen Gesetz ergibt sich sofort, daß die entwickelte Wärme in einem Draht von großem Widerstand, also in einem dünnen Draht unter sonst gleichen Umständen größer ist, als in einem dicken Draht.

Diese Eigenschaft des galvanischen Stromes, daß er seinen Strom-

kreis erwärmt und einzelne Teile desselben sogar zum Glühen bringen kann, wird vielfach benutzt. Ihre wichtigste Anwendung hat sie dadurch gefunden, daß man durch Edison gelernt hat, sie zum Beleuchten von Wohnungen zu benutzen.

Die Glühlampen, wie man die auf diesem Prinzip beruhenden Lampen nennt, muß man jetzt einteilen in Kohlenfadenslampen und Metallfadenslampen. Die ersteren waren lange die allein verbreiteten, aber die letzteren haben sie schon fast vollständig verdrängt. Ihr Unterschied beruht, wie der Name sagt, darauf, daß im ersteren Fall ein dünner Faden aus Kohle, im letzteren Fall ein dünner Faden aus gewissen Metallen zum Glühen benutzt wird.

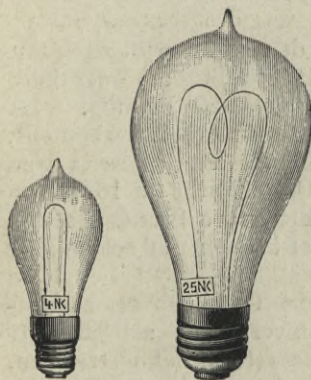
Die Kohlenfadenslampen bestehen im wesentlichen nur aus einem dünnen Kohlenstreifen, welches hufeisenförmig oder schleifenförmig gebogen und in ein Glasgefäß eingeschlossen ist, wie in Fig. 113 an einigen Beispielen gezeigt ist. Durch den Kohlendraht wird ein Strom hindurchgesendet, und da das Kohlenstreifen sehr großen Widerstand hat (einige hundert Ohm), so wird es durch den Strom stark erwärmt und kommt in helles Glühen. Edison war es, der zuerst die Kohle als geeignetes Material für Glühlampen erkannte, welche bekanntlich noch auf keine Weise zum Schmelzen gebracht werden konnte. Aber glühende Kohle verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft, sie verbrennt rasch, und es ist deshalb eine notwendige Forderung, sorgfältig den Sauerstoff der Luft von ihr abzuhalten. Man muß also die Kohle 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 die Kohle auf irgend eine Weise durch Einschmelzen in dem Glasgefäß befestigt sein. Das läßt sich nun zum Glück leicht machen, wenn man an die Enden des Kohlendrahtes Platindrähte befestigt (durch gemeinsame Verkupferung). Platin läßt sich nämlich leicht und dauerhaft in Glas einschmelzen, weil es denselben Ausdehnungskoeffizienten hat wie dieses. Bei der Vorzüglichkeit der neuen Luftpumpen ist es dann nicht schwer, die Glasgefäße fast vollkommen luftleer zu machen. Man verfertigt die Kohlenfäden für Glühlampen allgemein aus Zellulose, die durch eine Düse hindurchgepreßt wird und dadurch einen endlosen, dünnen Faden liefert, der in kleine Fäden zerschnitten und in die Form von Hufeisen oder Schleifen gebracht wird. Diese Fäden werden darauf „karbonisiert“, verkohlt, indem man sie in einen passend eingerichteten Ofen bringt. Diese Herstellungsweise der Kohlenfäden liefert ein sehr festes und doch dehnbares Material.

Die Glühlampen mit Kohlenfaden verschwinden aber von Jahr zu Jahr mehr aus dem Gebrauch, weil sie durch die viel vorteilhafteren Glühlampen mit Metallfäden ersetzt werden. Die weiteren Einrichtungen aber zum Gebrauch der Glühlampen, die von Edison zuerst bei den Kohlenfadenglühlampen eingeführt wurden, sind, weil sie sehr praktisch sind, geblieben und gelten also auch für die nachher zu besprechenden Metallfadenslampen. Sowohl bei den Lampen mit Kohlenfäden wie bei denen mit Metallfäden führen eingeschmolzene Platindrähte durch das Glas hindurch von dem Leuchtfaden nach außen.

Diese Platindrähte gehen dann zu zwei voneinander isolierten Metallstücken außen am Lampenkörper, die man speziell Kontakte nennt. 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 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 Kohlenfaden.

Bei der am häufigsten benutzten Edisonfassung ist an dem Lampenkörper unten ein metallisches Schraubengewinde (das Edisongewinde) angebracht, wie man es bei den beiden Lampen in Fig. 113

Fig. 113.



sieht. Mit diesem Schraubengewinde ist der eine Platindraht verbunden. Der andere geht an ein isoliertes Metallstück am Boden. Die Lampe wird in ihre Fassung Fig. 114 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

Fig. 114.

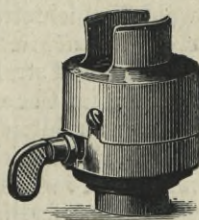


daß der Strom sicher hindurchgehen kann. Zuweilen wird der untere Kontakt durch einen Griff (Hahn) beweglich gemacht, wie es Fig. 115 zeigt.

Die Glühlampen besitzen im allgemeinen einen sehr hohen Widerstand und brauchen daher auch eine große Spannung an ihren Enden,

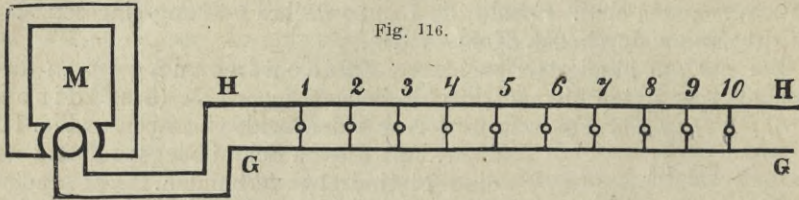
aber sie brauchen nur verhältnismäßig schwache Ströme. Für eine 16kerzige Edisonlampe von 110 Volt Spannung braucht man einen Strom von etwa nur 0,45 Ampere. Um nun eine ganze Anzahl Glühlampen von einer und derselben Quelle, etwa einer Dynamomaschine, betreiben zu lassen, so daß sie unabhängig voneinander sind, hat Edison zuerst die einfachste Schaltung angegeben, deren Vorzüge wir schon bei den Elektromotoren 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. 116 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 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

Fig. 115.



kann. In manchen Fällen aber macht man die Spannungsdifferenz gleich 220 Volt.

Eine 16kerzige Glühlampe mit Kohlenfaden braucht, wie eben angeführt, bei 110 Volt Spannung etwa 0,45 Ampere Strom, d. h. sie verbraucht etwa 50 Watt. Pro Kerze Lichtstärke erfordert sie also einen Aufwand von etwa 3,2 Watt. Das ist der normale Bedarf aller Glühlampen



mit Kohlefäden für jede Kerze Lichtstärke. In den größeren Städten mit elektrischen Zentralen kostet nun ein Kilowatt pro Stunde, oder kurz eine Kilowattstunde, durchschnittlich etwa 50 Pfennig. Da eine 16kerzige Glühlampe pro Stunde 50 Wattstunden Arbeit verbraucht, so kostet also ihr Strom pro Stunde etwa 2,5 Pfennig. Im Gegensatz dazu stellt sich bei mittlerem Gaspreis das Auersche Gasglühlicht für 16 Kerzen Stärke berechnet nur etwa auf 0,4 Pfennig Kosten pro Stunde, so daß die Beleuchtung mit Kohlenfadenglühlampen zwar bequem und schön, aber auch erheblich kostspielig ist.

Man suchte deshalb eifrig das elektrische Glühlicht so zu verbessern, daß man einen viel geringeren Stromverbrauch als 3,2 Watt pro Kerze bei ihm erzielte. Das läßt sich theoretisch dann erreichen, wenn man die Temperatur des glühenden Fadens steigert. Die gesamte, von einem strahlenden Körper ausgesendete Energie (welche nur zum Teil in Form von Licht, zum größten Teil in Form von Wärme ausgestrahlt wird) wächst stark mit wachsender Temperatur, nämlich nach einem berühmten, von Stefan aufgestellten Gesetz, mit der vierten Potenz der Temperatur, wenn diese von -273°C . an gerechnet wird, der sogenannten absoluten Temperatur. In dieser Gesamtstrahlung ist aber sowohl die Lichtstrahlung als die Wärmestrahlung enthalten, welche letztere für die Beleuchtung unwesentlich ist. Wenn aber die Temperatur eines glühenden und strahlenden Körpers erhöht wird, so tritt zugleich auch eine Änderung im Charakter der Strahlung ein, indem nämlich das Maximum der ausgestrahlten Energie bei wachsender Temperatur immer mehr in das Gebiet der Lichtstrahlen, statt der dunkeln Wärmestrahlen fällt, und zwar immer mehr in das Gebiet des gelben Lichts rückt, für welches unser Auge am empfindlichsten ist. Daraus folgt, daß die von einem strahlenden Körper ausgesandte Lichtmenge weit stärker mit wachsender Temperatur steigt, als die ausgesandte Gesamtstrahlung, so daß bei gleicher Gesamtstrahlung die Lichtstrahlung um so größer wird, je höher die Temperatur des strahlenden Körpers ist. Man kann das auch umgekehrt so ausdrücken, daß bei gleicher Lichtstärke die Gesamtstrahlung um so kleiner ist, je höher die Temperatur ist. Die Gesamtstrahlung eines strahlenden Glühfadens wird aber durch die gesamte auf ihn übertragene

elektrische Energie, also durch die Zahl der Watt hervorgebracht. Und man erkennt daher, daß eine Glühlichtbeleuchtung um so vorteilhafter, um so ökonomischer werden muß, d. h. daß pro Kerze um so weniger Watt angewendet werden müssen, je höher die Temperatur des Glühfadens ist.

Prinzipiell stand ja bei Kohlenfäden nichts im Wege, sie auf höhere Temperatur zu bringen, da ja die Kohle nicht schmilzt. Man könnte also etwa eine Lampe, die für 110 Volt bestimmt ist, in einem Netz von 220 Volt Spannung brennen lassen, wodurch die Stromstärke, von der die Lampe durchflossen ist, die doppelte wird. Man erhält dadurch auch sofort eine enorme Steigerung der ausgestrahlten Lichtstärke. Aber damit geht zugleich Hand in Hand eine erhebliche Zerstäubung des Kohlenfadens, so daß schon nach kurzer Zeit der Lampenfaden reißt und die Lebensdauer der Lampe beendet wird. Ob aber die Lampe durch Schmelzen unbrauchbar wird oder durch Zerstäuben, ist für den Käufer gleich unangenehm.

Es handelte sich also darum, Glühfäden herzustellen, welche eine höhere Temperatur aushalten können als die Kohlenfäden, ohne durch Zerstäuben oder Schmelzen ruiniert zu werden. Die Temperatur der Kohlenfäden gewöhnlicher Glühlampen liegt zwischen 1600 und 1700 °C. Man mußte also Fäden herstellen, welche ohne Schaden Temperaturen von mehr als 1700 ° aushalten konnten.

Dies ist dadurch erreicht worden, daß man zur Herstellung der Glühfäden gewisse Metalle statt der Kohle benutzt, daß man von den Kohlenfadenlampen zu den Metallfadenlampen überging. Naturgemäß eignen sich für Glühlampen nur diejenigen Metalle, die sehr hohe Temperaturen aushalten können, ohne zu schmelzen, und das sind zunächst die drei, Osmium, Tantal und Wolfram; von denen Tantal bei ca. 2300 °, Osmium bei 2500 ° und Wolfram erst bei 2850 ° bis 3000 ° schmilzt. Es war zuerst Auer von Welsbach, der berühmte Erfinder des nach ihm benannten Gasglühlichts, der eine solche Lampe herstellte, indem er statt der Kohle Osmium für die Glühlampenfäden benutzte. Dann haben die Siemens-Schuckertwerke das Tantal in größeren Mengen rein hergestellt und eine Glühlampe mit Fäden aus Tantal, die Tantal-Lampe, konstruiert. Diese beiden Lampenarten waren schon erheblich vorteilhafter in Bezug auf den Effektverbrauch als die Kohlenfadenlampen, aber sie wurden doch weit in den Schatten gestellt, als es gelang, das dritte der oben genannten Metalle, das Wolfram, zu Fäden zu verarbeiten und Glühlampen aus ihm herzustellen.

Die Auergesellschaft brachte zuerst Wolframlampen unter dem Namen Osramlampen in den Verkehr. Jetzt gibt es eine große Anzahl von Fabriken, welche solche Wolframlampen herstellen, zum Teil unter besonderer Bezeichnung, wie Wotanlampen, Just-Wolframlampen, Monowattlampen, Siriuslampen usw. Man hat erst vor wenigen Jahren gelernt, aus dem Wolframmetall Drähte zu ziehen. Das Wolframmetall wird zu Stäben zusammengesintert und diese langdauernd mechanisch durch Klopfen usw. bearbeitet. Dabei nimmt das Metall die Eigenschaft der Ziehbarkeit an, es läßt sich durch Ziehsteine zu dünnen, sehr elastischen Fäden ausziehen. Diese gezogenen Wolframdrähte werden von der Auergesellschaft, der A.E.G., den Siemens-Schuckertwerken und den Bergmannwerken für ihre Lampen benützt, während andere Fabriken Wolframfäden anwenden,

die durch Pressen von Wolframpulver mit Bindemitteln hergestellt werden oder die auf andere Weise, durch Zusatz von Thoroxyd in einer eigenen Behandlung, besonders hart und ebenso haltbar wie Wolframdrähte gemacht werden. Die Auergesellschaft nennt ihre Lampen noch *O s r a m l a m p e n*, die Siemens-Schuckertwerke nennen sie *W o t a n l a m p e n*, die A.E.G. Metalldrahtlampen. Das Aussehen dieser Lampen ist durch Fig. 117 gegeben. Der lange Wolframfaden ist mehrfach zwischen Trägern oben und unten durchgezogen, die an einem Glasstiel befestigt sind. Der Hauptvorzug dieser Lampen ist ihr geringer Effektverbrauch. Sie erfordern nur 1,0 bis 1,1 Watt pro Kerze, was gegenüber den Kohlenfadenlampen mit ihren 3,2 Watt einen ganz außerordentlichen Fortschritt bedeutet. Für die gebräuchlichste Spannung von 110 Volt werden Lampen von 15—100 Kerzen, für 220 Volt solche von 10—100 Kerzen hergestellt. Ihre Lebensdauer ist eine sehr gute, sie beträgt durchschnittlich über 1000 Stunden. Die Temperatur des Wolframfadens liegt zwischen 1800° und 2000° .

Fig. 117.



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 auch diese Lampen bei Steigerung der Temperatur zerstäuben, ganz so wie die Kohlenfadenlampen, und daß 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 um so 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.

Eine wesentliche Verbesserung der Wolframlampen gelang aber in den letzten Jahren dadurch, daß man gerade diese Zerstäubung verhinderte. Die Zerstäubung der Drähte wird dadurch befördert, daß die Drähte sich in einem luftleeren Raum, in einem Vakuum befinden. Wenn man in die Lampenkörper ein Gas von Atmosphärendruck oder höherem Druck einführen könnte, so könnte man die Zerstäubung wesentlich vermindern. Stickstoff oder Argon würden sich dazu eignen, weil diese mit Wolfram keine chemische Verbindung eingehen. 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 bisherigen Lampen, sondern daß man ihn zu einer engen Spirale zusammenrollt. Es werden dadurch die meisten Oberflächenelemente verhindert, ihre Wärme an das umgebende Gas in vollem Betrage abzugeben, und die Versuche haben gezeigt, daß man auf diese Weise, durch Füllung mit Stickstoff oder Argon und durch Zusammen-

rollung der Drähte, Lampen herstellen kann, die nur noch ein halbes Watt pro Kerze verbrauchen. Solche Lampen nennt man Halbwattlampen. Die Auergesellschaft bezeichnet ihre derartigen Lampen als Osram-Azolampen, die A.E.G. bezeichnet sie als Nitralampen oder Spiraldrahtlampen, die Siemens-Schuckertwerke nennen sie Wotan-G-Lampen. Zunächst ist diese Konstruktion nur für mittelstarke und sehr starke Lampen, solche von 200, 400, 600, 1000, 2000, 3000 Kerzen Stärke bei 100 Volt Spannung anwendbar. Fig. 118 gibt die Abbildung einer Halbwattlampe mit Montierung. Man hat in den letzten Jahren die Konstruktion der Halbwattlampen auch auf die gewöhnlichen Glühlampen von geringer Kerzenstärke (25—100 HK) übertragen, und dadurch auch schönes, weißglänzendes Licht erzeugt. Aber der geringe Effektverbrauch wie bei den hochkerzigen Halbwattlampen läßt sich bei diesen bisher nicht erzielen. Die Lampen brauchen 1 Watt und sogar mehr pro Kerze, und ihre Lebensdauer ist auch eine geringere, als die der gewöhnlichen Metallfadlampen. Fig. 119 zeigt die Anordnung des Leuchtdrahtes in einer solchen Osram-Azolampe. Bestehend ist bei ihnen das reine weiße Licht. Für geringere Spannungen dagegen, solche von 6—16 Volt, lassen sich Halbwattlampen von 32 bis 100 Kerzen herstellen, und diese werden z. B. für die Scheinwerfer von Automobilen jetzt viel benützt.

Fig. 118.

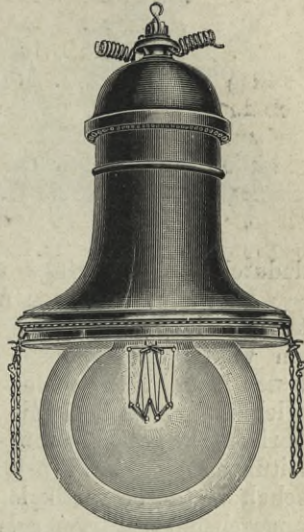
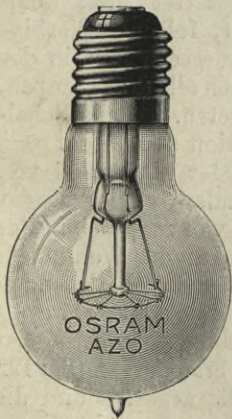


Fig. 119.



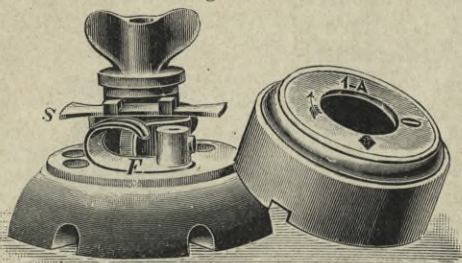
Durch diese Glühlampen von so hoher Lichtstärke und Ökonomie ist der Bogenlichtbeleuchtung ein ziemlicher Teil ihres bisherigen Gebietes entzogen worden. Wo man früher Bogenlampen anbrachte, geht man jetzt vielfach zu den hochkerzigen Halbwattlampen über, und daraus ersieht man am besten den Fortschritt, den die Glühlampentechnik in den letzten Jahren gemacht hat.

Glühlampen, die zugänglich sind und einzeln entzündet oder ausgelöscht werden sollen, werden in ihren Fassungen mit einem Hahn versehen (wie in Fig. 115), 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. 120 eine Form geöffnet zeigt, haben wir bereits auf S. 34 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.

Fig. 120.



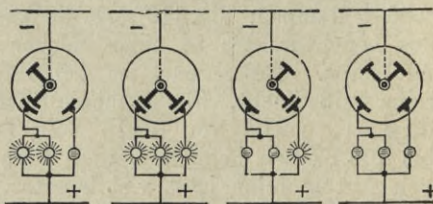
Durch eine bloße Drehung des Griffes kann man dadurch sofort die beiden getrennten Metallfedern leitend verbinden, dadurch den Strom schließen und damit das ganze Zimmer erleuchten oder durch Weiterdrehen des Griffes wieder verdunkeln. Gerade dieser Umstand macht das Glühlicht äußerst bequem und gibt ihm

dadurch große Vorzüge vor dem Gaslicht.

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. 121 gezeichnet.

Zwischen die beiden horizontal gezeichneten Hauptleitungen sind zwei parallel geschaltete (durch vertikale Striche angegebene) Leitungen gelegt, von denen die erste eine Lampe, die zweite zwei (parallele) enthält. Der Ausschalter, der durch einen Kreis mit Kontakten und dem doppelarmigen Griff dargestellt

Fig. 121.



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. 122 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 der beiden Schalter sind miteinander 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 entweder je zwei nebeneinanderliegende oder je zwei einander gegenüberliegende verbinden, oder auch abwechselnd das eine Paar und dann das andere Paar nebeneinanderliegende

Fig. 123.

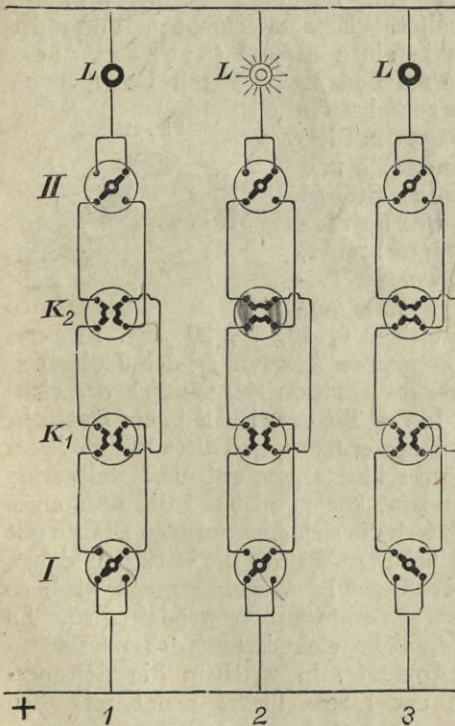
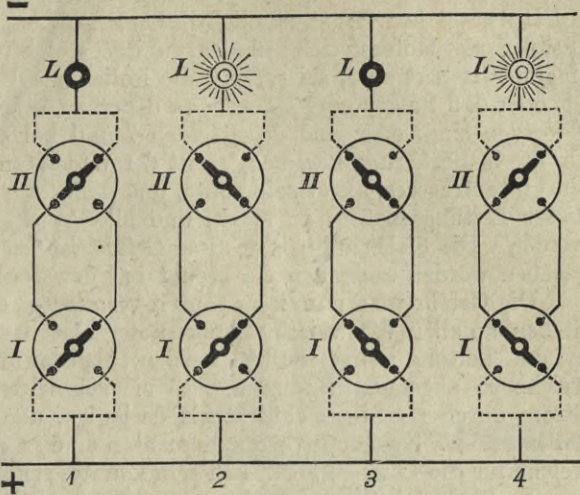


Fig. 122.



Kontakte verbinden. Der letztere Fall ist in der Zeichnung Fig. 123 angenommen, bei der von vier Stellen (I, K₁, K₂, II) aus die Lampe angezündet oder ausgelöscht werden kann. In dieser Figur sind I und II zwei Korrespondenzschalter, wie in Fig. 122, und K₁ und K₂ sind zwei Kreuzschalter, L ist die Lampe. Drei verschiedene Stellungen der Schalter sind in 1, 2, 3 gezeichnet. Welchen von den vier Schaltern man auch weiter dreht, immer wird abwechselnd die Lampe L hell oder dunkel sein.

Eine wichtige Forderung ist aber für alle elektrischen Betriebe, daß die Apparate, also in unserem Falle die Glühlampen, oder auch die Elektromotoren 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 starke Ströme

können in einer Leitung hauptsächlich durch den sogenannten Kurzschluß entstehen. Wenn nämlich die beiden Leitungen, zwischen denen alle Lampen oder Motoren 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 ein viel geringerer, 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 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.

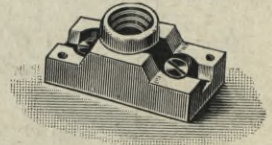
Solche Sicherungen werden in die Hauptleitungen, ferner in die Zweigleitungen und endlich an jeder Abzweigung für eine Lampengruppe, also z. B. vor jedem Zimmer, eingeschaltet. Eine zweckmäßige Form der Sicherung besteht darin, daß man in einen Stöpsel (Sicherheitsstöpsel) aus Gips (Fig. 124), der am Boden eine Metallplatte und an

Fig. 124.



der Seite eine metallische Schraube (ein Edisongewinde) trägt, den Bleistreifen zwischen Grundplatte und Schraube befestigt. Die Stöpsel werden in einen Sicherheitschalter (Fig. 125) eingeschraubt, zu dem die Leitungen von der Maschine geführt werden. Man ver-

Fig. 125.



fertigt die Stöpsel für die Stromstärken 6, 10, 15, 20 usw. Ampere.

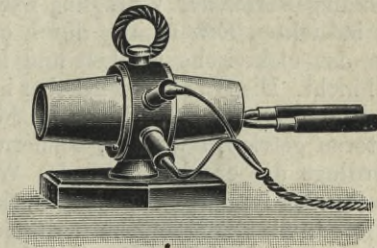
Eine weitere, vielfach sehr willkommene Anwendung der Jouleschen Wärme macht allmählich immer weitere Fortschritte, nämlich das elektrische Heizen und Kochen. In der Tat entwickelt ja ein Strom in einem Leiter fortwährend Wärme, solange er fließt, und diese Wärme kann man natürlich leicht auf andere Körper übertragen, auf die Metallwände von Gefäßen, in denen man Wasser usw. kocht, oder auf die Luft eines Zimmers beim Heizen, indem man einfach die sich erwärmenden Drähte mit diesen Körpern in enge Berührung bringt. Wichtig ist natürlich dabei, daß man die Drähte, in denen die Joulesche Wärme erzeugt wird, so anordnet, daß möglichst die ganze Wärme nutzbar verwendet wird. Es sind verschiedene Anordnungen für solche elektrische Kochapparate in Gebrauch. Denjenigen Teil der Apparate, in welchem die Leitungsdrähte liegen und durch welchen der Strom fließt, nennt man den

Heizkörper. Zum Teil bestehen die Heizkörper aus dichten Tonkörpern, welche Rinnen und Röhren zur Aufnahme von Drähten besitzen. Die Joulesche Wärme, die in den Drähten entwickelt wird, teilt sich dem Tonkörper mit, der sie vermöge seiner geringen Wärmeleitfähigkeit lange aufgespeichert hält. Zum Teil bestehen die Heizkörper aus Glimmerstreifen, auf denen eine dünne Silberschicht eingebrannt ist, durch welche der Strom geleitet wird. 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. 126 eine Teemaschine, Fig. 127 einen Brennscherenwärmer. In Fig. 128 ist ein jetzt

Fig. 126.



Fig. 127.



vielfach sich einbürgernder elektrischer Haartrockenapparat 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. In Fig. 129 sieht man offen ein sogenanntes Heizregister, von denen man beliebig viele parallel schalten kann. Diese dienen zum Heizen von Zimmern, Schaufenstern, Tram-bahnwagen. Sie werden dann gewöhnlich mit einem Mantel von durchlochtem Eisenblech umgeben. Die Heizdrähte haben einen genau abgemessenen Widerstand, der so groß ist, daß, wenn sie zwischen zwei Lei-

Fig. 128.

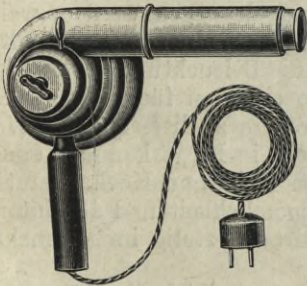


Fig. 129.



tungen eingeschaltet werden, die etwa 110 Volt Spannung haben, sie gerade die genügende Wärme entwickeln, die ihrem Zweck entspricht.

Die elektrischen Heizapparate zeichnen sich durch außerordentliche Einfachheit und Reinlichkeit aus. Wo in einem Hause elektrischer Strom vorhanden ist, sei es durch eine eigene Dynamomaschine oder von einer Zentralstation her, da braucht man diese Apparate bloß an die Leitung anzuschließen, um sofort die elektrische Heizung oder Erwärmung in Tätigkeit zu setzen.

Wie stellt sich aber die Ökonomie dieses elektrischen Betriebes? Diese hängt natürlich ab von dem Preise, zu dem die elektrische Energie geliefert wird. Unter normalen Umständen, wenn die elektrischen Ströme von Dynamomaschinen geliefert werden, die durch Dampfmaschinen getrieben werden, ist die elektrische Energie viel zu teuer für Heizzwecke. Denn in den Dampfmaschinen werden nur etwa 12 Proz. der Verbrennungswärme der Kohlen wirklich in mechanische Arbeit verwandelt, und etwas geringer ist noch die Größe der elektrischen Energie, die man durch die von den Dampfmaschinen getriebenen Dynamomaschinen erhält und die man in den Heizapparaten wieder in Wärme umsetzt. Wenn man dieselbe Kohlenmenge direkt in Öfen verbrennen würde, so würde man, auch bei nicht besonders zweckmäßig konstruierten Öfen, etwa 50—60 Proz. der Verbrennungswärme zur Verfügung haben, also etwa 4—5mal so viel als bei der indirekten Erwärmung durch den elektrischen Strom. Rationell ist also das elektrische Kochen und Heizen in diesem, häufig vorliegenden Fall nicht. Die Sachlage wird aber in zwei Fällen anders. Erstens nämlich, wenn die Dynamomaschinen nicht durch Dampfmaschinen oder Gasmotoren getrieben werden, sondern durch Wasserkräfte. Dann muß ja allerdings die erste Anlage des Wasserwerks bezahlt werden, aber die Kraft selbst ist umsonst zu haben, sie erfordert nicht einen stetigen Kostenaufwand, wie die Dampfkraft durch die Kohlen. Alles was zur ständigen Ausnutzung der Wasserkraft beiträgt, ist dann Gewinn, und daher ist dann auch die Anwendung des Stromes zum Heizen und Kochen rationell. Auch in denjenigen Städten, in denen der elektrische Strom in großen Zentralstationen erzeugt und überallhin geleitet wird — und das ist eine sehr stattliche Anzahl — macht die elektrische Heizung aus ähnlichem Grunde sehr rapide Fortschritte. Bei solchen Zentralstationen werden nämlich die Kosten der Anlage und des Betriebes gewöhnlich schon durch die für die Beleuchtung abgegebene Energiemenge gedeckt. Der Preis der elektrischen Energie für Heizzwecke wird deswegen sehr viel niedriger normiert und kann es auch schon deswegen werden, weil man eine viel bessere Ausnutzung der gesamten Maschinenanlage erzielt, wenn man sie nicht bloß des Abends, wo sie für die Beleuchtung notwendig ist, im Gang hat, sondern auch am Tage, wo sie eben für Heizzwecke und eventuell auch für Elektromotoren den Strom zu liefern hat. Wo aber die Kosten für die elektrische Energie nicht in Frage kommen oder nicht zu hohe sind, da besitzen die elektrischen Heiz- und Kochapparate die großen Vorzüge der außerordentlichen Bequemlichkeit und absoluten Reinlichkeit, und gerade deswegen werden sie auch stetig immer mehr eingeführt.

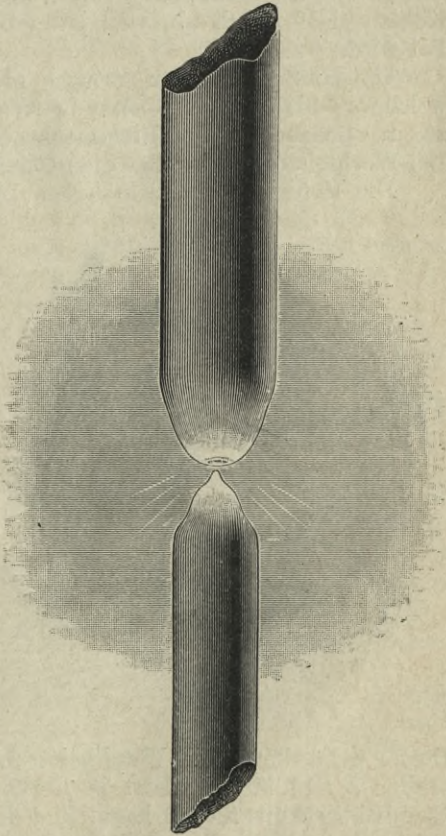
Auf der Jouleschen Wärmeentwicklung beruht endlich die glänzende Erscheinung des elektrischen Bogenlichts.

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, so 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, so entstand zwischen den Kohlen

ein außerordentlich helles Licht. Es kamen die Enden der Kohle in helle Weißglut und ebenso glühte die Luft bläulich 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. Von beiden Kohlen aus fliegen glühende Kohlenteilchen fort, sowohl durch die Luftschicht hindurch zu der anderen Kohle als seitlich in den freien Raum. 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. Auf den Kohlenenden sieht man fortwährend eine Menge von runden Partikelchen hin und her laufen und sich warzenförmig an beliebige Stellen ansetzen. Es rühren diese von Verunreinigungen der Kohlen her, welche durch die große Glut schmelzen. Die Kohlen für elektrisches Licht werden besonders fabrikmäßig hergestellt, und zwar verwendet man entweder nur aus Ruß gepreßte Kohlenstäbe (sogen. Homogenkohlen) oder aber

Fig. 130.



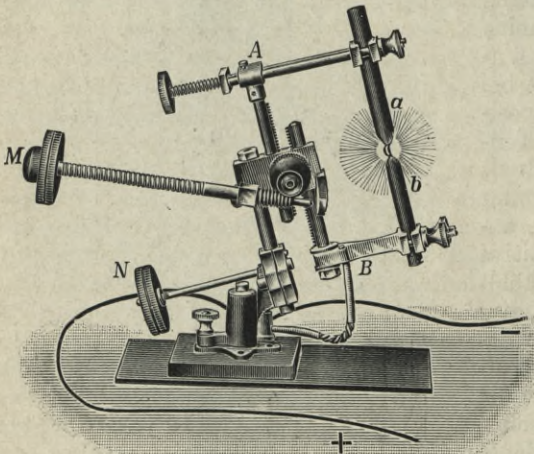
man versieht die Kohlen mit einem Kern aus Kohle, der mit einer leicht flüchtigen, helleuchtenden Substanz, gewöhnlich Wasserglas, imprägniert ist (sogenannte Dochtkohlen). Fig. 130, welche ein Bild des Bogenlichtes zu geben sucht, zeigt oben als positive Kohle eine Dochtkohle, unten als negative eine Homogenkohle.

Die Kohlen brennen in der Glühitze durch das Hinzutreten des Sauerstoffs der Luft allmählich ab, und zwar, wie erwähnt, bei Gleichströmen die positive Kohle rascher als die negative. Deswegen nimmt man bei den elektrischen Bogenlampen für Gleichstrom die positive (obere) Kohle gewöhnlich doppelt so dick als die untere (wie auch Fig. 130 zeigt), damit beide Kohlenstäbe nahezu gleich lange brennen können. Es läßt sich aber leicht einsehen, daß elektrisches Licht sich auch durch schnell wechselnde Wechselströme erzeugen lassen muß. Denn es ist ja direkt die elektrische Energie, die sich in Wärme umsetzt, und elektrische Energie ist in einem Wechselstrom ebenso enthalten wie in einem Gleichstrom. Bei der Anwendung von Wechselströmen brennen natürlich beide Kohlen gleich rasch ab, weil jede abwechselnd positiver und negativer Pol wird.

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

Fig. 131.



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 Stärke von einigen Hundert Kerzen bis zu der von vielen Tausend Kerzen.

Eine Abbildung einer zur Erzeugung des Lichtbogens brauchbaren Einrichtung gibt Fig. 131. Bei + und - kommen die Leitungsdrähte von der Batterie oder der Dynamomaschine und der

Strom geht durch die Metallhalter A und B zu den runden Kohlenstäben a und b, die zuerst in Berührung miteinander sind, damit der Strom überhaupt fließen kann, und die dann durch Drehen des Griffes M getrennt und in geringer Entfernung voneinander gehalten werden und zwischen sich eine kleine Luftschicht haben. Ist nun die Spannung an den Kohlenenden groß genug, so geht zwischen diesen der Strom über und bildet dabei den Flammenbogen, wie er in der Figur angedeutet ist.

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 durch Drehen der Schraube M die Kohlen von Zeit zu Zeit einander näherte.

Man muß also den Abstand der Kohlen regulieren. Bei der beschriebenen Einrichtung macht man die Regulierung mit der Hand und nennt diese gezeichnete Vorrichtung deshalb eine *Handregulierungslampe*. Für Unterrichtszwecke, für Projektion von Bildern mittels des Bogenlichts ist dies die bequemste Art der Regulierung.

Wenn man aber das elektrische Bogenlicht zur Beleuchtung verwenden will, so muß die Regulierung *selbsttätig* geschehen. Diese Regulierung muß eine Reihe von Forderungen erfüllen. Erstens muß sie die Kohlenenden, die von selbst beim Brennen in immer größeren Abstand voneinander kommen, immer wieder einander entgegenbringen, so daß das Licht immer wieder in gleicher Stärke sich entwickelt. Zweitens aber müssen die Kohlen zuerst aneinander geschoben werden, um dem Strom erst den Durchgang zu gestatten, und dann gleich getrennt werden, um den Lichtbogen entstehen zu lassen. Auch dies muß die Regulierung besorgen. Drittens muß die Regulierung etwaige Schwankungen in der Stärke des Stromes ausgleichen, d. h. sie muß den Abstand der Kohlen vergrößern, wenn der Strom zu stark, ihn verkleinern, wenn er zu schwach wird.

Es ist selbstverständlich, daß eine so feine Regulierung, welche jeder Schwankung des Stromes folgen muß, nicht möglich ist, ohne daß man den Strom selbst zu dieser Regulierung benutzt. Man bezeichnet solche Regulatoren als *elektrische Bogenlampen*.

Das einfachste Mittel dafür ist die Anwendung des *Elektromagnetismus*. Man hat ja durch die elektromagnetischen Kräfte eines Stromes einfache und bequeme Mittel, welche passende Bewegungen hervorbringen können. Insbesondere sind dies *Elektromagnete*, welche einen Anker anziehen, und *Solenoid*e, welche einen Eisenkern in sich hineinziehen. Sehr einfach ist die Anwendung eines *Elektromagneten*. Wenn man den Strom, der das Licht erzeugen soll, um einen Kern von weichem Eisen herumführt, und diesem einen beweglichen Anker gegenüberstellt, an dem man die eine Kohle befestigt, so hat man ja darin einen Mechanismus, welcher je nach der Stärke des Stromes starke oder schwache Bewegungen hervorbringen kann.

Ebenso kann man zur Regulierung statt eines Elektromagneten mit seinem Anker eine *stromdurchflossene Drahtrolle*, ein *Solenoid*, nehmen. Diese zieht ja einen Eisenstab in sich hinein (oben S. 45), und wenn man an dem Eisenstab die eine Kohle befestigt, so wird diese mitbewegt. Befestigt man den Eisenstab an dem einen Ende eines Hebels, einer drehbaren Stange, und die Kohle zusammen mit einem Zusatzgewicht an dem anderen Ende derselben, so kann man durch die Bewegung des Eisenstabes mehr oder minder große Bewegungen der Kohle, je nach dem Zusatzgewicht, erzielen.

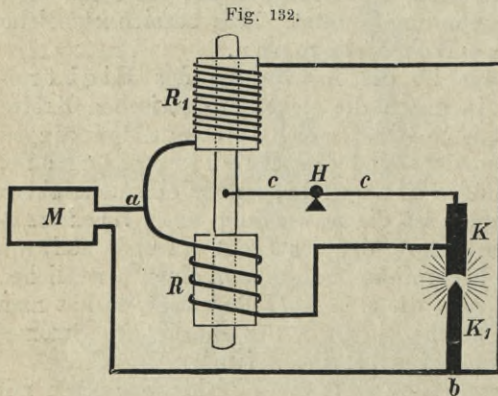
Bei den meisten Lampen ist außer der elektrischen Regulierung noch eine mechanische Regulierung vorhanden, welche bewirkt, daß die

Bewegung der Kohlen recht ruhig und gleichmäßig vor sich geht. Es sind z. B. die obere und untere Kohle durch eine Kette miteinander verbunden, welche über ein Rad, das Kettenrad, läuft. Bei der Bewegung des Rades in der einen oder anderen Richtung laufen die Kohlen zusammen oder auseinander. Das Kettenrad steht nun durch ein System von Rädern mit einem anderen Rad, dem Sternrad, in Verbindung, und durch die elektrische Regulierung wird nur bewirkt, daß dieses Sternrad entweder arretiert oder frei gelassen wird. So geschieht also die eigentliche Bewegung der Kohlen durch das System von Rädern, welches man das Laufwerk nennt, und der Strom löst nur die Bewegung des Laufwerks aus oder unterbricht sie.

Bei der elektrischen Regulierung kann der Regulierungselektromagnet entweder von dem Strom selbst durchflossen werden, der auch durch die Kohlen geht und den Lichtbogen bildet. Lampen mit dieser Schaltung des Elektromagneten (der dann natürlich wenige Windungen dicken Drahtes besitzen muß), nennt man Hauptstromlampen.

Man kann aber auch den Strom, wenn er in eine Lampe eintritt, teilen, so daß die Regulierungsvorrichtung, der Elektromagnet oder das Solenoid, im Nebenschluß zu den Kohlen, nicht im Hauptstromkreis liegt. Solche Lampen nennt man Nebenschlußlampen. Bei ihnen ist der Elektromagnet oder das Solenoid mit vielen Windungen eines dünnen Drahtes versehen.

Diese beiden Lampenarten eignen sich aber nicht gut in dem Falle, wenn man mehrere Lampen hintereinander schalten will, ein Fall,



der wegen der billigen Leitungsführung am häufigsten vorkommt. Vielmehr braucht man dann Lampen von besonderer Schaltung und Regulierung, die von Hefner-Alteneck erfunden wurden und die man Differentiallampen nennt.

Bei der Differentiallampe wird der Strom, der von der Maschine in die Lampe kommt, verzweigt. In dem einen Zweig befinden sich die Kohlen und ein Hauptstrommagnet oder

ein Hauptstromsolenoid zum Regulieren, in dem anderen aber ein Nebenschlußmagnet (oder ein Nebenschlußsolenoid) ebenfalls zum Regulieren, jedoch so, daß er dem anderen entgegenwirkt. Durch das Schema in Fig. 132 wird die Wirkung der Differentiallampe deutlich werden.

Von der Maschine M geht der Strom nach a und b und teilt sich dort. Der Hauptstrom geht über das Solenoid R und durch die Kohlen K und K_1 nach b, der Nebenstrom geht über das Solenoid R_1 nach b. Ein Eisenzylinder taucht in beide Solenoide ein. Er ist an einem Hebel cc befestigt, der sich um die Achse H drehen kann und der am andern Ende

die obere Kohle K trägt. Wird der Strom im Solenoid R_1 stärker, so wird der Eisenstab in dieses hineingezogen und dadurch die obere Kohle gesenkt. Wird der Strom in R stärker, so wird der Eisenzylinder in dieses hineingezogen und die Kohle K hebt sich. Auf diese Weise ist die Differentialwirkung der beiden Spulen sehr einfach hergestellt.

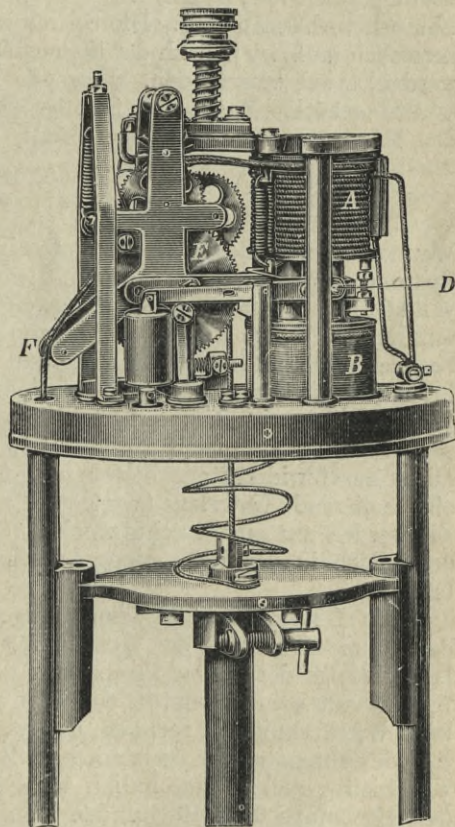
Von den vielen Lampenkonstruktionen, die von den verschiedenen Firmen ausgeführt werden, beschreiben wir nur eine, um die allgemeine Einrichtung solcher Lampen zu erklären.

Die Differentiallampe der Siemens-Schuckert-

Werke zeigt Fig. 133 in perspektivischer Ansicht. Der elektrische Teil besteht aus vier Spulen A und B, von denen die oberen zwei, wie man aus der Drahtdicke erkennt, im Hauptstrom, die unteren zwei im Nebenschluß liegen. Die oberen sind aus dickem, die unteren aus dünnem Draht. Ein Eisenkörper, der wie ein römisches H gebildet ist, hat vier Schenkel, die in die vier Spulenöffnungen hineinreichen. Der ganze Eisenkörper ist in einer Gabel D gelagert, welche bei ihrer Bewegung ein Laufwerk arretiert oder losläßt. Über eine mit dem Räderwerk verbundene Scheibe E ist ein Seil F gelegt, das an seinen beiden Enden die beiden Kohlenhalter trägt. Wenn die Kohlen getrennt sind und die Lampe in den Stromkreis eingeschaltet wird, so geht der Strom nur durch die Nebenschlußmagnete. Diese ziehen den Eisenkörper in sich hinein und dadurch wird die Arretierung des Laufwerks gelöst, und durch das Übergewicht des oberen Kohlenhalters wird das Laufwerk in Bewegung gesetzt, bis die Kohlen zusammentreffen. In diesem Moment geht ein starker

Strom durch die Hauptspulen oben, diese ziehen den Eisenkörper in sich hinein und ziehen dadurch die Kohlen auseinander und arretieren zugleich das Laufwerk. Der Lichtbogen entsteht, und wenn nun allmählich die Kohlen mehr abbrennen, so daß der Widerstand in den Kohlen größer und dadurch der Hauptstrom schwächer wird, so überwiegt die magnetische Wirkung der Nebenspulen, die Arretierung wird losgelöst und die Kohlen können sich etwas senken usf. So werden die Kohlen

Fig. 133.



beim Abbrennen durch die Differentialregulierung zum langsamen Nachrücken von beiden Seiten gebracht.

Die Bogenlampen werden immer mit Laternen versehen, in deren oberem Aufsatz sich die Regulierungsvorrichtung befindet, während die Kohlen in der Glocke sich verschieben können.

In den meisten Fällen werden jetzt mehrere Bogenlampen parallel geschaltet, nämlich immer dann, wenn eine gemischte Beleuchtung mit Glühlicht und Bogenlicht eingerichtet ist.

Wenn in den Hauptleitungen eine Spannung von 110 oder 220 Volt herrscht, wie es gewöhnlich bei großen Stadtbeleuchtungen der Fall ist, so werden immer zwei oder vier Bogenlampen hintereinander in eine Leitung geschaltet, so daß lauter parallele Gruppen von je zwei oder vier Lampen vorhanden sind. Die Spannung, die an den Enden jeder Lampe herrschen muß, ist je nach der Stromstärke, mit der die Lampen betrieben werden, etwas verschieden. Folgende Tabelle gibt für Gleichströme zusammengehörige Werte von Stromstärke (in Ampere) und Spannung an den Klemmen der Lampe (in Volt):

Stromstärke	3, 6, 10, 12, 15, 20, 35 Ampere.
Klemmenspannung	36, 38, 41, 42, 43, 44, 45 Volt.

Wenn daher zwei Bogenlampen hintereinander in einem Zweig von 110 Volt Spannung brennen sollen, so muß man immer noch einen Zusatzwiderstand in denselben Kreis einschalten, der die übrige Spannung aufnimmt. Sollen z. B. zwei Lampen hintereinander mit je 12 Ampere brennen und ist die Spannung des Netzes gleich 110 Volt, so verbrauchen die Lampen davon bloß 84 Volt. Man muß daher einen Widerstand so wählen, daß der Spannungsverlust in ihm bei 12 Ampere Stromstärke gleich 26 Volt ist, d. h. er muß 2,2 Ohm betragen. Diese Zusatzwiderstände bestehen einfach aus nackten Drähten, die auf eine isolierende Unterlage (gewöhnlich aus Porzellan) aufgewickelt werden. Sie werden mit einem Schutzdeckel versehen und an der Wand gewöhnlich gleich in der Nähe eines Ausschalters für die Bogenlampen angebracht.

Die Brenndauer einer Bogenlampe hängt natürlich ab von der Länge und Dicke der Kohlenstäbe, die man in die Lampe einsetzt. Denn infolge der hohen Temperatur des Lichtbogens verbinden sich die Kohlen mit dem Sauerstoff der Luft und brennen allmählich ab. Man kann durchschnittlich rechnen, daß von jeder Kohle zirka 20 mm in der Stunde abbrennen. Für verschiedene Stromstärken nimmt man die Kohlen verschieden dick. Gewöhnlich werden die Kohlen so lang genommen, daß die Lampe 6 bis 10 Stunden brennt. Man hat aber auch mit Erfolg versucht, die Brenndauer der Lampen wesentlich zu vergrößern, und man erreicht das, indem man den Luftzutritt zum Lichtbogen beschränkt. Man schließt nämlich den Lichtbogen in eine besonders enge Glasglocke ein, zu der der Sauerstoff der Atmosphäre nicht hinzu kann. Mit solchen Dauerbrandbogenlampen kann man Brenndauern bis 150 Stunden erreichen. Die Spannung des Lichtbogens ist bei diesen eine bedeutend höhere als bei den Lampen mit offenem Lichtbogen, nämlich pro Lampe 70 bis 80 Volt.

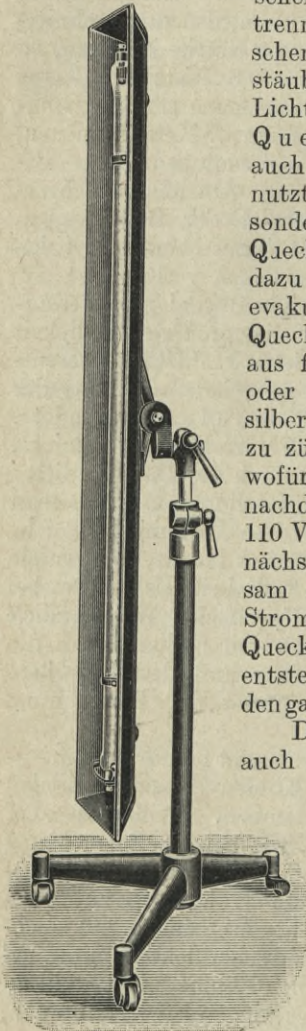
Der Verbrauch der bisher genannten Bogenlampen an elektrischer Energie im Verhältnis zu der erzeugten Lichtstärke ist für die verschiedenen Lampen etwas verschieden. Als mittlere Zahl kann man annehmen, daß eine Bogenlampe bei Gleichstrom für jedes Ampere, das sie verbraucht, etwa 100 Kerzen Lichtstärke gibt. Da nun eine solche Lampe an ihren Klemmen ungefähr 40 bis 50 Volt Spannung braucht, im Mittel 45 Volt, so folgt, daß man in einer Lampe für etwa 45 Watt 100 Kerzen erhält. Abzüglich der Verluste in den Zuleitungen kann man also durchschnittlich pro Kilowatt ein Licht von etwa 1600 Kerzen Stärke erhalten, so daß der Verbrauch an elektrischer Energie etwa 0,6 Watt pro Kerze beträgt. Aus dieser Zahl geht aber hervor, daß die neuen starken Glühlampen, die Halbwattlampen, die bloß 0,5 Watt pro Kerze brauchen, diesen Bogenlampen überlegen sind. Und da Glühlampen keine Bedienung und keinen Kohlenersatz, sondern nur nach Ablauf der Lebensdauer eine Erneuerung erfordern, so ist das Gebiet der Bogenlampen mit Reinkohlen (im Gegensatz zu den gleich zu besprechenden Effektkohlen) sehr eingeengt und geht ihnen im wesentlichen verloren.

Aber man hat schon seit längerer Zeit auch die Bogenlampe wesentlich verbessert, sie bei gleicher Stromstärke zu viel größerer Helligkeit gebracht und daher ihren Effektverbrauch bei gleicher Lichtstärke wesentlich verringert. Dies ist zuerst Bremer gelungen, indem er statt der gewöhnlichen Kohlenstäbe sogenannte Effektkohlen anwendete. Das sind Kohlen, welche durch Zumischung von Fluorsalzen des Calcium, Barium und Strontium imprägniert sind, so daß auch die Dämpfe dieser Salze Licht ausstrahlen. Je nach der Natur der Metaldämpfe erhält man so gelbes, rotes oder milchweißes Licht. Und diese Färbung hat nicht bloß den Vorteil, daß sie das Licht bedeutend wärmer macht, sondern sie hat auch noch den weiteren Vorteil, daß sie die Helligkeit des Lichtes bei gleicher Stromstärke bedeutend steigert, auf das $1\frac{1}{2}$ —2fache. Weil nämlich die verdampfenden Salze den Strom ziemlich gut leiten, kann man die Länge des Lichtbogens bedeutend größer machen und damit größere Helligkeit erzielen. Derartige Kohlen werden unter der Bezeichnung T-B-Kohlen in den Handel gebracht.

Die mit solchen Kohlen ausgerüsteten Lampen nennt man Flammbogenlampen. Man kann bei ihnen die Kohlen einander vertikal gegenüberstellen, wie bei gewöhnlichen Bogenlampen. Will man aber hauptsächlich starkes Licht nach unten werfen, wie bei der Beleuchtung von Schaufenstern u. dgl., so empfiehlt es sich, wie es Bremer zuerst getan hat, die Kohlen so anzuordnen, daß sie beide schräg nach unten gerichtet sind und an der untersten Stelle ihren Lichtbogen erzeugen. Der Nachteil dieser Lampen ist der, daß sie unangenehme und schädliche Dämpfe ausstrahlen. Sie sind deshalb im Innern geschlossener Räume nicht wohl zu brauchen. Aber ihr großer Vorteil besteht in dem geringen Effektverbrauch, welcher bloß 0,25 Watt pro Kerze beträgt, so daß diese Lampen den neuen Halbwattglühlampen noch erheblich überlegen sind. Auch Flammenbogenlampen mit erhöhter Brenndauer (80 Stunden Brenndauer) sind von der A.E.G. unter dem Namen Flammecolampe und von Körting und Mathiesen unter dem Namen Dialampe eingeführt worden. Da bei erhöhter Brenndauer der Lichtbogen ein-

geschlossen sein muß und da die Effektkohlen reichliche Dämpfe ausenden, so würden sich die inneren Abschlußglocken so dicht beschlagen, daß die Lichtstärke ganz bedeutend abnähme, wenn nicht durch eine besondere Form dieser Abschlußglocken bewirkt würde, daß der Beschlag nur an unschädlichen Stellen sich ansetzt.

Fig. 134.



Man kann einen Lichtbogen nicht bloß zwischen zwei sich zuerst berührenden und dann getrennten Kohlen erzeugen, sondern auch zwischen Metallen, namentlich zwischen leicht zerstäubenden Metallen. Am einfachsten entsteht der Lichtbogen an Quecksilber, und die darauf beruhenden Quecksilberbogenlampen werden jetzt auch oft zu Beleuchtungs- und Reklamezwecken benutzt, weil sie durch ihr grünlich-blaues Licht besonders auffallen. Man läßt den Lichtbogen in Quecksilberdampf statt in Luft brennen und benutzt dazu eine große, 50—100 cm lange Glasröhre, die 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. 134 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 die beiden Pole an 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.

Die Quecksilberbogenlampe erobert sich aber auch im Gebiet der eigentlichen Beleuchtung fort-dauernd neues Terrain, und zwar in der Form der Quarzlampe, und dies wegen ihrer außerordentlich guten Ökonomie, d. h. wegen ihres geringen Effektverbrauches pro Kerze.

In der Quarzlampe befindet sich ein kurzes Rohr aus Quarz, der Brenner, welches das Quecksilber enthält und in welchem sich der Quecksilberlichtbogen bildet. Da Quarz sehr viel höhere Temperaturen aushält als

Glas, ohne zu erweichen, so kann der Brenner mit starken Strömen betrieben werden, bei denen die Temperatur so hoch wird, daß der Dampfdruck des Quecksilbers ebenso groß ist, wie der Außendruck. Das Kippen des Brenners wird auf automatische Weise bewirkt. Die Helligkeit der Lampen ist infolge der hohen Temperatur eine sehr große. Lichtstärken

von über 3000 Kerzen werden von Lampen erzeugt, die bei 220 Volt mit 3,5 Ampere brennen. Die Ökonomie dieser Lampen ist infolge ihrer hohen Temperatur eine vorzügliche, sie brauchen pro Kerze nur ungefähr 0,25 Watt, übertreffen also die gewöhnlichen Bogenlampen erheblich und wetteifern mit den Flammenbogenlampen, vor denen sie den Vorzug haben, daß sie gar keine Bedienung brauchen. Für den Brenner werden 1000 Brennstunden garantiert. Das Licht ist durchaus ruhig, aber häßlich grünlich. Die Quarzlampen eignen sich daher nicht für Theater, Restaurationen oder ähnliche Orte, auch nicht für Straßenbeleuchtung, wohl aber für die Beleuchtung von Fabriken und überhaupt von Arbeitsräumen.

Ein Hauptvorteil des Quecksilberbogenlichts gegenüber dem gewöhnlichen Bogenlicht ist sein Reichtum an Strahlen von kurzer Wellenlänge, den violetten und ultravioletten Strahlen. Da diese Strahlen medizinisch für die Behandlung von Hautkrankheiten von großem Werte sind, da sie aber durch gewöhnliches Glas absorbiert werden, also aus der Röhre nicht herausdringen, so hat man für derartige Zwecke medizinische Quarzlampen konstruiert. Auch das sogenannte Uviolglas ist für ultraviolette Strahlen durchlässig und derartige Uviollampen werden auch in der medizinischen Praxis oft verwendet. Da die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts von der Atmosphäre stark absorbiert werden, in hochgelegenen Orten, den Höhenkurorten, aber noch reichlich vorhanden sind und dort den belebenden Einfluß auf den Organismus des Menschen ausüben, so kann eine Quarzlampe mit ihren ultravioletten Strahlen auch die Wirkung der Höhenkurorte ersetzen. In der Medizin wird sie deswegen unter der Bezeichnung „künstliche Höhensonne“ bereits vielfach benützt.

8. Kapitel.

Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes und ihre Anwendungen.

Inhalt: Elektrolyse. Sekundäre Prozesse. Gesetze von Faraday. Voltmeter. Theorie von Clausius-Arrhenius. Stromleitung in Elektrolyten. Elektronen. Elektrolyse in galvanischen Elementen. Polarisation. Sekundäre Elemente. Anwendungen: Bleiakkumulator. Edisonakkumulator. Benutzung der Akkumulatoren. Akkumulatorbahnen. Elektromobile. Galvanoplastik. Elektrochemie. Raffinierung der Metalle.

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 gewöhnlich 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 negativen Pol (Zinkpol) der Batterie verbundene Elektrode als Kathode, die mit dem positiven Pol verbundene als Anode (das eine von κατ', kat', weg, das andere von ἀν', an', hin, also „wegführende Bahn“ und „hinführende 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 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 in Wasser, wie Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure, 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 nicht metallischer 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 metallischen 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, ein Prozeß, der auf andere Weise nur durch große Hilfsmittel, wenn überhaupt, durchzuführen ist. 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 *ión*, 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 Flüssig-

keit 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 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.

Gerade solche sekundäre Prozesse sind es auch, welche bei der ersten Entdeckung der Elektrolyse den Irrtum erzeugten, daß es schien, als ob das Wasser selbst in seine Bestandteile zerlegt würde, weil bei dem Stromdurchgang durch Wasser sich immer an der negativen Elektrode Wasserstoff, an der positiven Sauerstoff entwickelte. Man glaubte deshalb, daß das Wasser durch den Strom direkt in seine Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt würde. Spätere Untersuchungen haben aber gezeigt, daß ganz reines Wasser, welches von allen Spuren von aufgelösten Salzen befreit ist, den elektrischen Strom fast gar nicht leitet, ein fast vollkommener Isolator ist, also auch nicht elektrolysiert werden kann. Wenn das Wasser einigermaßen gut leitet (Brunnenwasser leitet ganz gut), wie es bei den erwähnten Versuchen über Elektrolyse des Wassers der Fall war, so enthält es 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 und sich entwickeln. Der Rest der Salze verbindet sich an der positiven Elektrode mit dem Wasserstoff des Wassers und läßt Sauerstoff frei werden. So treten bei dem Durchgang des Stromes durch (nicht reines) Wasser allerdings 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.

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: Es ist bekannt, daß die Chemie für jeden Stoff eine gewisse Zahl, das Atomgewicht, gefunden hat, welche in Verbindung mit der chemischen Formel einer Verbindung sofort anzeigt, wieviel Gewichtsteile von jedem der konstituierenden Stoffe in einer Verbindung vorhanden sind.

Wenn z. B. die Chemie für Chlor (Cl) das Atomgewicht 35,5 und für Zink (Zn) das Atomgewicht 65,4 angibt, und wenn sie die Formel für Zinkchlorid $ZnCl_2$ schreibt, so heißt das: 71 Gewichtsteile (g, cg, mg usw.) Chlor verbinden sich mit 65,4 Gewichtsteilen (g, cg, mg ...) Zink zu 136,4 Gewichtsteilen Zinkchlorid.

Oder wenn Schwefel (S) das Atomgewicht 32, Sauerstoff (O) das Atomgewicht 16, Kupfer (Cu) das Atomgewicht 63,6 hat, und wenn die Formel für Kupfervitriol geschrieben wird SO_4Cu , so heißt das, daß 32 Gewichtsteile Schwefel mit 64 Gewichtsteilen Sauerstoff und 63,6 Gewichtsteilen Kupfer sich zu 159,6 Gewichtsteilen Kupfervitriol verbinden.

Die relativen Gewichtsmengen der Bestandteile in einer Substanz nennt man aber 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 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 $\frac{65,4}{2} = 32,7$ 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 klar machen. 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 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 $\text{Cl}_2 = 71$ g) und die äquivalente Menge Zinn, also $\frac{1}{2} \text{Sn} = 59$ 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 die Menge der ausgeschiedenen Ionen erstens abhängt von der Dauer des Stromes und um so mehr wächst, je länger man den Strom hindurchgehen läßt, und daß sie zweitens allein abhängt von der Stärke des Stromes. Es hängt also die Menge 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 so viel Ionen ab, wie ein Strom von 1 Ampere. Und der Strom von 1 Ampere Stärke scheidet in 10 Sekunden gerade so viel Ionen ab, wie ein Strom von 10 Ampere Stärke in 1 Sekunde. Es hängt also die in jedem Elektrolyten abgeschiedene Menge 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

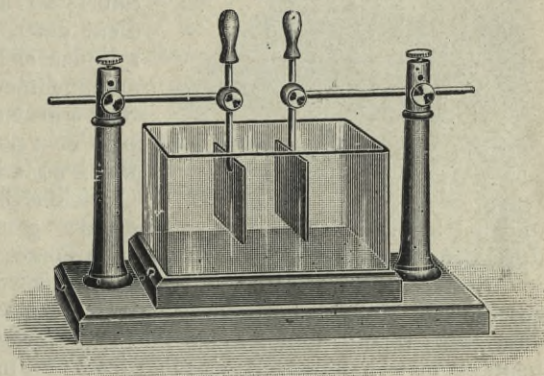
Ionen hängen also nur ab von der Zahl der Coulomb, die durch den Elektrolyten im ganzen hindurchgegangen sind. Es ist gleichgültig, ob diese in großer Menge eine kurze Zeit lang, oder in geringer Menge während einer langen Zeit hindurchgingen, bei derselben Gesamtzahl der durchgegangenen Coulomb ist auch die Gewichtsmenge der ausgeschiedenen 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, um so mehr Ionen scheidet er in einer bestimmten Zeit ab. Umgekehrt, je mehr Ionen ein Strom in bestimmter Zeit abscheidet, um so größer ist seine Stärke. Man kann also die chemischen Wirkungen des Stromes benutzen zur Messung der Stromstärke. Die Apparate, die dazu dienen, nennt man Voltmeter. Welche Flüssigkeit man in einem Voltmeter anwendet, ist ganz gleichgültig, da ja in allen Flüssigkeiten die Mengen der in gleichen Zeiten abgeschiedenen Ionen den Äquivalentgewichten proportional sind.

Praktisch im Gebrauch sind das Kupfervoltmeter, das Silbervoltmeter und das Knallgasvoltmeter.

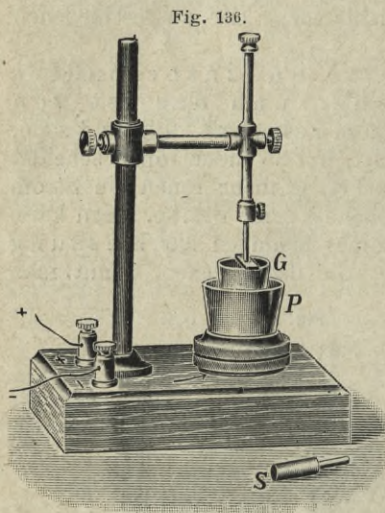
Fig. 135.



Beim Kupfervoltmeter (Fig. 135) tauchen zwei Platinplatten in eine Lösung von schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol). Läßt man den Strom eine bestimmte Zeit, etwa 1 Minute, hindurchgehen, dann scheidet sich auf der negativen Platinelektrode Kupfer ab, und aus der Menge des abgeschiedenen Kupfers, die man durch Wägung findet, kann man sofort die Stärke des Stromes bestimmen. Man braucht nur ein für allemal zu wissen, wieviel Kupfer der Strom 1 Ampere in 1 Minute ausscheidet, um sofort alle Stromstärken auf diese Weise in Ampere zu messen. Nun scheidet der Strom 1 Ampere in 1 Minute 19,76 mg Kupfer ab, wie genaue Messungen gelehrt haben. Man hat also aus der abgeschiedenen Menge des Kupfers sofort die Stromstärke in Ampere.

Für das Silbervoltmeter, bei welchem eine Lösung von salpetersaurem Silber angewendet wird, und dessen Anwendung bequem und genau ist, benutzt man gewöhnlich eine Form, welche in Fig. 136 abgebildet ist. Die Lösung von salpetersaurem Silber befindet sich in einem Tiegel P von Platin, welcher auf einem metallischen Boden steht, der mit dem negativen Pol verbunden ist. Dieser Platintiegel dient also gleich als negative Elektrode, an dem sich daher das elektrolytisch abgeschiedene Silber ansetzt. Als positive Elektrode wird ein kleiner Zylinder

von Silber, wie S, in die Lösung eingetaucht, und zwar nicht direkt in P, sondern in ein eingehängtes, mit Löchern zur Kommunikation der Flüssigkeiten versehenes Glasnäpfchen G. Bei der Elektrolyse der Lösung scheidet sich also Silber an dem Platintiegel ab, der Rest des Salzes, die Salpetersäure, scheidet sich an der positiven Elektrode, dem Silber, ab und verbindet sich mit diesem gleich wieder zu salpetersaurem Silber, welches sich in der Flüssigkeit auflöst. Man hat dadurch den Vorteil, daß die Lösung immer gleichmäßig konzentriert bleibt. Denn gerade so viel Silber, wie sich an den Platintiegel ansetzt, wird nach dem Faradayschen Gesetz von dem Silberstab aufgelöst. Das Glasgefäß dient dazu, um etwa von dem Silberzylinder sich ablösende gröbere Teile aufzunehmen. Nun scheidet ein Strom von der Stärke 1 Ampere in 1 Minute 67,08 mg Silber ab. Man hat also aus der



Gewichtsdifferenz des Platintiegels vor

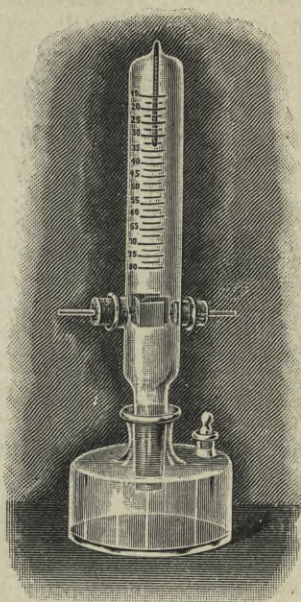
und nach dem Stromdurchgang und der gemessenen Zeit des Stromdurchgangs sofort die Stromstärke in Ampere.

Statt, wie in diesen beiden Fällen, nur von dem einen Ion die abgeschiedene Menge zu bestimmen, kann man sie auch von beiden Ionen zusammen messen und daraus die Stromstärke in Ampere finden. Dies benutzt man bei dem Knallgasvoltameter. In diesem wird verdünnte Schwefelsäure angewendet, die an Platinelektroden beim Stromdurchgang Wasserstoff und Sauerstoff gasförmig entstehen läßt (durch sekundäre Prozesse). Beide Gase werden zusammen aufgefangen und bilden dann bekanntlich Knallgas, woher der Name des Voltameters kommt. Wenn man das Volumen des etwa in 1 Minute gebildeten Knallgases bestimmt, so kann man daraus die Stromstärke in Ampere finden, da 1 Ampere in 1 Minute 10,44 ccm (bei normalem Druck und normaler Temperatur) Knallgas entwickelt.

In eine handliche Form hat F. Kohlrausch das Knallgasvoltameter (Wasservoltameter) gebracht. Dasselbe besteht, wie Fig. 137 zeigt, aus einem in Kubikzentimeter geteilten weiten Rohr, welches durch einen Schliff in den Hals eines weiten Gefäßes eingesetzt wird. Gefäß und Rohr werden mit verdünnter Schwefelsäure (10%) gefüllt. In dem Rohr befinden sich zwei Platinelektroden, von denen die eine gabelförmig die andere umfaßt. Die Zuleitungsdrähte gehen durch Kautschukstopfen nach außen und tauchen in zwei Quecksilbernäpfe, die auf dem Fußbrett des Apparates angebracht sind. Das entwickelte Knallgas treibt die Flüssigkeit aus dem geteilten Rohr heraus und sein Volumen wird dann direkt an der Röhre abgelesen, seine Temperatur an dem in der Röhre befindlichen Thermometer.

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 dieser Erscheinungen bietet die Theorie der Lösungen von Clausius-Arrhenius, welche mit allen aus ihr gezogenen Folgerungen bisher ausnahmslos bestätigt worden ist. Nach dieser Theorie besteht jedes zusammengesetzte Molekül, z. B. Chlornatrium (NaCl), aus zwei Bestandteilen, die von vornherein entgegengesetzt elektrisch sind, dem positiven Metall und dem negativen Rest. Diese mit starken elektrischen Ladungen versehenen Bestandteile eines Moleküls sind die Ionen. Das Molekül ist daher als Ganzes unelektrisch. Wenn ein solches Salz in einer Flüssigkeit, etwa 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 sind jedoch im Innern der Flüssigkeit überall dieselbe Zahl von positiven und negativen Ionen vorhanden. Das Innere der Flüssigkeit bleibt also scheinbar unverändert.

Fig. 137.



Anders 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 Teilmoleküle, 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.

Nun sagt aber das Faradaysche Gesetz aus, daß die Ionen in allen Flüssigkeiten immer in äquivalenten Mengen abgeschieden werden. Daher müssen sie sich auch in äquivalenten Mengen an der Stromleitung beteiligen. Das heißt mit anderen Worten: 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, 107,9 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 Gramm äquivalent einer Substanz diejenige Anzahl Gramme der Substanz, welche gleich dem Äquivalentgewicht ist. Also 1 Gramm äquivalent Natrium sind 23 g Na, 1 Gramm äquivalent Silber sind 107,9 g Ag, 1 Gramm äquivalent Zink sind 32,7 g Zn usw.

Wir können nun berechnen, wie viel Coulomb mit jedem Gramm äquivalent einer Substanz verbunden 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 nach jeder Richtung durch den Stromkreis geht. Nun scheidet der Strom 1 Ampere in 1 Minute aus salpetersaurem Silber (nach S. 150) 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 (107,9 g) verbunden mit

$$\frac{107,9}{0,001118} = 96\,510 \text{ Coulomb.}$$

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

Ein Grammäquivalent eines jeden Ions ist mit 96 510 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 96 510 Coulomb positive und negative Elektrizität durch die Flüssigkeit.

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 dreier- oder vierwertige Atom mit drei oder vier Atomen der Elektrizität verbunden. Die Elektrizität zeigt sich als ebenso atomistisch zerteilt, wie die gewöhnliche Materie. Wir müssen unterscheiden zwischen den Atomen, den Ionen und den Molekülen eines Stoffes. Ein Atom Wasserstoff ist ein für sich allein bestehender Körper, der eine große Reaktionsfähigkeit hat und sich mit anderen Stoffen verbinden will, ein Molekül Wasserstoff ist die Verbindung zweier Atome Wasserstoff und ist nicht reaktionsfähig, und endlich ein Ion Wasserstoff ist die Verbindung eines Atoms Wasserstoff mit einem Atom der Elektrizität, einem Elektron. Ein Wasserstoffion ist also eine Verbindung von Wasserstoff mit positiver Elektrizität, so wie Chlorwasserstoff eine Verbindung von Wasserstoff mit Chlor ist. Die Atome der Elektrizität gehen mit den Atomen anderer Stoffe chemische Verbindungen ein, und eine solche Verbindung ist eben ein Ion.

Eine Folgerung aus unseren bisherigen Betrachtungen ist diese: Immer, wenn ein elektrischer Strom durch eine zersetzbare Flüssigkeit fließt, findet Elektrolyse statt. Also muß auch in einem geschlossenen galvanischen Element selbst, das ja auch von seinem eigenen Strom durchflossen wird, elektrolytische Zersetzung der Flüssigkeiten eintreten. Und das ist in der Tat der Fall. Denken wir uns z. B. ein Daniell'sches Element, bestehend aus Kupfer in Kupfervitriol und Zink in verdünnter Schwefelsäure vom Strom durchflossen; so werden die beiden Flüssigkeiten zersetzt. Kupfervitriol CuSO_4 wird zerlegt in Kupfer Cu und SO_4 , welches nicht frei bestehen kann. Die verdünnte Schwefelsäure wird zerlegt in Wasserstoff H_2 und SO_4 . In dem Element selbst ist nun Kupfer die negative Elektrode,

denn der Strom fließt ja innerhalb des Elements vom Zink zum Kupfer. 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 metallischen Kupfer. Der Rest SO_4 aus dem Kupfervitriol geht in der Richtung zum Zink. Zugleich aber kommt von der elektrolysierten Schwefelsäure freier Wasserstoff H_2 diesem Rest SO_4 entgegen (nach der Kupferelektrode hin), und diese beiden Komponenten verbinden sich wieder zu Schwefelsäure H_2SO_4 . Der andere Bestandteil der elektrolysierten Schwefelsäure SO_4 geht zum Zink, welches in dem Element ja positive Elektrode ist, und verbindet sich mit diesem sofort zu schwefelsaurem Zink (Zinkvitriol) SO_4Zn . Das Resultat dieser chemischen Vorgänge in der Kette 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 wirkt.

Eine weitere Folgerung aus unseren Betrachtungen, die von hervorragender Bedeutung ist, ist diese: Wenn man einen galvanischen Strom durch eine Zersetzungszelle schickt, so muß die Zelle dadurch zu einem galvanischen Element werden, d. h. es muß in ihr eine elektromotorische Kraft auftreten, welche selbst umgekehrt imstande ist, einen Strom zu erzeugen. Man kann das in gewissen Fällen a priori einsehen. Lassen wir z. B. den Strom vermittels zweier Platinplatten durch eine Lösung von salpetersaurem Silber gehen. An sich besitzen zwei Platten von gleichem Metall, die in eine Flüssigkeit tauchen, keine elektromotorische Kraft. Schickt man nun aber einen Strom durch diese Zelle hindurch, so wird das salpetersaure Silber elektrolysiert, und es scheidet sich an der einen Platinplatte Silber ab, welches diese Platte überzieht. In der Zersetzungszelle stehen also jetzt nicht mehr zwei reine Platinplatten, sondern eine reine Platinplatte und eine mit Silber überzogene Platinplatte. Zwei verschiedene Metalle in einer Flüssigkeit sind aber elektrisch gegeneinander wirksam; folglich muß durch die Elektrolyse in der Zersetzungszelle eine elektromotorische Kraft erzeugt sein. Diese Forderung einer einfachen Überlegung zeigt sich nun tatsächlich in der Natur erfüllt. Wenn wir nach der Elektrolyse die Zelle mit einem Galvanometer verbinden (also ohne die ursprüngliche Stromquelle, die die Elektrolyse hervorgerufen hat), so fließt ein Strom, der die Nadel des Galvano-

meters zum Ausschlagen bringt, ein Beweis, daß die Zelle durch die Elektrolyse selbst zu einer Art von galvanischem Element geworden ist. Aber nicht nur dann, wenn sich die eine Elektrode mit einer Schicht eines anderen Metalles überzieht, tritt in der Zersetzungszelle eine elektromotorische Kraft auf. Selbst in Fällen, wo man eine Veränderung der Elektroden nicht erkennen kann und nicht vermuten sollte, sind die Elektroden nach dem Durchgang eines Stromes elektromotorisch gegeneinander wirksam. Tauchen wir z. B. zwei Platinplatten in verdünnte Schwefelsäure und schicken wir einen Strom durch die Zersetzungszelle hindurch, so wissen wir, daß sich an der einen Elektrode Wasserstoff, an der anderen Sauerstoff bildet. Diese Gase, sollte man meinen, verändern die Platinelektroden nicht, so daß diese hierbei nicht elektromotorisch gegeneinander wirksam werden können. Trotzdem werden sie es hier auch. Man hat für diese Erscheinung das Wort *Polarisation* eingeführt. Man sagt, die Elektroden werden polarisiert. Immer, wenn ein Strom durch eine Zersetzungszelle 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 Zersetzungszelle ein elektrischer Strom. Man nennt diesen Strom den *Polarisationsstrom*.

Der *Polarisationsstrom* fließt durch die Zelle immer in entgegengesetzter Richtung, wie der ursprüngliche Strom, den man auch den polarisierenden nennt. Z. B. 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 im Element von der Wasserstoffelektrode zur Sauerstoffelektrode.

Die elektromotorische Kraft des *Polarisationsstromes* hängt davon ab, welche Metalle und welche Flüssigkeiten in der elektrolytischen Zelle sich befinden. Z. B. bei Platinelektroden in verdünnter Schwefelsäure entsteht eine elektromotorische Kraft von 2,7 Volt, bei Bleielektroden in verdünnter Schwefelsäure eine solche von etwa 2 Volt.

Da also eine elektrolytische Zersetzungszelle durch den polarisierenden Strom zu einem galvanischen Element wird, so bezeichnet man sie auch als *sekundäres Element*. 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.

Wenn ein sekundäres Element hergestellt ist, etwa durch Beladung von Platinplatten mit Wasserstoff und Sauerstoff aus verdünnter Schwefelsäure, und nun die Elektroden durch einen äußeren Draht miteinander verbunden werden, so daß der *Polarisationsstrom* fließt, so übt dieser, wie jeder Strom, auf die Schwefelsäure des Elements eine elektrolytische Wirkung aus. Aus der verdünnten Schwefelsäure scheidet sich (durch sekundäre Prozesse) Wasserstoff und Sauerstoff ab, und zwar scheidet sich innerhalb des Elements der Wasserstoff an derjenigen Elektrode ab, welche mit Sauerstoff beladen war, der Sauerstoff an derjenigen, welche mit Wasserstoff beladen war. Diese Gase vereinigen sich an jeder von

beiden Elektroden wieder zu Wasser. Folglich vermindert sich durch den Strom die Polarisation der Elektroden, und daher muß der Strom, 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.

Solche sekundäre Elemente kann man nun natürlich mit allen möglichen Metallen und Flüssigkeiten herstellen.

Das Verdienst aber, 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 und sendete durch dieses System den primären Strom. Dabei 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 . Von diesem letzteren wird sofort ein Sauerstoffatom durch das Blei weggenommen. Je zwei solcher Sauerstoffatome verbinden sich nämlich mit einem Atom Blei zu Bleisuperoxyd (PbO_2), während die übrigbleibende wasserfreie Schwefelsäure SO_3 sofort Wasser aus der Lösung aufnimmt und wieder zu SO_4H_2 wird. Das Resultat der Elektrolyse ist also, daß an derjenigen Bleielektrode, welche mit der negativen Elektrode der primären Batterie verbunden ist, sich freier Wasserstoff abscheidet, während an der positiven Elektrode sich Bleisuperoxyd bildet. War die negative Elektrode etwas oxydiert (durch Stehen an der Luft oder auf andere Weise), so nimmt der an ihr sich entwickelnde Wasserstoff diesen Sauerstoff weg, er reduziert sie und macht sie zu reinem metallischen Blei. Wenn also die Polarisation vollständig ist, ist aus dem System ein galvanisches Element geworden, bestehend aus

Blei | verdünnte Schwefelsäure | Bleisuperoxyd.

Ein solches Element hat eine elektromotorische Kraft von 2 Volt. Wenn das Element aber eben erst gebildet ist, so ist die negative Bleielektrode noch mit Wasserstoff bedeckt, dann hat man also das Element wasserstoffbeladenes Blei | Schwefelsäure | Bleisuperoxyd, und dessen elektromotorische Kraft ist größer, nämlich gleich 2,4 bis 2,6 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.

So einfach jedoch, wie eben angegeben ist, läßt sich ein wirksames Plantésches Element nicht herstellen. Es genügt nicht, einfach zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure zu tauchen, sie zu laden und dann den Polarisationsstrom zu benutzen. Dieser wäre dann von sehr geringer Dauer und von sehr rasch abnehmender elektromotorischer Kraft. Man muß vielmehr das Element erst behandeln, formieren. Es kommt ja darauf an, daß die eine Bleiplatte durch den an sie herantretenden Sauerstoff möglichst vollständig in Bleisuperoxyd verwandelt werde. Der Sauerstoff aber entwickelt sich aus der Schwefelsäure an der Oberfläche des Bleis und greift infolgedessen zuerst nur die Oberflächenschicht an. Es ist also dafür zu sorgen, daß der Sauerstoff womöglich auch in die Bleiplatte hineindringt und sie auch innen oxydiert. Dies erreichte Planté dadurch, daß er ein Element nicht auf einmal, sondern der Reihe nach an vielen Tagen, sogar monatelang, lud und dann durch Schließung wieder entlud. Dadurch dringt der Sauerstoff von Tag zu Tag etwas tiefer in das Blei ein, und bei jeder neuen Ladung wird dann etwas mehr von der gesamten Masse des Bleis in Superoxyd verwandelt. In dieser Weise behandelte Planté seine Elemente viele Monate lang. Erst dann erreichen sie das Maximum ihrer Wirksamkeit, erst dann können sie so viel Ladung aufnehmen, haben sie eine solche Kapazität, wie sie ihrem Bleigewicht entspricht. Nach dieser Behandlung, also bei einem fertigen Plantéschen Element, genügt eine einmalige Ladung, um dasselbe in gebrauchsfähigen Zustand zu versetzen.

Ist nun ein solches Plantésches Element geladen, so liefert es zu jeder Zeit, wenn man die Elektroden durch einen Schließungskreis verbindet, elektrischen Strom, einen Strom, der annähernd im ganzen dieselbe Elektrizitätsmenge mit sich führt, wie der ladende Strom. Solange die Bleielektroden chemisch verändert sind, solange enthält das Element die Fähigkeit in sich, einen Strom zu liefern. Die chemische Veränderung bleibt nun, wenn das Element ungeschlossen gehalten wird, längere Zeit bestehen. Es ist dann also möglich, eine gewisse Elektrizitätsmenge dadurch, daß man sie zum Laden eines Plantéschen Elements verwendet, gewissermaßen eine Zeitlang aufzuheben. Die Elektrizität ist in Form von chemischer Veränderung in dem Element aufgespeichert und kann nach einiger Zeit wieder aus demselben herausgezogen werden. 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 (Sammelr)**.

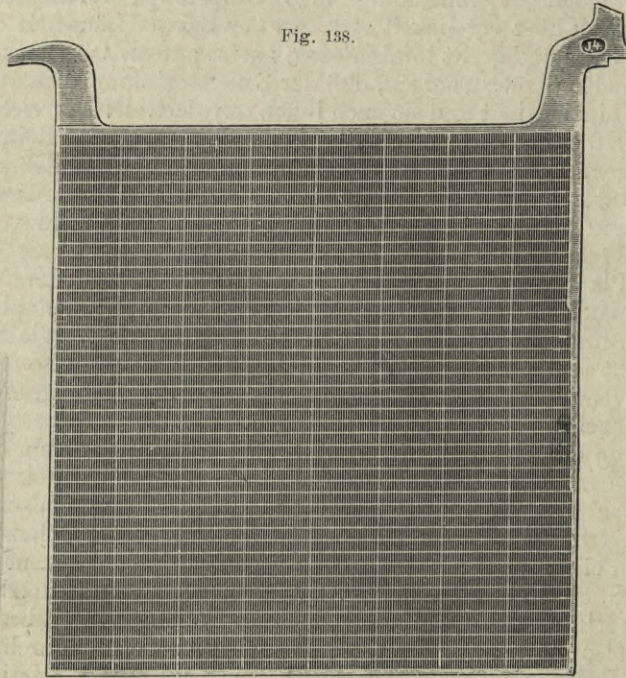
In Deutschland sind am meisten verbreitet die Hagerer Akkumulatoren, welche von der Akkumulatorenfabrik in Berlin und Hagen i. W. fabriziert werden und welche sich durch großen Nutzeffekt und sehr große Haltbarkeit auszeichnen. Die Bleiplatten dieser Elemente sind nach dem Verfahren von Planté formiert. Die positiven Bleiplatten werden, wie Fig. 138 zeigt, aus dünnen und engen Rippen gebildet, die durch Querrippen zusammengehalten werden. Die Figur läßt die schmalen Längsrippen und die breiten Querrippen erkennen.



Die Säure kann bei ihnen die ganze Oberfläche bespülen, so daß die Platten leicht nach dem Plantéschen Verfahren formiert werden können.

Die negativen Platten, welche Fig. 139 zeigt, 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 Blei-

Fig. 138.



blech als Kasten umgeben und werden deshalb auch **Kastenplatten** genannt.

Die Bleiplatten werden, wie die Figuren zeigen, gleich in der Form gegossen, daß sie rechts und links je eine vorspringende Nase haben, mit denen sie auf dem Rand der Gefäße, in die sie eingehängt werden, aufsitzen.

Eine Zahl formierter positiver und eine Zahl 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 Platte zwischen zwei negativen hängt.

Fig. 140 zeigt eine Batterie von drei Akkumulatoren in Glasgefäßen. Die gleichnamigen Platten jedes Akkumulators (hier sind in jedem 6 positive und 7 negative Platten) sind alle durch eine Bleileiste miteinander verbunden und die Bleileiste der negativen Platten der einen Zelle ist so lang, daß sie

gleichzeitig die positiven Platten der nächsten Zelle aufnimmt. Die Verbindung der Platten geschieht nur durch Löten. Vielplattige Akkumu-

Fig. 139.

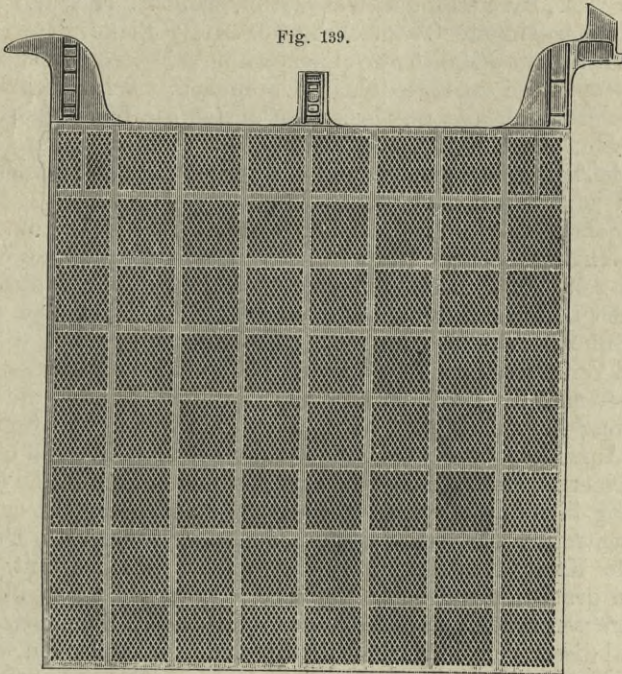
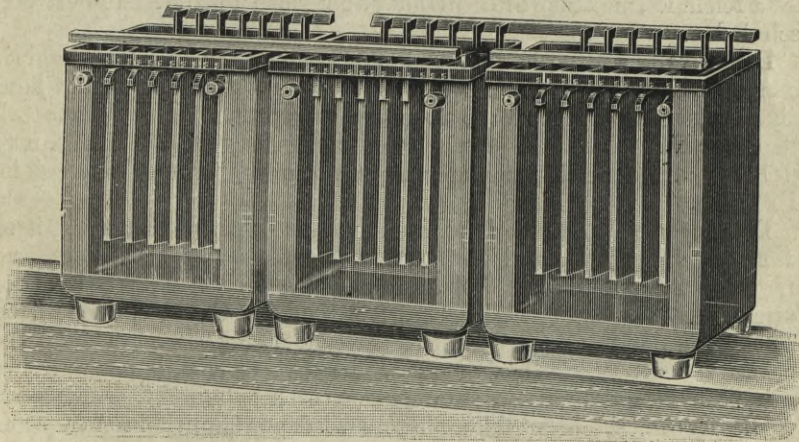


Fig. 140.



latoren werden in Holzgefäßen montiert. Jede Zelle wird isoliert auf Ebonitfüße gestellt.

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 wird ja bei der Ladung das Bleisuperoxyd einerseits und das reine Blei andererseits durch die Aufnahme der Gase, Sauerstoff und Wasserstoff, gebildet. Hat nun ein Akkumulator eine bestimmte Oberflächengröße seiner Elektroden, so können diese in jedem Zeitabschnitt nur eine bestimmte Menge Gas zu ihrer Umbildung (Oxydation oder Reduktion) brauchen. Wird mehr Gas entwickelt, so entweicht das nutzlos. Also dürfen die Ladungsströme nicht zu stark sein. 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.) Wenn dieser Wert der Spannung erreicht ist, muß die Ladung aufhören, da weitere Ladung nutzlose Gasentwicklung hervorbringt. 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 nämlich mit der Konzentration der Säure. Bei der Entladung wird, wie wir gesehen haben, diese Säure verbraucht, so daß daraus die niedrigere Spannung resultiert. 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. Wenn dieser Wert erreicht ist, muß man die Entladung abbrechen und die Akkumulatoren frisch laden.

Die Akkumulatoren halten am besten, wenn sie mit der vorgeschriebenen Stromstärke geladen und entladen werden. Aber es schadet ihnen auch nicht sehr, wenn man sie vorübergehend mit höherer Stromstärke entladet. Nur darf man darin nicht zu weit gehen. Ein Kurzschluß, d. h. eine Entladung mit sehr großer Stromstärke, ruiniert die Platten.

Die höchste Ladung, die ein sekundäres Element abgeben kann, nennt man seine *Kapazität*. Diese hängt ab von der Masse des in Superoxyd umgewandelten Bleis, also von der Beschaffenheit und dem Gewicht des Elements und insbesondere von der Größe der Oberfläche der positiven Platte, an der das Bleisuperoxyd gebildet ist. Sie hängt aber auch ab von der Stärke des Stromes, mit dem man entladet, und zwar so, daß sie bei größerer Entladungsstromstärke abnimmt.

Die Kapazität eines Akkumulators wird gewöhnlich in *Amperestunden* angegeben. Man konstruiert die Akkumulatoren jetzt gewöhnlich für eine Entladungsdauer von 1—10 Stunden. Der kleinste Akkumulator liefert bei einer Entladungsstromstärke von 4,5 Ampere den Strom 7,5 Stunden lang, hat also eine Kapazität von 33,7 Amperestunden. Bei höherer Entladungsstromstärke sinkt aber die Kapazität.

So liefert derselbe Akkumulator, wenn er mit 9 Ampere entladen wird, den Strom bloß 3 Stunden, hat also dann bloß 27 Amperestunden Kapazität.

Eine wesentliche Frage ist nun 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. Dieser Nutzeffekt wird um so größer, je besser präpariert das Element ist.

Um die Menge der aufgespeicherten Energie zu finden, bestimmt man die Spannung an den Polen des Elements während der Ladung und die Stärke des Stromes, mit dem man ladet. Das Produkt dieser Größen gibt die in jeder Sekunde auf den Akkumulator übertragene elektrische Energie in Watt. Diese, multipliziert mit der gesamten Ladungszeit, gibt die gesamte aufgespeicherte Energie. Man drückt diese gewöhnlich in Wattstunden aus, indem man den Effekt in Watt mit der Ladungszeit in Stunden multipliziert.

Ebenso bestimmt man die bei der Entladung des Akkumulators abgegebene Energie als das Produkt aus der Spannung des Akkumulators bei der Entladung, der Stromstärke bei der Entladung und der Entladungszeit. Auch diese Energie wird in Wattstunden ausgedrückt. Das Verhältnis der Zahl Wattstunden bei der Entladung zu der bei der Ladung ist also der 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 bis 75 Proz. der eingeführten Energie von den Akkumulatoren wieder erhält.

Von Interesse ist es, die in einem Akkumulator aufgespeicherte Energie, die man in Wattstunden ausdrückt, mit seinem Gewicht zu vergleichen. Die Zahl der Wattstunden ist gleich der Kapazität in Amperestunden multipliziert mit 2, da jeder Akkumulator rund 2 Volt Spannung besitzt. So besitzt der oben angeführte Akkumulator bei $7\frac{1}{2}$ stündiger Entladung eine Energie von 67 Wattstunden, und da er mit Säure 12,6 kg wiegt, so enthält er pro Kilogramm $5\frac{1}{2}$ Wattstunden aufgespeichert. Das ist ziemlich wenig. Es gilt auch diese Zahl nur für stationäre, feststehende Akkumulatoren. Bei transportablen Akkumulatoren hat man das Gewicht so stark reduziert, daß bei ihnen pro Kilogramm etwa 30 Wattstunden aufgespeichert sind.

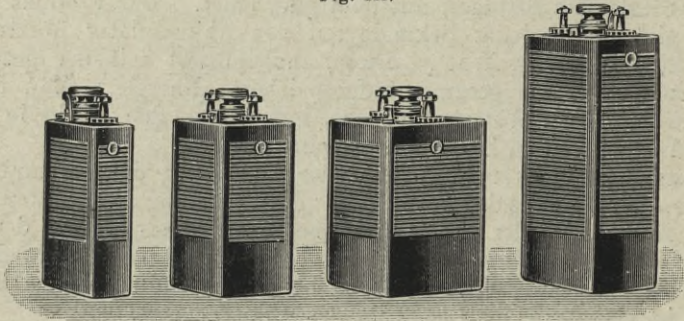
Obwohl die Akkumulatoren im Grunde nur galvanische Elemente sind, allerdings solche von besonderer Art, sind sie doch ungleich mehr wie diese zur Erzeugung von starken Strömen geeignet. Während nämlich die galvanischen Batterien einen öfteren Wechsel der Platten und Flüssigkeiten erfordern, da die einen sowohl wie die anderen sich während der Stromabgabe fortwährend ändern, ist das bei den Akkumulatoren nicht der Fall. Auch diese ändern sich zwar, während sie Strom abgeben, aber diese Veränderung wird vollständig wieder rückgängig gemacht durch die darauffolgende neue Ladung. Die Akkumulatoren sind gewissermaßen umkehrbare galvanische Batterien. Daher brauchen sie keinen Wechsel der Metalle und Flüssigkeiten, keine fortwährende Überwachung und dauernde komplizierte Behandlung, sondern die bloße Ladung mit

einem passend starken Strom macht sie wieder gebrauchsfertig, und nur von Zeit zu Zeit muß für die etwa verspritzte oder verdampfte Säure eine Nachfüllung geschehen.

Neben den seit Jahrzehnten verbreiteten Bleiakkumulatoren hat seit einigen Jahren ein anderer, von Edison konstruierter Akkumulator fortdauernd weitere Verbreitung gewonnen, da er eine Reihe von Annehmlichkeiten besitzt, die den Akkumulatoren bisher abgingen.

Der Edisonakkumulator ist eine Nickeleisenzelle mit 21prozentiger Kalilauge als Flüssigkeit. In Fig. 141 sind 4 Typen dieser

Fig. 141.



Akkumulatoren dargestellt. Sie bestehen aus einem Kästchen aus vernickeltem gerippten Eisenblech, sind daher unzerbrechlich. Im Innern des Kästchens befinden sich die Platten, von denen die negativen Eisenoxyd, die positiven Nickeloxyd enthalten.

Fig. 142.



Die negativen Elektroden bestehen aus dünnen Platten aus Stahlblech, welche aber nur als Träger der wirksamen Massen dienen. In diese Platten sind rechteckige Löcher, Fenster, eingeschnitten, welche von Kästchen aus sehr dünnem Stahl ausgefüllt werden, die nun die wirksamen Massen enthalten, und zwar werden diese Massen in Form von Briketts in die Kästchen gelegt und das Ganze, Blech mit Kästchen und Briketts, unter hohem Druck zusammengepreßt. Fig. 142 zeigt eine solche Elektrode mit 24 Kästchen. Die Briketts auf der negativen Platte bestehen aus sehr fein gepulvertem Eisenoxyd und Quecksilberoxyd. Dagegen werden die positiven Platten aus dünnen Rohren von durchlöcherter Eisenblech hergestellt, und der Inhalt derselben besteht aus Nickeloxydhydrat mit einem reichlichen Zusatz von dünnen Nickelflocken. Wenn nun ein Strom durch die Flüssigkeit gesendet wird, so zerlegt dieser zwei Moleküle Kalilauge (KOH) und es tritt an der Nickelelektrode $[\text{Ni}(\text{OH})_2]$ Sauerstoff auf, welcher die Nickelverbindung in Nickelsuperoxyd $[\text{Ni}(\text{OH})_3]$ verwandelt, während an der Eisenlektrode durch den dort auftretenden Wasserstoff die dortige Eisenverbindung $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ zu Eisen $[\text{Fe}]$ reduziert wird; zugleich bilden

sich die zwei Moleküle Kalilauge wieder, indem an der Eisenelektrode ein Wassermolekül zersetzt, an der Nickelelektrode eines gebildet wird. Das Resultat ist also, daß die Flüssigkeit sich gar nicht ändert, sondern daß nur dem Eisen eine Hydroxylgruppe (OH) weggenommen und diese dem Nickel zugeführt ist. Ist die Zelle nun geladen und verbindet man jetzt die Elektroden, so fließt der Entladungsstrom, der umgekehrt das Nickel wieder reduziert, das Eisen oxydiert. Die Nickelelektrode ist für den Entladungsstrom die positive. Da die Flüssigkeit nicht verändert wird, sondern nur als Überträger dient, so kann ihre Menge sehr gering genommen werden. Die elektromotorische Kraft eines Edisonakkumulators bei der Entladung ist 1,23 Volt. Diese ist zwar bedeutend kleiner als bei den Bleiakkumulatoren. Aber andererseits kann der Edisonakkumulator bei gleicher Plattengröße einen sehr viel stärkeren Entladungsstrom vertragen. Ferner kann er wochen- und monatelang geladen stehen bleiben, ohne daß unerwünschte Nebenprozesse eintreten. Weiter ist die Kapazität dieser Akkumulatoren unabhängig von der Stärke des Entladungsstromes. Die oben abgebildeten vier Zellen werden je 7 Stunden mit 7,5, 15, 22,5 und 30 Ampere geladen und erlauben bei der Entladung auch dieselben Stromstärken etwa 5 Stunden lang zu entnehmen. Infolgedessen stellt sich die aufgespeicherte Energie pro Kilo (die obigen Zellen wiegen gefüllt 2,4; 4,4; 6,7; 7,9 Kilo) auf ca. 20—25 Wattstunden.

Die Akkumulatoren spielen eine höchst bedeutende Rolle in den elektrischen Zentralstationen, die Gleichstrom liefern. Diese müssen nämlich imstande sein, täglich den Maximalbedarf an Strom für die Beleuchtung in einer Stadt zu befriedigen. Dieser Maximalbedarf findet aber im wesentlichen nur in der kurzen Zeit vom Dunkelwerden bis gegen 10 Uhr abends statt, nur in dieser Zeit werden die Maschinen voll ausgenutzt. Durch Einschalten einer Akkumulatorenbatterie kann man nun aber die Maschinen sehr viel kleiner wählen. Man läßt sie, wenn wenig Lichtbedarf ist, die Akkumulatoren laden, und abends unterstützen dann die Akkumulatoren die Maschine zur Befriedigung des Maximalbedarfs. Gerade in Zentralstationen sind die Akkumulatoren am meisten angewendet.

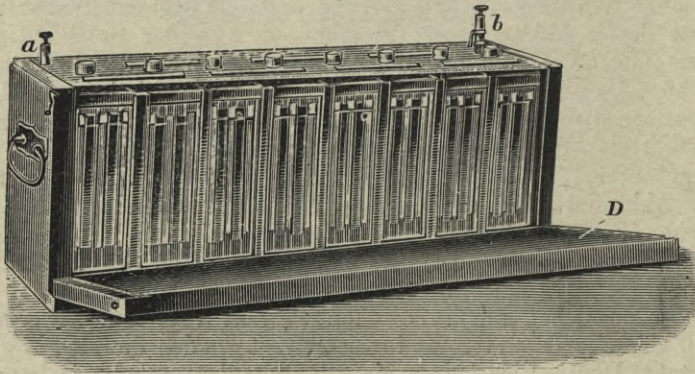
Wenn elektrische Trambahnen von einer Zentrale aus betrieben werden, so erfährt der gesamte Strom, den die Dynamomaschine liefert, sehr viele und plötzliche Veränderungen seiner Stärke, da jeder Trambahnwagen beim Abgehen viel mehr Strom braucht, als bei gleichmäßiger Fahrt und andererseits wieder streckenweise vor den Haltestellen ganz ohne Strom, bloß mit der erlangten lebendigen Kraft, fahren kann. Diese stark wechselnden Belastungen haben aber auf die Antriebsmaschine die Wirkung, daß ihr Kohlenverbrauch erheblich größer wird, als wenn sie unter konstanter Belastung stehen. In diesem Falle bietet eine Akkumulatorenbatterie, die parallel zur Dynamomaschine, also auch parallel zu den Trambahnen geschaltet wird, eine vorzügliche Abhilfe. Denn die Batterie liefert, wenn sie groß genug gewählt ist, den Ausgleich für die Stromschwankungen, und die Dynamomaschine hat im wesentlichen nur immer die Batterie zu laden, kontinuierlich, auch wenn diese Strom abgibt. Man nennt solche Batterien Pufferbatterien. Sie wirken so, als ob der wechselnde Strombedarf, bevor er die Dynamomaschine

alteriert, durch die Akkumulatoren pufferweise in seinen Wechseln geschwächt und gleichmäßig gemacht wird.

Allgemein dient in den meisten Betrieben, in denen überhaupt Elektrizität benutzt wird, eine Akkumulatorenbatterie als ein Reservoir, welches die Elektrizität aufnimmt und zu beliebiger Zeit wieder abgibt. Die Dampfmaschinen, die in den meisten Fabriken eine vielfach wechselnde Belastung haben, arbeiten bei Vorhandensein einer Akkumulatorenbatterie gleichmäßiger und daher ökonomischer, weil sie eben bei geringerer Belastung sofort die Batterie laden und diese Arbeit dadurch zum Aufspeichern bringen können.

Für geringen Bedarf an Elektrizität, wie er z. B. bei physikalischen Vorträgen in den Lehranstalten vorkommt, sind die Akkumulatoren ein sehr vorzüglicher Ersatz der galvanischen Elemente. Fig. 143 zeigt z. B.

Fig. 143.



einen für derartige Zwecke geeigneten, tragbaren Bleiakkumulator von 16 Volt Spannung, der also acht 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. So werden z. B. Akkumulatoren von der in Fig. 143 gezeichneten Größe mit etwa 3 bis 4 Ampere geladen. Diese Ladungen nimmt man da, wo durch städtische Zentralen Gleichstrom vorhanden ist, natürlich am besten mit dem Zentralenstrom 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 oder auch mehrere parallel geschaltete Glühlampen vor. Der in die Akkumulatoren fließende Strom kann dann höchstens so groß sein, wie ihn die Glühlampen bei der angewendeten Spannung durchlassen. Das Schema der Stromleitung ist dann durch Fig. 144 gegeben. Von der Stromquelle wird der + Pol mit dem + Pol des Akkumulators verbunden und vom — Pol desselben geht die Leitung durch einen sogenannten *Glühlampenhoe* *st* *a* *t* *e* *n* (mehrere parallel geschaltete Glühlampen oder auch eine einzelne Glühlampe) zum — Pol der Stromquelle. Da gewöhnlich die

+ und - Pole der Stromquelle nicht bezeichnet sind, so kann man die richtige Verbindung durch einfaches Probieren finden. Bei der richtigen Verbindung des Akkumulators und der Stromquelle müssen nämlich die Glühlampen schwächer leuchten als normal, weil Hauptstrom und Akkumulatorenstrom dabei einander entgegenwirken; bei der falschen Verbindung müssen die Glühlampen dagegen heller brennen, weil die beiden Ströme sich addieren.

Durch die Fortschritte in der Konstruktion der Akkumulatoren ist ihnen allmählich auch ein Gebiet zugänglich geworden, auf dem sie sich anfangs nicht bewährt haben, nämlich als Kraftquelle auf Eisenbahnwagen und Automobilen zu dienen. Die preußischen Eisenbahnen haben nach vielfachen Versuchen für schwächeren Bahnverkehr, wie er auf vielen Lokallinien vorhanden ist, die Dampfbahnen durch Akkumulatordoppelwagen ersetzt. Auf diesen laufen einfache Züge, sogenannte Akkumulatordoppelwagen, die aus zwei Wagen bestehen und deren Elektromotoren durch mitgeführte Akkumulatoren angetrieben werden. Zwei enggekuppelte Personenwagen haben, wie Fig. 145 zeigt, an jedem

Fig. 144.

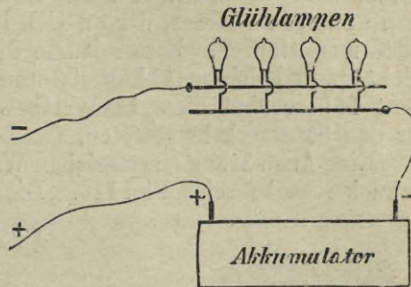


Fig. 145.



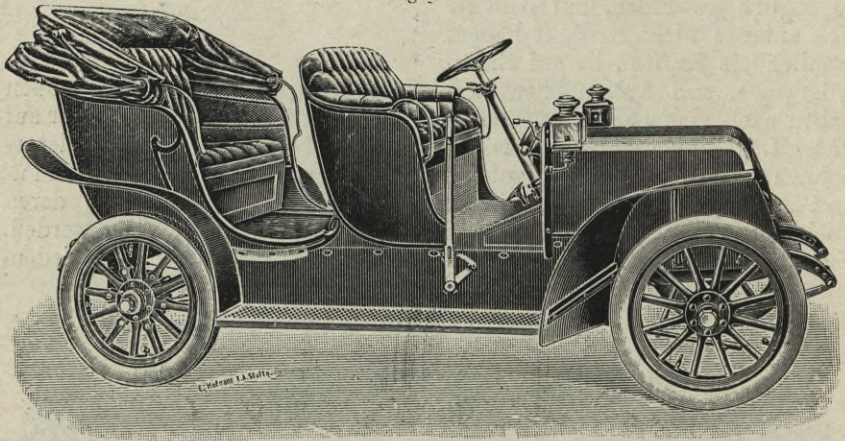
Ende einen niedrigen Anbau, in welchem sich die Akkumulatoren befinden, und zwar in 12 Kästen à 14 Zellen. Durch den Strom der Akkumulatoren werden zwei Elektromotoren erregt, welche die mittleren Achsen des Doppelwagens antreiben.

Auch zum Betreiben von Automobilen haben sich die Akkumulatoren, und zwar sowohl die Bleiakkumulatoren wie die Edisonakkumulatoren, bewährt. Die meisten Automobile sind zwar bisher Benzinautomobile. Sie haben daher die Nachteile, daß sie nicht ungefährlich sind, daß sie infolge der hin und her gehenden Bewegung des Motorkolbens und des verpuffenden Dampfes Lärm machen, der namentlich für die Fahrenden selbst auf die Dauer lästig ist, und daß sie, was namentlich die Nebenmenschen merken, unangenehm riechenden und schmutzenden Dampf verbreiten. Von allen diesen Nachteilen sind elektrische

Automobile, die man zweckmäßig als Elektromobile bezeichnet, frei, da ein Elektromotor von selbst eine rotierende Bewegung hat und nicht erst eine hin und her gehende in eine rotierende umzusetzen braucht, und da bei einem Elektromotor von Geruch, von Schmutz und von Gefahr keine Rede ist. Um ein Automobil elektrisch 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.

Eine Ausführung eines solchen Wagens als Viktoriawagen der Siemens-Schuckertwerke zeigt Fig. 146. Die Akkumulatorenbatterie, welche aus

Fig. 146.



44 Zellen besteht, also 88 Volt Spannung liefert, ist bei diesem Wagen vorn vor dem Führersitz unter einer Haube angebracht. Der Motor ist im Untergestell in der Mitte des Wagens in einem Ringe aufgehängt und dreht durch seine Achse ein Differentialgetriebe, welches die Hinterräder antreibt. Pro Wagenkilometer braucht das Elektromobil 125—130 Wattstunden. Da die Batterie eine Kapazität von 145 Amperestunden besitzt, also eine Energie von 88×145 Wattstunden enthält, so kann man mit einer Ladung etwa 100 km fahren, was bei einer Geschwindigkeit von 20—25 km pro Stunde 4—5 Stunden ununterbrochene Fahrt erlaubt. Vorn beim Wagenführer ist erstens eine kräftige, durch den Fuß zu betreibende Bremse und außerdem ein Steuer zur Lenkung des Wagens und ein Regulator zum Anfahren, zur Änderung der Geschwindigkeit und zum elektrischen Bremsen, was durch Widerstände bewirkt wird. Dieser Regulator wird **Kontroller** genannt und ist ganz ähnlich eingerichtet wie beim Trambahnbetrieb.

Elektromobile eignen sich naturgemäß bisher nur für den Verkehr innerhalb derjenigen Orte, in denen elektrische Zentralen vorhanden sind. Durch diese kann die Batterie nach gewissen Zeiten wieder geladen werden. Zu größeren Ausflügen lassen sich bisher diese elektrischen Automobile

nicht benutzen, weil sie nicht für sehr lange Zeit Energie mit sich nehmen können. Doch hängt dieser Nachteil nur von der noch geringen Verbreitung der elektrischen Zentralen ab, und dieser Nachteil vermindert sich von Jahr zu Jahr.

Man hat jetzt 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 Deutschland 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 auszunützen, 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 J a c o b i 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, und seit dieser Zeit hat sich die Galvanoplastik zu einem bedeutenden Industriezweig ausgebildet und immer neue Aufgaben in ihre Domäne gezogen.

Jede Lösung eines Metallsalzes, z. B. eine Kupfervitriollösung, wird ja durch einen elektrischen Strom zerlegt, und es scheidet sich das Metall an der negativen Elektrode ab, der übrige Bestandteil, der die Säure enthält, an der positiven Elektrode. Besteht die positive Elektrode aus demselben Metall, welches in dem gelösten Salz enthalten ist, also hier aus Kupfer, so wird für jedes Äquivalent des Metalls, das sich aus der Lösung an der negativen Elektrode abscheidet, ein Äquivalent desselben Metalls von der positiven Elektrode aufgelöst, die Flüssigkeit bleibt also immer gleich konzentriert, und es findet nur an der positiven Elektrode eine Auflösung des Metalls, an der negativen ein Niederschlagen desselben Metalls statt.

Um also 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, 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 Flüssigkeit, welche elektrolysiert wird, als das Bad.

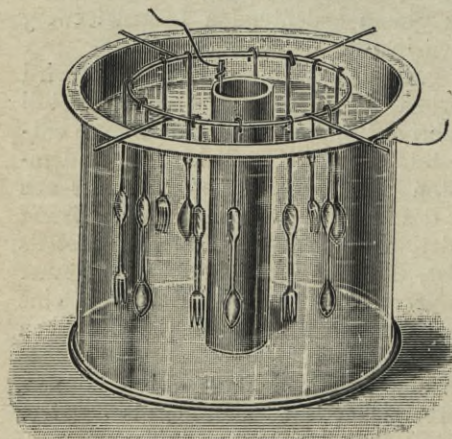
Bei jedem galvanoplastischen Prozeß muß man die Stromstärke

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 der Kathode verbunden. Als Anode taucht dann eine Silberplatte in das Bad. Fig. 147 zeigt ein solches Bad. Die zylindrische Silberanode ist in der

Fig. 147.



Mitte, die zu versilbernden 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 Cyansilberkalium, welche man in der für die Versilberung passenden Zusammensetzung erhält, wenn man in 10 l Wasser 120 g reines Cyankalium auflöst und dazu 460 g Kaliumsilbercyanid 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 Cyankupferkalium, 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 essigsäures Kupfer und 200 g Cyankalium. 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 Cyangoldkalium. Es wird als passendes Goldbad empfohlen eine Lösung, die in 10 l Wasser 10 g Cyankali, 500 g phosphorsaures Natron, 15 g doppeltschwefelsaures 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 70 g schwefelsaures Nickeloxydulammoniak enthält, also mit dem Nickelsalz gesättigt ist, ferner 25 g Ammoniumsulfat und 5 g Zitronensäure enthält. Die Stromdichte ist 0,5 bis 0,7 Ampere pro Quadratdezimeter. Nickelüberzüge sind namentlich bei Eisengegenständen sehr wertvoll, weil sie das Rosten hindern. Auch Messinggegenstände werden jetzt sehr häufig vernickelt. Zu einer haltbaren Vernicklung gehört unbedingt vollständigste Reinheit der zu behandelnden Flächen. Zum Vernickeln muß man, wegen der hohen Polarisation, eine größere Spannung als für die anderen Bäder anwenden, nämlich so, daß man an jedem Nickelbad 4 Volt Spannung erhält.

Zum Verstählen benutzt man ein Bad, welches pro Liter 150 g Eisenvitriol und 125 g Magnesiumsulfat in Wasser 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 Eisenchlorürlösung.

Die geringste Spur von Fett auf einem Körper bewirkt, daß der galvanische Niederschlag dann nicht fest auf dem Körper haftet, sondern sich leicht ablösen läßt. Dies ist namentlich beim Vernickeln zu beobachten. Gut haftende Nickelüberzüge können nur auf absolut reinen Flächen niedergeschlagen werden. Die Gegenstände, welche galvanisch überzogen sein sollen, müssen stets leitend sein, da sie ja als negative Elektroden in die Flüssigkeit tauchen müssen. Das 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 nicht-metallischen 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.

Galvanische Abformungen werden jetzt fast allein zur Reproduktion

von Stahlstichen und Holzschnitten angewendet. Von einem Holzschnitt z. B. lassen sich nicht ohne Schaden sehr viele Abdrücke machen. Man verfertigt daher von einem solchen Holzschnitt, den man durch Graphit metallisiert, beliebig viele galvanische Abformungen, Klischees oder Galvanos genannt, und macht von jedem solchen Klischee nur so viel Abdrücke, als man scharf erhalten kann. Dabei ist eine Stromdichte von etwa 1 Ampere pro Quadratdezimeter einzuhalten.

Die elektrolytischen Vorgänge lassen sich aber weiter 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 Jahren 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.

Von den vielen Aufgaben, die die Elektrochemie bereits gelöst oder in Angriff genommen hat, sei hier nur *e i n e* besprochen. In allen Metallen, welche durch hüttenmännischen Prozeß gewonnen werden, sind immer eine mehr oder minder erhebliche Menge von fremden Metallen mit enthalten, welche dabei nur die Rolle von Verunreinigungen spielen. Diese fremden Beimengungen beeinflussen gewöhnlich die Eigenschaften des Metalls in der ungünstigsten Weise. So leitet z. B. das hüttenmännisch gewonnene Kupfer viel schlechter den elektrischen Strom als reines Kupfer. Gereinigtes Kupfer hat daher einen viel höheren Wert für alle elektrischen Anwendungen als unreines Kupfer. Dasselbe gilt für andere Metalle, z. B. das Zink, das Blei, das Gold, das Silber.

Es ist daher eine wichtige Aufgabe, solche unreine Metalle von den fremden Substanzen zu befreien, sie zu *r e i n i g e n*. Man nennt diesen Vorgang *Raffinierung* der Metalle, und gerade für diesen Prozeß eignet sich die Elektrolyse besonders gut. Die älteste, am längsten benutzte Anwendung der Elektrizität in dieser Richtung bezieht sich gerade auf die Herstellung ganz reinen Kupfers, des sogenannten *Reinkupfers*, nicht aus den natürlich vorkommenden Kupfererzen selbst, sondern aus dem sogenannten *Schwarzkupfer*, welches aus den natürlichen Erzen durch hüttenmännisches Verfahren erhalten wird. Das Schwarzkupfer enthält hauptsächlich Kupfer, aber dabei noch Verunreinigungen von Schwefelkupfer, Schwefeleisen, auch von Silber, Platin, Gold, Wismut, Zinn etc. Es handelt sich darum, aus diesem unreinen Kupfer durch elektrische Raffinierung ganz reines — daher viel wertvolleres — Kupfer zu erhalten und zugleich die wertvolleren Beimischungen, Silber etc., zu gewinnen.

Zu dem Zweck wird das Schwarzkupfer in Form von großen, dicken Platten gegossen und diese werden als positive Elektroden (Anoden) in ein Bad von schwefelsaurem Kupfer, das noch sauer ist, gestellt. Als negative Elektrode dient eine gleich große dünne Scheibe von reinem Kupfer. Sendet man einen Strom durch das Bad, so löst sich das unreine Kupfer in der durch die Elektrolyse an ihm auftretenden Schwefelsäure auf, während das reine Kupfer an der negativen Elektrode sich abscheidet, wenn man die Stromstärke passend wählt. Man rechnet für jeden Quadratmeter Elektrodenfläche 20 bis 40 Ampere. Aus der

positiven Elektrode gehen die Verunreinigungen teilweise in die Kupfer-
vitriollösung (Lauge), teilweise setzen sie sich zu Boden. So erhält man
bei Schwarzkupfer Silber, Zinn, Wismut, Gold, Platin, Blei in geringen
Mengen, welche sich im Schlamm niedersetzen und eventuell aus diesem
besonders gewonnen werden könnten. In den Hüttenwerken zu Ocker i. S.,
wo diese elektrolytische Reinigung des Kupfers zuerst angewendet wurde,
erzeugt man schon lange auf diese Weise ein vorzüglich reines Kupfer,
sogenanntes Elektrolytkupfer. Jetzt wird diese Methode in
einer großen Reihe von Kupferhütten angewendet.

Je größer die fremden Beimengungen in der Anode sind, desto größer
ist die notwendige Spannung (infolge der Ungleichheit der Elektroden),
desto weniger lohnend ist dieser Prozeß. Er ist am zweckmäßigsten, wenn
in dem Rohkupfer nicht mehr als $\frac{1}{2}$ Proz. Unreinheiten enthalten sind.

Das so gewonnene Elektrolytkupfer wird zum Gebrauch erst ge-
schmolzen, weil es direkt spröde und zerbrechlich ist infolge von kristal-
linischer Struktur. Seit der Einführung der elektrolytischen Kupfer-
darstellung ist es erst möglich, im Handel ganz reines Kupfer zu erhalten,
welches für viele, namentlich auch für elektrotechnische Zwecke wegen
seiner ausgezeichneten Leitungsfähigkeit die unreinen Kupfersorten all-
mählich immer mehr verdrängt.

In ähnlicher Weise wird die Elektrolyse bereits zur Raffinierung des
Zinks, des Bleis, des Goldes und Silbers benutzt.

Die Elektrochemie ist es bekanntlich auch, welche ein zwar schon
lange bekanntes, aber früher sehr kostbares Metall, das Aluminium,
zu einem allgemeinen Gebrauchsgegenstand gemacht hat. Das Aluminium
ist einer der verbreitetsten Stoffe auf der Erde, insofern als es in jedem
Ton enthalten ist, aber es war früher nur auf sehr umständlichem Wege
möglich, das Metall selbst aus dieser Verbindung zu erhalten. Durch die
Elektrolyse von geschmolzenen Aluminiumsalzen bei Benutzung von sehr
starken elektrischen Strömen, Strömen bis zu 7500 Ampere, die man in
Neuhausen gewinnt, indem man von dem Rheinflall große Dynamoma-
schinen treiben läßt, ist aber das Aluminium heute in sehr großen
Quantitäten billig herstellbar und erst durch den niedrigen Preis hat
sich seine vorzügliche Brauchbarkeit für viele Gegenstände des mensch-
lichen Bedarfs herausgestellt.

9. Kapitel.

Der Durchgang der Elektrizität durch Gase. Die Röntgenstrahlen und die radioaktiven Erscheinungen.

Inhalt: Lichterscheinungen in verdünnten Gasen. Geißleröhren. Positives Licht. Dunkler Raum. Negatives Glimmlicht. Crookesche Röhren. Kathodenstrahlen. Röntgenstrahlen. Fokusröhren. Photographische und Fluoreszenzwirkung. Ionisierung. Beugung der Röntgenstrahlen. Wellennatur derselben. K- und L-Strahlen. Becquerelstrahlen. Radioaktive Substanzen. Emanation. Wärmeerzeugung. Umwandlung der Radiumemanation. Umwandlung des Thoriums. Die α -Teilchen sind Heliumionen. Atomzerfall.

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 vermittels 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 elektrischen Bewegung 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. 148 ist ein Rohr

Fig. 148.



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 oder mit einer Elektrisiermaschine verbindet, so sieht man (Fig. 149), wenn der geringe Druck von etwa 6—8 mm

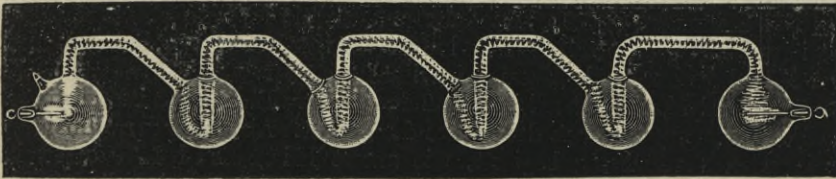
Fig. 149.



erreicht ist, zwischen den beiden Elektroden ein helles, violettes Lichtband sich erstrecken, welches nicht die ganze 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. 150, so folgt die Ent-

Fig. 150.

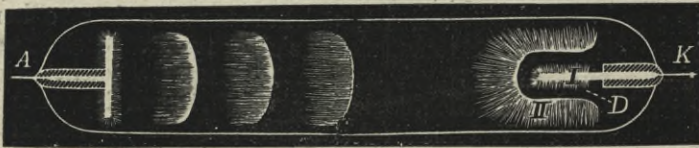


ladung, das violette Licht, allen Krümmungen des Rohres und der Strom geht auf ihm durch die Luft von der positiven zur negativen Elektrode über.

Bei schärferer Beobachtung findet man aber, daß doch nicht die leuchtende Entladung sich von der positiven bis ganz zur negativen Elektrode erstreckt. Vielmehr sieht man, daß die negative Elektrode mit einem bläulichen Lichtschimmer 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 an der Kathode findet man nämlich ein gewöhnlich goldgelbes Licht, 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 Hittorffschen Dunkelraum nennt. Die beiden Kathodenschichten und diesen Zwischenraum zusammen bezeichnet man als negatives Glimmlicht. Fig. 151

Fig. 151.



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

Wenn man nun aber aus einer solchen Röhre die Luft noch weiter auspumpt, also noch viel höhere Verdünnungen hervorbringt, 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 Hittorff 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, daß von der Kathode Strahlen ausgehen, welche an sich unsichtbar sind, welche aber alle Körper, auf die sie treffen, zum hellen Selbstleuchten, Fluoreszieren, anregen. Diese Strahlen nennt man Kathodenstrahlen und Röhren, welche sie zeigen, Hittorffsche oder Crookesche Röhren. Liegt also der Kathode die Glaswand der Röhre gerade gegenüber, so fluoresziert diese, und zwar bei deutschen Gläsern grün, bei englischen (bleihaltigen) blau. Befestigt man aber etwa absichtlich in einer Röhre ein Mineral so, daß es der Kathode gegenüberliegt, so fluoresziert auch dieses in einer ihm eigentümlichen Farbe. Die Kathodenstrahlen gehen immer genau senkrecht zur Kathode fort, ganz unabhängig davon, wo die Anode sich befindet. Wenn man daher, wie in Fig. 152, die Kathode K hohlspiegelförmig macht, so vereinigen sich die Kathodenstrahlen 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 einen Apparat, wie Fig. 153, ge-

Fig. 152.

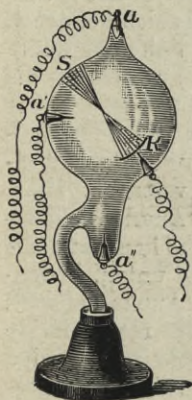
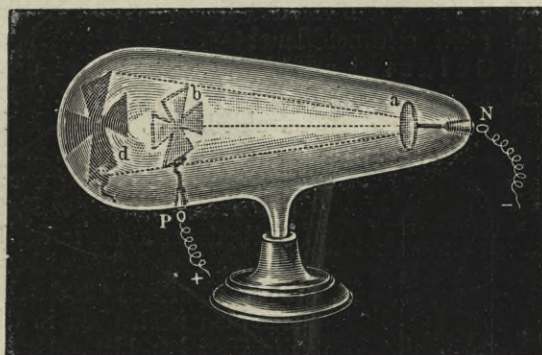


Fig. 153.



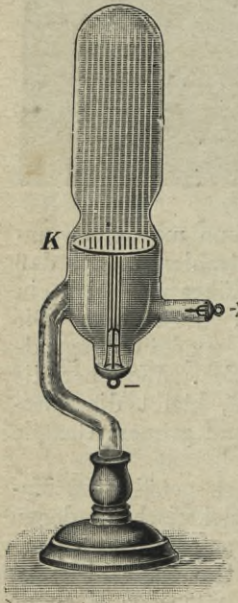
liefert worden. Dieser Apparat zeigt nämlich, daß, wenn man einen undurchsichtigen Körper in den Weg der Kathodenstrahlen stellt, daß dieser dann einen scharfen Schatten wirft. In der Röhre ist bei b ein Metallkreuz befestigt. Bei a ist die Kathode, bei P die Anode. Die Kathodenstrahlen, die von a ausgehen, erregen die gegenüberliegende Wand 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 auf grünem Grunde an der Glaswand.

Die Kathodenstrahlen 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 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 Durchgang 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 zuffliegen. Am einfachsten findet man daher die positiven Teilchen, wenn man die Kathode einer Röhre mit Löchern, Kanälen versieht. 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 auch schwach leuchtende strahlenartige Gebilde ausbreiten, die von Goldstein entdeckt wurden und die man eben wegen dieser Kanäle **Kanalstrahlen** nennt. Fig. 154 zeigt eine solche Kanalstrahlenröhre. Man sieht in der Röhre eine scheibenförmige Elektrode **K**, mit Schlitzern 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 größeren Massen fest verbunden. Man muß deshalb besser sagen, daß in den Kanalstrahlen positive Ionen, nicht positive Elektronen sich bewegen.

Fig. 154.



Die Kathodenstrahlen waren den Physikern schon lange bekannt, ohne daß sie besonders viel studiert wurden, weil ihre Erzeugung, nämlich die Herstellung der Hittorffschen Röhren, ein vielseitiges Experimentieren sehr erschwerte.

Das Interesse aber für sie erwachte zuerst, als Heinrich Hertz, der zu früh verstorbene Bonner Physiker, zeigte, daß die Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten hindurchgehen, und als bald darauf Lenard zeigte, daß man durch ein dünnes Metallfenster, welches man in die Wand der Röhre einsetzt, die Kathodenstrahlen auch aus der evakuierten Röhre hinaus in die Atmosphäre senden kann. Lenard zeigte, daß die Kathodenstrahlen auch außerhalb der Röhre Fluoreszenz erregen, und daß sie auf die photographische Platte wirken, wodurch er Abbildungen von Gegenständen, die in ihrem Weg waren, erhielt. Er zeigte auch, daß es Kathodenstrahlen verschiedener Art gibt, solche, welche schon durch sehr dünne Schichten von Metallen, Glas usw. abgehalten werden, und solche, welche weniger absorbiert werden, also leichter durch fremde Körper hindurchgehen.

In der Fortsetzung dieser mühevollen Arbeiten und wertvollen Ent-

deckungen von Lenard lag die zufällige Beobachtung, welche Röntgen 1896 machte und die großes Aufsehen erregte, weil sie sofort wichtige praktische Anwendungen zeitigte. Röntgen fand, daß von derjenigen Stelle des Glases einer Hittorff'schen Röhre, welche von den Kathodenstrahlen getroffen und zur Fluoreszenz erregt wurde, daß von dieser Stelle neue Strahlen in die Luft ausgehen, welche ebenfalls auf photographische Platten, die außerhalb der Röhre sich befinden, wirken und ferner, wie die Lenardschen Strahlen fluoreszenzfähige Körper außerhalb der Röhre zum Leuchten (Fluoreszieren) erregen. Umhüllt man also eine Hittorff'sche 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 Bariumplatinocyanür, 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.

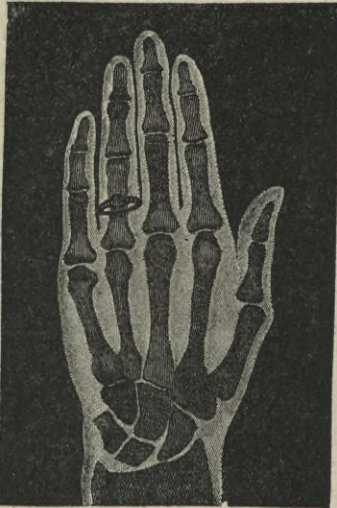
Diese Strahlen, die Röntgenstrahlen, gehen von derjenigen Stelle aus, welche von den Kathodenstrahlen getroffen ist, sei es von dem Glas der Röhre oder von irgend einem eingeschmolzenen Körper, den man so angebracht hat, daß ihn die Kathodenstrahlen treffen.

Die wichtigste Eigenschaft dieser Strahlen ist die, daß sie eine sehr große Durchdringungsfähigkeit für die verschiedensten Körper besitzen. Sie gehen durch die meisten nicht metallischen Körper leicht hindurch, durch das gewöhnliche Licht nicht hindurchdringt. Insbesondere ist das Holz für diese Strahlen sehr leicht durchlässig. Sie gehen durch Holz ebenso leicht hindurch wie die gewöhnlichen Lichtstrahlen durch 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 um so leichter den Röntgenstrahlen den Durchgang gestattet, je leichter er spezifisch ist, um so 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 photographieren, 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, welches letztere in Fig. 155 dargestellt ist, weil eben die

Geldstücke weniger durchlässig sind als das Leder, die Schrauben weniger als das Holz, die Knochen weniger als das Fleisch.

Man hat sich natürlich gleich nach der Entdeckung dieser Strahlen, wegen ihrer medizinischen Wichtigkeit, bemüht, Konstruktionen für die

Fig. 155.



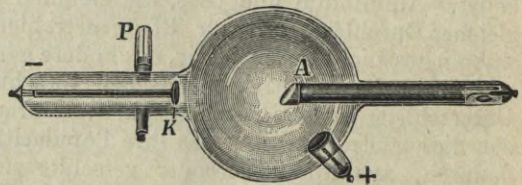
Röhren und die Elektroden zu finden, welche für die photographische oder Fluoreszenzwirkung am zweckmäßigsten sind. Dabei hat sich nun ergeben, daß jeder Körper, der von Kathodenstrahlen getroffen wird, ob er innerhalb der Röhre oder an der Röhrenwand sich befindet, zum Ursprung von Röntgenstrahlen wird. 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 diejenige Stelle, welche 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. Denn wenn Strahlen von allen Punkten einer ausgedehnten Fläche ausgehen, so erhält man Bilder, welche verschwommene Grenzen und Schlagschatten besitzen. Die obige Forderung kann man nun einfach dadurch erfüllen, 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. In dieser Weise werden jetzt durchweg die Entladungsröhren konstruiert. Man bezeichnet sie als *Fokusröhren*. Fig. 156 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 sendet von der bestrahlten Seite aus die Röntgenstrahlen durch den vor ihr liegenden

Fig. 156.



Teil der Glaskugel, welche dabei schön grün phosphoresziert, nach außen.

Solche Röhren, welche Luft in äußerster Verdünnung enthalten, sind so wirksam, daß man in sehr kurzer Zeit Photographieen selbst durch dicke Körperteile hindurch ausführen kann.

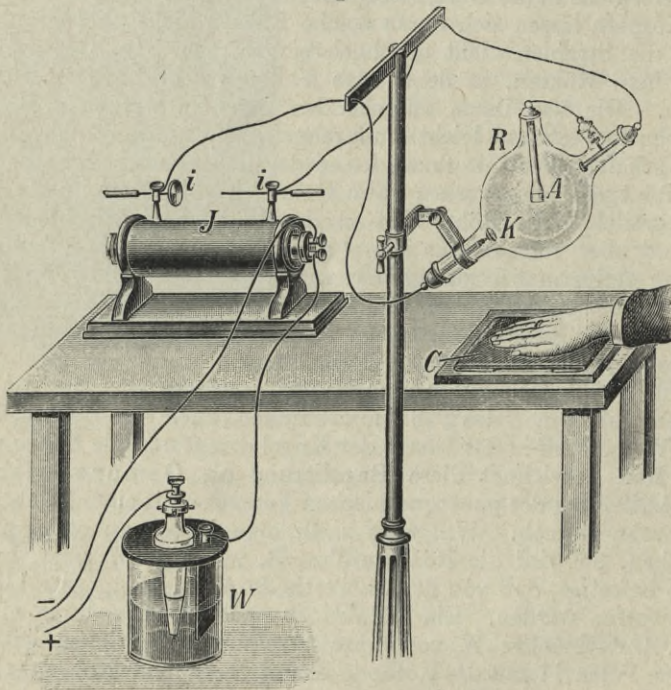
Je nach dem Vakuum, welches eine Röhre besitzt, sind die Röntgenstrahlen, welche sie aussendet, von verschiedener Art. Eine Röhre mit verhältnismäßig geringem Vakuum sendet Strahlen aus, welche von dichten Körpern leicht absorbiert werden. Eine solche Röhre bezeichnet man als weiche Röhre. Sie liefert kontrastreiche Bilder, weil eben geringe Unterschiede in der Dichtigkeit des durchstrahlten Körpers schon große Unterschiede in der Durchlässigkeit hervorrufen. Aber dicke Schichten von Körpern lassen sich durch solche Röhren nicht photographieren, weil eben die Strahlen nicht durchgelassen werden. Im Gegensatz dazu nennt man Röhren, in denen das Vakuum sehr hoch ist, harte Röhren. Die von ihnen ausgehenden Strahlen werden z. B. durch die Knochen fast ebenso leicht hindurchgelassen, wie durch das Fleisch, und man erhält daher mit ihnen keine deutliche Knochenphotographie.

Alle Röntgenröhren werden beim Gebrauch von selbst immer härter, da die Gasteilchen der Röhre sich an den Wänden niederschlagen. Die Technik hat aber verschiedene Mittel gefunden, um die Luftverdünnung der Röhren einigermaßen zu regulieren, um zu harte Röhren weicher zu machen. Bei der obigen Röhre (Fig. 156) beruht diese Regulierung darauf, daß Palladium bei Rotglut Wasserstoff durch sich hindurchdiffundieren läßt. Es ist deshalb in die Röhre ein Palladiumröhrchen P eingeschmolzen, welches für gewöhnlich durch eine Kappe geschützt ist. Ist die Röhre zu hart, so erhitzt man das Palladiumröhrchen durch eine Spiritusflamme, wodurch Wasserstoff in das Innere der Kugel dringt und die Röhre weicher macht. Man bezeichnet diese Regulierung als Osmoregulierung.

Die Anstellung der photographischen Versuche mit einer Röntgenröhre ist nun sehr einfach. Will man z. B. eine Knochenphotographie der Hand haben, so wird die Röntgenröhre R, wie Fig. 157 zeigt, in einem Stativ so befestigt, daß von der Antikathode A die Röntgenstrahlen nach unten geworfen werden. Ein Induktionsapparat J, der durch einen besonderen Unterbrecher W von einer Stromquelle betrieben wird, wird mit seinen Polen i i mit der Kathode K und Anode der Röhre verbunden. Auf den Tisch, unterhalb der Röhre, wird eine photographische Platte, in schwarzes Papier C gehüllt, gelegt (sie kann sich auch in einer Holzkassette befinden), mit der Schichtseite nach oben, und direkt auf das umhüllende Papier wird die zu photographierende Hand gelegt. Setzt man den Induktionsapparat in Tätigkeit, so wird die Platte von den Röntgenstrahlen bestrahlt und zwar an den durchlässigen Teilen der Hand, dem Fleisch, stärker als an den weniger durchlässigen Knochen und dem Ring. Entwickelt man dann die Platte im gewöhnlichen roten Licht mit gewöhnlichem Entwickler (Amidol, Hydrochinon etc.), so sieht man die Knochen hell auf dunklem Grunde erscheinen. Die Dauer der Exposition richtet sich nach der Güte der Röhre und der Stärke des angewandten Funkeninduktors. Schon in Bruchteilen einer Sekunde erhält man Knochenphotographieen der Hand.

Die Röntgenstrahlen erlauben aber 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 Bariumplatincyanür, 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 Röntgen-

Fig. 157.



strahlen durch die Knochen der Hand nicht 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 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, 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, 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 mit Vorsicht von durchaus sachkundigen Personen gebraucht werden dürfen.

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. Ladet man z. B. ein Goldblattelektroskop (S. 76) 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 zur Erde abgeleitet ist. 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 fortführen. Man sagt deshalb auch, die Luft werde durch die Röntgenstrahlen ionisiert.

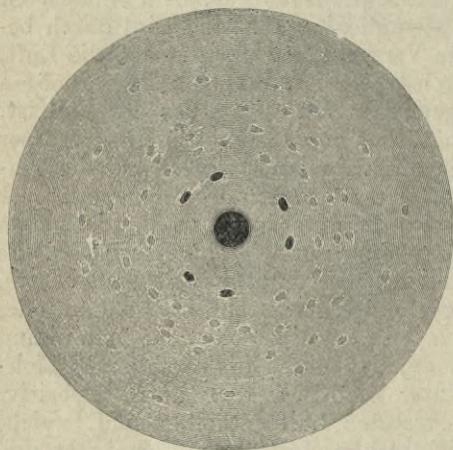
Wenn Röntgenstrahlen auf einen Körper treffen, so wird dieser Körper Ausgangsstelle von neuen solchen Strahlen, die man als sekundäre Röntgenstrahlen bezeichnet. Diese sind immer weicher, also leichter absorbierbar, als die sie erzeugenden Strahlen.

Welche Art von Strahlen die Röntgenstrahlen eigentlich sind, ob sie wie die Lichtstrahlen auf einer Wellenbewegung oder wie die Kathodenstrahlen auf einer Massenbewegung beruhen, ob sie also eine Ä t h e r-

strahlung oder eine Elektronenstrahlung darstellen, darüber hat man erst in den letzten Jahren durch Experimente eine Entscheidung treffen können, und zwar ließ es sich 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 die Wasserwellen eines Teiches, wenn ihnen Steine oder Schiffe im Weg stehen, sich um diese Hindernisse herum umbiegen, oder wie die Schallwellen um Ecken herum gehen 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 *B e u g u n g s g i t t e r*, gehen läßt, so beobachtet man, daß man das Licht sehr stark von seiner geradlinigen Bahn abbeugen kann; man erhält ganz weit seitlich von dem entfallenden Lichtstrahl noch starke Lichtwirkungen.

Nun hat man lange schon versucht, ob man nicht mit Röntgenstrahlen auch Beugungserscheinungen bei engen Spalten oder Gittern erzielen könne, aber niemals mit Erfolg. Der Grund dieses Mißerfolgs aber lag daran, daß man die Gitter nicht eng genug für diese Strahlen machen konnte. Aber die Natur bietet

Fig. 158.



uns in den Kristallen, in denen ja die Moleküle regelmäßig angeordnet sind, Gitter von außerordentlicher Feinheit. Und in der Tat zeigte es sich, daß, wenn man ein schmales Bündel Röntgenstrahlen durch einen Kristall hindurchgehen ließ, daß sich dann auch weitab von der geradlinigen Fortpflanzungsrichtung Wirkungen zeigen, die eben auf der Beugung der Strahlen beruhen. In Fig. 158 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 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 abgebeugten, den von der geraden Bahn abgelenkten Strahlen entsprechen. Dabei zeigen diese Flecke ganz genau die Symmetrie, die der Kristall senkrecht zu der Richtung der Röntgenstrahlen besaß.

Aber man kann aus dieser Figur und aus ähnlichen nicht bloß die Wellennatur der Röntgenstrahlen erschließen, sondern man kann auch die Wellenlänge der Strahlen aus ihnen mit großer Wahrscheinlichkeit berechnen. Dabei ist zu erinnern, daß die Wellenlängen des sichtbaren Lichts schon äußerst klein sind, sie betragen für die roten Strahlen 0,76 von einem Tausendstel Millimeter, für die violetten Lichtstrahlen etwa 0,40 von einem Tausendstel Millimeter. Man drückt diese kleinen Längen gewöhnlich in Millionstel Millimetern aus und braucht für ein Millionstel Millimeter die Abkürzung $\mu\mu$. (gesprochen: mü, mü). So haben also die roten Lichtwellen eine Wellenlänge von etwa 760 $\mu\mu$, die violetten von 400 $\mu\mu$. Es zeigte sich nun aus der obigen Beugungsfigur, daß die Röntgenstrahlen noch viel kleinere Wellenlängen besitzen. Die bei der Figur benutzten Röntgenstrahlen haben Wellenlängen, die zwischen 0,03 $\mu\mu$ und 0,15 $\mu\mu$ liegen, sie sind also ca. 3000 bis 10 000mal kleiner als die kürzesten Lichtwellen.

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, um so größer ist ihre Härte.

Bei der weiteren Ausbildung dieser Methode, die Wellenlängen von Röntgenstrahlen in Kristallen mit Hilfe der Beugung zu ermitteln, hat sich gezeigt, daß von jeder Antikathode nicht eine einzige Art von Röntgenstrahlen, nicht Röntgenstrahlen einer einzigen bestimmten Wellenlänge ausgesendet werden, sondern im Gegenteil ein sehr reichhaltiges Gemisch von Röntgenstrahlen aller Art, mit einem großen Bereich von Wellenlängen. Unter diesem aber sind Röntgenstrahlen gewisser Wellenlängen besonders stark vorhanden, man nennt sie die charakteristischen Strahlen. Und zwar zeigen die verschiedenen Metalle, als Antikathoden benutzt, verschiedene charakteristische Strahlen. Jede von diesen sendet zunächst eine Strahlung aus, die man als K-Strahlung bezeichnet und deren Wellenlängen um so kleiner sind, die also um so härter ist, je höher das Atomgewicht des betreffenden Metalles ist. So hat z. B. die K-Strahlung des Kupfers eine Wellenlänge von 0,1539 $\mu\mu$, während die des Silbers eine solche von 0,0567 $\mu\mu$ ausstrahlt. Außerdem ist bei den schwereren Metallen noch eine weitere, etwas weichere charakteristische Strahlung gefunden worden, die man als L-Strahlung bezeichnet und die z. B. für Silber die Wellenlänge 0,4170 $\mu\mu$ besitzt, während sie für Platin die Wellenlänge 0,1316 $\mu\mu$ hat. Jede Antikathode besitzt also ein gewisses Spektrum mit bestimmten besonderen Wellenlängen, ganz so wie farbige Flammen je ein bestimmtes Spektrum zeigen. Man bezeichnet diese Spektra der Röntgenstrahlen als Hochfrequenzspektra.

Die Bemühungen, die Ursache der Röntgenstrahlen aufzufinden, haben zu einer Reihe weiterer wichtiger Entdeckungen geführt.

Während nämlich die Röhren mit sehr verdünnten Gasen, welche uns die Kathoden-, Kanal- und Röntgenstrahlen liefern, Erzeugnisse des menschlichen Scharfsinnes sind, kunstvoll und mühsam gearbeitete Apparate, liefert uns die Natur in manchen chemischen Stoffen ganz von selbst, ohne unser Zutun und ohne unsere Kunstfertigkeit, Quellen, welche alle diese drei Strahlenarten oder einige von ihnen fortwährend

aussenden und welche außerdem noch eine große Anzahl anderer, bisher nicht bekannter Erscheinungen zeigen. Diese Stoffe nennt man **radioaktive Substanzen** und ihre Eigenschaft, Strahlen auszusenden, **Radioaktivität**. Einen ersten solchen Stoff gelang es einem französischen Forscher, **Becquerel**, in dem Urankaliumsulfat zu finden. Von dem Urankaliumsulfat gehen eigentümliche Strahlen aus, ganz ähnlich wie von einer Röntgenröhre. Diese Strahlen gehen durch Holz, Papier, Aluminium hindurch, wie die Röntgenstrahlen, sie schwärzen photographische Platten und erregen auch einen Bariumplatincyanürschirm zur Fluoreszenz. Dann fanden sich noch eine Reihe anderer derartiger Stoffe, welche auch diese sonderbaren Strahlen aussandten, z. B. das Uransulfat, das Uranoxyd, das Uransäurehydrat u. a., und schließlich fand **Becquerel**, daß alle **Uransalze** und auch das **metallische Uran** selbst solche Strahlen ausgeben, so daß also diese Eigenschaft an das Atom des Urans gebunden erscheint. So hatte **Becquerel** eine neue Art Strahlen gefunden, welche man ursprünglich **Uranstrahlen**, dann zeitweise **Becquerelstrahlen** nannte. Außer den Uranverbindungen erwiesen sich noch die Verbindungen eines anderen seltenen Elements, des **Thoriums**, als strahlende Körper.

Die Strahlen, die diese Körper aussenden, und die man von den Lichtstrahlen dadurch leicht unterscheiden kann, daß die ersteren durch schwarzes Papier, ja sogar durch dünnes Aluminiumblech hindurchgehen, was die Lichtstrahlen nicht tun, diese Strahlen wirken, wie gesagt, auf photographische Platten (wenn auch erst nach längerer Exposition), sie erzeugen Fluoreszenz und sie haben insbesondere auch die Eigenschaft, die Luft leitend zu machen, also Elektroskope zu entladen. Je größer der Gehalt eines Körpers an Uran ist, um so größer ist auch diese elektroskopische Wirkung.

Das Uran wird aus der Uranpechblende gewonnen. Als aber **Madame Curie** in Verbindung mit ihrem Gatten diese Pechblende chemisch behandelte, entdeckten sie, daß auch andere Körper, die in dieser Masse in geringen Quantitäten vorhanden waren, derartige Strahlen aussenden und zwar in bedeutend stärkerem Maße. Insbesondere war es ein Bariumsalz und ein Wismutsalz, welche, obwohl sie sich rein chemisch gar nicht von dem gewöhnlichen Barium- und Wismutsalz unterscheiden, doch diese merkwürdige Eigenschaft der Strahlenausendung besitzen. Sie bezeichneten diese Stoffe als **radioaktive Substanzen**. Es lag die Vermutung nahe, daß diese Stoffe ihre Aktivität, ihre Strahlungsfähigkeit dadurch besitzen, daß sie in sehr geringer Menge andere Körper enthielten, die chemisch zunächst nicht nachweisbar seien, denen aber gerade die Eigenschaft der Aktivität in besonders hohem Maße innewohnt. Da die Eigenschaften des radioaktiven Wismuts und die des Bariums sehr verschieden waren (bei dem ersten verschwand die Aktivität nach einiger Zeit, bei dem zweiten blieb sie dauernd bestehen), so nahm **Frau Curie** zwei aktive Körper an, das **Polonium**, welches dem Wismut, und das **Radium**, welches dem Barium beigemischt sei. Weitere Untersuchungen haben gelehrt, daß sich sicher noch ein weiterer radioaktiver Körper aus der Pechblende abscheiden läßt, nämlich das **Aktinium**, das chemisch sich wie Thorium verhält.

Durch weitere Arbeit aber gelang es, das Radium ganz von dem Barium zu trennen. Durch fortgesetzte Lösung des radioaktiven Chlorbariums oder Brombariums konnte man schließlich diese Substanz in zwei Portionen trennen, von denen die eine nur das inaktive Bariumsalz enthielt, während die zweite die neue Substanz, das Chlorradium resp. Bromradium, in großer Reinheit war. Der Beweis dafür wurde zunächst durch die Spektralanalyse geführt. Die Bariumlinien verschwanden schließlich aus dem Spektrum vollständig und man erhielt ein neues, sonst unbekanntes Spektrum, das sich hauptsächlich durch einige violette Linien auszeichnet, und welches eben das des Radiums ist. Während eine Flamme durch Chlorbarium grün gefärbt wird, wird sie durch Chlorradium rot gefärbt. Man konnte auch das Atomgewicht des Radiums bestimmen, welches sich zu 226,4 ergab, und es zeigte sich, daß das Radium, das Thorium und das Uran die schwersten aller Atome besitzen, die größten Atomgewichte haben, nämlich Radium 226,4, Thorium 232,4, Uran 238,5.

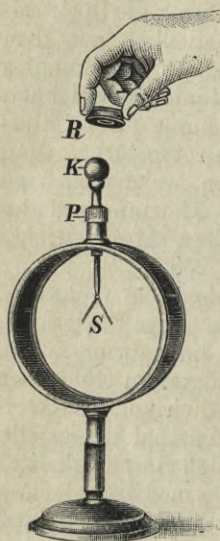
Die Herstellung des Radiums ist eine außerordentlich mühsame. Aus Tausenden von Kilogrammen Pechblende erhält man einige Dezigramm Radiumsalz. Daher ist auch der Preis des Radiums ein enormer. Ein Milligramm kostet heute an 400 Mark, während ein Milligramm Gold noch nicht 0,3 Pfennig wert ist. Das Radium wird jetzt amtlich von der österreichischen Regierung aus der Pechblende von Joachimsthal hergestellt. Aber seitdem man erkannt hat, daß das Radium nicht bloß ein physikalisch sehr wichtiger Stoff ist, sondern daß es höchst wichtige medizinische Anwendungen, nämlich zur Heilung der Krebskrankheit, besitzt, wird jetzt intensiv nach neuen Fundorten gefahndet und nach neuen Herstellungsarten des reinen Radiums gesucht. Bisher ist aber noch die Pechblende von Joachimsthal das hauptsächlichliche Material für die Gewinnung des Radiums.

Von den verschiedenen radioaktiven Substanzen, dem Uran, Radium, Aktinium, Thorium, zeigte lange Zeit das Radium, wegen der Reinheit, in der es hergestellt wird, die Eigenschaften der Becquerelstrahlen in besonders starkem Maße, so daß man hauptsächlich mit Radium wissenschaftlich und praktisch operierte. Seit wenigen Jahren aber hat man einen zweiten, sehr stark radioaktiven Stoff gefunden und in den Handel gebracht, der dieselben wichtigen medizinischen Wirkungen besitzt, das Mesothorium. Das Thorium selbst ist eine schwach radioaktive Substanz, es wird hauptsächlich zur Imprägnierung von Glühstrümpfen benutzt und wird aus dem Monazitsand hergestellt. In den Rückständen des Monazitsandes bei der Thoriumfabrikation fand sich nun eine stark radioaktive Substanz, die Mesothorium genannt wird. In den Präparaten des Handels ist das Mesothorium aber niemals rein enthalten, sondern immer mit Radium und mit inaktiver Substanz verbunden, und zwar enthalten 100 mg des käuflichen Mesothoriums 25 mg Radium und nur $\frac{1}{4}$ mg Mesothorium. Das übrige ist inaktive Substanz. Der Preis des Mesothoriums ist nur ungefähr die Hälfte von dem des Radiums. Die Radiumpräparate ebenso wie die des Mesothoriums werden gewöhnlich in eine Messingkapsel mit einem Deckel aus Glimmer oder Aluminium eingeschlossen oder in kleine Silberfläschchen gebracht.

Die radioaktiven Stoffe machen nun, und das ist eine ihrer wichtigsten

Eigenschaften, die Luft, durch welche sie strahlen, zu einem Leiter, sie ionisieren die Luft. Wenn man, um diese Eigenschaft zu zeigen, in Fig. 159 das Goldblattelektroskop (dessen Einrichtung auf S. 76 beschrieben wurde), etwa durch Berührung des Knopfes K mit einem geladenen Glasstab oder Ebonitstab, ladet,

Fig. 159.



so daß die Goldstreifen S divergieren, und nun mit der Hand eine Kapsel R mit einigen Milligrammen Radium in die Nähe bringt, so fallen die Goldblättchen in weniger als einer Sekunde zusammen, weil eben die leitend gewordene Luft die Ladung des Elektroskops zur Erde führt.

Photographische Platten werden von den Strahlen der radioaktiven Substanzen geschwärzt, Fluoreszenzschirme leuchten unter ihrer Einwirkung.

Die Strahlung der radioaktiven Substanzen beruht, wie sich zeigen läßt, ähnlich wie die der Hittorffschen Röhren, auf der Aussendung geladener Teilchen, sowohl der freien negativen Elektronen, wie auch größerer Partikel, welche positiv geladen sind. Man bezeichnet die Strahlen, die auf der Aussendung negativer Elektronen beruhen, als Betastrahlen (β -Strahlen), diejenigen, die auf der Aussendung positiver Partikeln beruhen, als Alphastrahlen (α -Strahlen). Der größte Teil der ausgesendeten Strahlen sind α -Strahlen. Außerdem existiert noch eine dritte Art von Strahlen, Gammastrahlen (γ -Strahlen) genannt, welche die durchdringendsten von allen sind, aber nur in kleinem Betrage vorhanden sind. Sie verhalten sich wie Röntgenstrahlen, während die β -Strahlen den Kathodenstrahlen, die α -Strahlen den Kanalstrahlen analog sind.

Eine der merkwürdigsten Eigenschaften dieser radioaktiven Stoffe ist aber die, daß von ihnen dauernd eine Substanz ausgeht, die man zwar nicht sieht, die man aber an ihren Wirkungen erkennt. Man bezeichnet sie als E m a n a t i o n.

Die Emanation verhält sich wie ein leicht bewegliches Gas, welches aus dem Radium sich entwickelt. Man kann aber allerdings mit dem Auge absolut nichts von einer Gasentwicklung am Radium merken. Nur durch ihre elektrische Wirkung zeigt sich die Emanation an. Das Radium verliert auch nichts an Gewicht. Sein Gewicht bleibt, soweit die genauesten Wägungen festzustellen gestatten, in Jahren dasselbe. Läßt man die Emanation in ein ausgepumptes Gefäß eintreten, so kann man nicht eine Spur von Druckerhöhung mit den besten Manometern wahrnehmen. Trotzdem muß die Emanation etwas wie ein materielles Gas sein. Denn man kann sie durch einen Luftstrom fortführen, wie ein Gas, und man kann sie durch tiefe Temperaturen zum Gefrieren bringen. Wenn man die Emanation in einem Glasrohr hat und dieses durch flüssige Luft auf -190°C . abkühlt, so hören die Wirkungen der Emanation vollständig auf, sie scheinen verschwunden zu sein. Erwärmt man das Rohr wieder, so erscheint auch die Wirkung von neuem, ganz so, als ob die Emanation

eingefroren und dann wieder aufgetaut wäre. Im Dunkeln leuchtet die Emanation. Ein Glasgefäß, das sie enthält, ist im Dunkeln sichtbar, und wenn die Emanation durch ein enges Glasrohr aus einem Gefäß in ein zweites diffundiert, so kann man ihr Fortschreiten im Dunkeln durch das Leuchten beobachten. Hebt man die Emanation längere Zeit in einem Gefäß auf, so verschwindet allmählich das Leuchten. Das Leuchten der Emanation beruht übrigens darauf, daß das Glas, das mit ihr in Berührung kommt, fluoresziert.

Durch die drei Strahlenarten und durch die Emanation gibt also ein Stück Radium fortwährend Energie nach außen ab. Und eine wichtige Beobachtung zeigt, daß der Betrag der von dem Radium abgegebenen Energie ein sehr bedeutender ist. Das Radium strahlt nämlich auch fortwährend Wärme aus. Curie hat die merkwürdige Tatsache entdeckt, und sie ist von verschiedenen Seiten bestätigt und quantitativ geprüft worden, daß ein Stück Radium immer eine Temperatur hat, die um zirka 1 bis 2° höher ist als die Umgebungstemperatur. Bringt man es in einen Raum von 20° , so hat es 21° , bringt man es in einen Raum von 40° , so hat es 41° . Infolge der höheren Temperatur gibt es also immer Wärme durch Leitung und Strahlung an die Umgebung ab, und zwar haben messende Versuche ergeben, daß 1 g Radium pro Stunde 117 Kalorien nach außen abgibt. Daraus folgt, daß, um bloß die Wärmeabgabe nach außen zu decken, ein solches Gramm pro Stunde auch einen Betrag von Energie, der 117 Kalorien äquivalent ist, entweder durch Absorption äußerer Energien (Strahlung) aufnehmen muß, oder aber, daß es diesen Betrag durch innere Umwandlung, durch Arbeitsleistung innerer Kräfte erhalten muß.

Die Tatsache, daß die radioaktiven Substanzen fortgesetzt und ununterbrochen Elektronen aussenden, freie negative und positive in größeren Korpuskeln, hat zu einer Erklärung geführt, welche einen weitreichenden Ausblick in die Fortentwicklung der Physik und Chemie gewährt. Wenn die Elektronen und Korpuskeln fortwährend ausgesendet werden, so führt das fast notwendigerweise zu der Annahme, daß diese Elektronen und Korpuskeln schon in dem Körper vorhanden seien und daß die Atome der Körper, die man bisher als unteilbare Körper anzusehen gewohnt war, in Wirklichkeit nur Zusammensetzungen von Elektronen und solchen Korpuskeln in verschiedenfacher Anordnung seien. Sind aber die Atome selbst aus kleineren Bausteinen zusammengesetzt, so wird es nur von den angewandten Mitteln abhängen, ob man ein Atom, ein scheinbar Unteilbares, nicht doch zerteilen kann, eine Anschauung, die übrigens nicht neu ist, sondern nur durch die Auffassung der Elektronen als Teilen der Atome präzisiert ist. Die radioaktiven Stoffe nun lassen sich danach auffassen als Stoffe, deren Atome sich in einem labilen Zustand befinden, so daß sie in einem dauernden Zustand der Zersetzung begriffen sind.

Diese Theorie des Atomzerfalls der radioaktiven Stoffe erlaubt nun, sich ein eingehendes Bild von den sonderbaren Erscheinungen zu machen, die ein näheres Studium der radioaktiven Substanzen zutage gebracht hat. Wenn man die Emanation des Radiums in ein mit Luft gefülltes Gefäß bringt und dann das Gefäß schließt und die Emanation sich selbst überläßt, so bleibt die Wirkung der Emanation (die sich durch

Leitendwerden der Luft zu erkennen gibt) nicht etwa auf unveränderlicher Höhe, sondern sie sinkt allmählich herunter und zwar so, daß die Abnahme in bestimmter Zeit immer derselbe Bruchteil der vorher vorhandenen Wirkung ist. In 4 Tagen etwa sinkt die Wirkung der Emanation auf die Hälfte der Anfangswirkung, in weiteren 4 Tagen auf ein Viertel usf. Dieses Gesetz der Abnahme zeigt sich bei der Radiumemanation immer erfüllt, so daß es ganz gleichgültig ist, ob die Emanation in Luft oder in anderen Gasen sich befindet, ob das Gefäß groß oder klein ist, ob viel oder wenig Emanation zunächst vorhanden war. Die Emanation des Thoriums sinkt dagegen schon in rund 60 Sekunden auf den halben Betrag, die des Aktiniums sogar schon in 4 Sekunden. Diese Zeiten, die man als *Abklingungs-konstanten* bezeichnet, sind so charakteristisch, daß man bei einer unbekanntem Emanation aus der Messung der Zeit, in der ihre Wirkung auf die Hälfte heruntergeht, also aus der Abklingungskonstante, mit Sicherheit schließen kann, ob man es mit einer Emanation des Radiums, Thoriums, Aktiniums oder mit einer anderen Art der Emanation zu tun habe.

Nach der Vorstellung des Atomzerfalls zerfällt hier und da ein Radiumatom und zerteilt sich in einen Bestandteil, welcher eben die Emanation ist, und in einen anderen Bestandteil, welcher die α -Strahlen bewirkt, den man kurz ein α -Teilchen nennt. Die Emanation aber bleibt selbst nicht unverändert, sondern sie zerfällt auch und zwar, wie erwähnt, wird in 4 Tagen die Hälfte von ihr von neuem in andere Stoffe verwandelt.

Durch diese Umwandlung der Emanation bildet sich zunächst ein Stoff, der sich auf allen Körpern, mit denen die Emanation in Berührung ist, niederschlägt und der diese Körper vorübergehend auch aktiv macht. Man sagt, die Körper enthalten *induzierte* oder *mitgeteilte* Aktivität. Es ist nicht etwa die Emanation selbst, welche sich auf den Wänden der Gefäße oder auf hineingebrachten Körpern festsetzt. Denn wäre sie es selbst, so müßte die mitgeteilte Aktivität auch ebenso wie die Emanation in 4 Tagen auf die Hälfte herabsinken. Das ist aber nicht der Fall, sondern sie verschwindet beim Radium viel rascher. Schon in 29 Minuten sinkt die mitgeteilte Aktivität (im großen und ganzen genommen) auf die Hälfte herab. Es ist also folgerichtig anzunehmen, daß die Radiumemanation ebenfalls keine beständigen Atome besitzt, sondern daß diese selbst, unter Aussendung eines α -Teilchens, in eine neue Materie, eben die induzierte Aktivität, zerfällt, welche sich an festen Körpern ansetzt.

Die mitgeteilte Aktivität ist aber selbst kein einheitlicher Körper. Ihre Abklingungskonstante hat nicht einen so fest bestimmten Wert, wie die der Emanation, sondern der Wert der Abklingungskonstante ist verschieden, je nachdem die mitgeteilte Aktivität längere oder kürzere Zeit bestanden hat. Es weist das im Sinne der Theorie des Atomzerfalls darauf hin, daß dasjenige, was wir im ganzen mitgeteilte Aktivität nennen, in Wirklichkeit aus einem Gemisch mehrerer Körper besteht, die auseinander hervorgehen, die aber zum Teil gleichzeitig vorhanden sind und zwar je nach der Dauer der Umwandlung in wechselnden Mengen. So hat eine eingehende Untersuchung gezeigt, daß in der mitgeteilten Aktivität des Radiums mindestens sechs Körper vorhanden sind, die auseinander

hervorgehen und die sehr verschiedene Abklingkonstanten haben. Man bezeichnet zweckmäßig diese aus der Emanation hervorgehenden Körper dadurch, daß man sie der Reihe nach durch die Buchstaben A, B, C . . . usw. charakterisiert. In der mitgeteilten Aktivität des Radiums sind also zunächst folgende Stoffe nachgewiesen, deren Abklingkonstanten zugleich hingeschrieben seien:

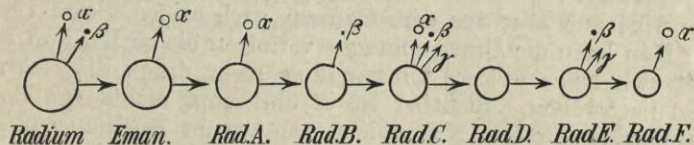
Radium A:	Abklingkonstante	3 Minuten,
„ B:	„	26,8 „
„ C:	„	19,6 „
„ D:	„	16,5 Jahre
„ E:	„	5,0 Tage
„ F:	„	136 „

Damit ist aber die Umwandlung der mitgeteilten Aktivität noch nicht erschöpft. Von besonders großem Interesse ist nun, daß das Radium F in allen seinen Eigenschaften identisch ist mit dem Polonium. Das von Frau Curie entdeckte Polonium ist also kein ursprünglicher aktiver Körper, sondern ist selbst eine Umwandlung des Radiums. Die einzelnen Substanzen verwandeln sich in die zunächstfolgenden hauptsächlich unter Aussendung von α -Teilchen. Das Radium C und das Radium E senden aber außerdem auch noch β -Teilchen, d. h. negative Elektronen, und γ -Strahlen aus, das Radium B nur β -Strahlen.

Übersichtlich wird die allmähliche Umwandlung des Radiums in die anderen Stoffe unter Aussendung von α -Teilchen, und zuweilen auch von β - und γ -Strahlen, durch Fig. 160 dargestellt.

Auch bei der radioaktiven Familie des Thoriums und des Aktiniums hat man solche Reihen aufeinanderfolgender Substanzen mit ihren Ab-

Fig. 160.



klingkonstanten feststellen können. Wegen der praktischen Wichtigkeit, die das Mesothorium erreicht hat, seien im folgenden die Glieder der Thoriumfamilie mit deren Abklingzeiten und mit den ausgesendeten Strahlen angeführt.

	Abklingkonstante	Ausgesendete Strahlen
Thorium	—	α
Mesothorium I	5,5 Jahre	keine
Mesothorium II	6,2 Stunden	β , γ
Radiothorium	2,0 Jahre	α
Thorium X	3,6 Tage	α , β
Thoriumemanation	53 Sekunden	α
Thorium A	10,6 Stunden	β
Thorium B	55 Minuten	α
Thorium C	einige Sekunden?	α
Thorium D	3,1 Minuten	β , γ

Die Einreihung einzelner dieser Substanzen ist noch nicht ganz sicher, es ist auch möglich, daß sich aus einer vorhergehenden Substanz gleichzeitig mehrere verschiedene aktive Folgesubstanzen bilden.

Die wichtigste Frage war nun die: Welcher Natur sind die α -Teilchen? Sie sind Massen mit positiver Elektrizität verbunden, und es ließ sich zeigen, daß die α -Teilchen des Radiums und seiner Folgeprodukte, aber ebenso auch die des Thoriums, des Aktiniums, alle aus demselben Stoff bestehen. Welcher Stoff aber ist das? Die glänzenden Untersuchungen des englischen Forschers Rutherford haben nun unzweideutig erwiesen, daß die α -Teilchen aus Heliumatomen bestehen, die zwei positive Elektronen besitzen. Aus dieser Feststellung ließ sich nun auch ein höchst interessantes Experiment erklären, das von dem großen englischen Forscher Ramsay herrührt. Ramsay hatte die Emanation des Radiums in eine evakuierte Glasröhre eintreten lassen, und indem er einen elektrischen Strom durch die Röhre sandte, wurde der Inhalt der Röhre leuchtend und ergab, durch ein Prisma beobachtet, ein kompliziertes Spektrum. In diesem Spektrum war sicher die charakteristische gelbe Spektrallinie des Heliums nicht enthalten. Als jedoch die evakuierte Röhre 3 Tage stehen geblieben war und danach wieder untersucht wurde, zeigte sich die gelbe Heliumlinie und es zeigten sich am folgenden Tage auch alle anderen Linien des Heliums, außerdem noch einige unbekannte Linien. Der Versuch wurde mit demselben Resultat oft wiederholt und es wurde stets konstatiert, daß, während die Röhre zuerst heliumfrei war, nach einigen Tagen Helium erschien. Diese Beobachtung bietet nun offenbar eine neue, starke Stütze dafür, daß die abgeschleuderten α -Teilchen selbst Heliumionen sind.

Das Helium ist also ein Bestandteil des Radiumatoms, aus dem es spontan entsteht.

Was wird nun aber aus dem Radium nach seinen vielen Umwandlungen? Man kann die Umwandlungen verfolgen bis zu Radium F, dann aber läßt sich keine weitere Umwandlung mehr durch die elektrischen Methoden nachweisen. Sichtbar ist ja überhaupt nichts von den aufeinanderfolgenden Stoffen. Nun ersieht man aus der Zeichnung (Fig. 160), daß, wenn das Radium sich bis Radium F verwandelt, daß dann im ganzen, inklusive der Strahlung von Radium F, 5mal α -Teilchen ausgesendet werden. Wenn man annimmt, was wahrscheinlich ist, daß bei der Umwandlung je eines Atoms immer auch ein und nur ein α -Teilchen ausgesendet wird, so muß der Körper, der aus Radium F entsteht, 5 α -Teilchen weniger im Atom besitzen, als das Radium selbst. Da nun das Atomgewicht des Radiums 226,4 ist, das des Heliums 3,85 ist, so muß dieses Endprodukt das Atomgewicht $226,4 - (5 \times 3,85) = 207,1$ haben. Das Atomgewicht des Bleis ist aber 207,0, so daß es möglich ist, daß dieses der Schluß der Umwandlung ist, daß das Radium sich schließlich in Blei verwandelt.

Eine schwierige Frage, welche der Theorie des Atomzerfalls entgegengehalten werden kann und muß, ist aber die, wie es möglich ist, daß überhaupt noch Radium auf der Erde vorhanden ist, da dasselbe sich doch seit Jahrtausenden fortwährend von selbst zerlegt und unablässig die Emanation und Helium entwickelt, und außerdem auch β -Teilchen ausstrahlt. Da seit Beginn der Erde diese Umsetzung statt-

findet, so sieht man nicht ein, wieso überhaupt noch Radium und ebenso Thorium und Uran auf Erden vorhanden sind. Die einzige Möglichkeit, diese Frage zu beantworten, scheint darin zu liegen, daß man annimmt, daß sich das Radium und die anderen Elemente auch wieder bilden können. Und das ist tatsächlich die Folgerung, zu der die Begründer und Anhänger dieser Theorie gelangt sind und die zum Teil schon bewiesen ist. Man nimmt an, daß diese schweren Elemente Uran, Radium, Thorium selbst die Produkte des Zerfalls anderer Elemente sind, daß insbesondere das Radium selbst ein Produkt des Urans ist, mit dem verbunden es in Wirklichkeit immer vorkommt. Es ist in der Tat ein Produkt des Urans, das *Ionium*, gefunden worden, aus dem das Radium direkt durch langsamen Zerfall entsteht. Da diese Umwandlungen sehr langsam geschehen, so ist dadurch erklärt, daß mit großen Quantitäten Uran doch noch kleine Quantitäten Radium gleichzeitig mit dem Endprodukt ihrer Entwicklung, dem Helium, vorkommen.

Obwohl das Radium bisher nur in verhältnismäßig geringen Mengen abgetrennt wurde, so ist doch der gesamte Gehalt der Erde an Radium kein geringer. Es hat sich gezeigt, daß der Fangschlamm nicht unbedeutend radiumhaltig ist. Im Erdboden selbst, in der Ackererde, ist immer Radium enthalten, das seine Emanation ausgibt. Fast alle heißen Quellen enthalten Radiumemanation, und es scheint wohl mit Recht, daß eine Reihe von Heilwirkungen dieser Quellen gerade auf diesem Emanationsgehalt beruht. Aus dem Erdboden dringt die Emanation auch in die Luft über und macht dieselbe, wenn auch nur in geringem Maße, leitend.

Die chemischen Elemente scheinen danach in der Tat zusammengesetzte Körper, Verbindungen von Elektronen zu sein, und hinter der heutigen Chemie, der Chemie der Moleküle, steht eine neue Chemie, die Chemie der Atome, hinter dem uns bisher bekannten Gebiet der Natur liegt noch ein ganz unbekanntes, dessen erste Küstenumrisse wir eben jetzt gewahr werden.

10. Kapitel.

Die elektrischen Schwingungen.

Inhalt: Oszillationen bei der Entladung durch einen Funken. Hertzscher Oszillator. Sehr rasche Schwingungen. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Bewegungen. Kohärer. Elektrisch-optische Versuche. Elektrische Strahlen. Telegraphie ohne Draht. Antennen. Wellen von großer Energie. Flaschenkreis. Koppelung. Tönende Funken. Kontaktdetektoren. Riesenstationen. Geknickte Antennen. Schluß.

Eine der am längsten bekannten, aber lange Zeit am wenigsten verstandenen elektrischen Erscheinungen ist der elektrische Funke. Wenn zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Leitern sich Luft befindet, so bietet diese dem Ausgleich der Ladungen einen außerordentlich großen Widerstand dar. Aber wenn die Spannung zwischen den beiden Leitern eine große ist, so springt zwischen den beiden Leitern ein Funke über, die für gewöhnlich isolierende Luft wird zum Nachgeben gezwungen.

In einem solchen Funken aber geht nicht, wie man zunächst annehmen könnte und angenommen hat, die Elektrizität einfach von dem einen Körper zum anderen über, sondern es findet vielmehr hierbei ein Hin- und Herschwingen der Elektrizitäten statt. Man kann sich das klarmachen, wenn man bedenkt, daß durch den Funken plötzlich der Widerstand der Luft zwischen den beiden geladenen Körpern überwunden wird und daß die plötzliche Überwindung jedes Widerstandes immer periodisch stattfindet. Wenn von zwei zusammengekuppelten Trambahnwagen der vordere sich zu bewegen anfängt, so pendelt der hintere erst einige Male hin und her, bis er ihm folgt. Wenn wir einen Stein auf den Wasserspiegel eines Teiches werfen, also dessen Gleichgewicht plötzlich stören, so kommt das Wasser in Schwingungen, wenn wir einen Körper zerbrechen, zerdrehen, zerdrücken, wenn wir beim Pfeifen die Luft durch die enge Mundöffnung hindurchblasen, immer hören wir einen Ton, das heißt immer entstehen periodische Bewegungen bei der plötzlichen Überwindung von Widerständen. Daß nun auch in dem elektrischen Funken eine periodische Erscheinung, ein Hin- und Herschwingen der Elektrizitäten stattfindet, das wurde zum ersten Male von Feddersen experimentell bewiesen. Er zeigte, daß in einem Funken, der bei der Entladung von geladenen Leydener Flaschen auftritt, die elektrischen Verschiebungen mit solcher Geschwindigkeit hin und her gehen, daß etwa eine Million oder gar bis zu 100 Millionen solche Bewegungen in der Sekunde stattfinden würden, wenn der Funke überhaupt eine Sekunde lang anhalten würde. Solche außerordentlich rasch wechselnde elektrische Bewegungen nennt man elektrische Schwingungen oder Oszillationen. Daß solche Schwingungen stattfinden und daß die Zahl der Schwingungen in einer Sekunde eine so enorme, die Dauer

einer Schwingung eine so außerordentlich kurze ist, kann man, wie es Feddersen tat, durch einen sehr einfachen Apparat, einen sogenannten Drehspiegel, erkennen und messen. Wenn man nämlich derjenigen Stelle gegenüber, an welcher der Funke entsteht, einen Spiegel aufstellt, der sich sehr rasch um eine Achse dreht, so dreht sich in der kurzen Zeit, die der Funke andauert, der Spiegel um einen Winkel, der um so größer ist, je größer seine Drehungsgeschwindigkeit ist. Da nun ein Spiegel einen Lichtstrahl immer unter demselben Winkel zurückwirft, unter dem er aufgefallen ist, so ist klar, daß man das Bild des Funkens dabei zu einem Bande, einem Lichtbände, ausgezogen sehen muß, und zwar zu einem um so längeren Bande, je größer der Abstand zwischen Auge und Spiegel ist. Das Experiment ergab nun tatsächlich ein solches Lichtband, aber mit besonderer Eigentümlichkeit. Das Bild hat nämlich das Aussehen wie in Fig. 161. Man sieht, daß in dem Lichtband (das photo-

Fig. 161.



graphiert wurde) eine Reihe von hellen Stellen mit dunkeln Zwischenräumen vorhanden ist, ein Beweis dafür, daß die Entladung periodisch aussetzt und wieder beginnt, kurz, daß Oszillationen vorhanden sind. Ferner aber kann man ja, wenn man die Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels und den Abstand der photographischen Platte vom Spiegel kennt, aus der Länge des ganzen Lichtbandes die Dauer des ganzen Funkens berechnen. Ist z. B. der Abstand der Platte vom Spiegel 1 m und würde der Funke eine Sekunde lang dauern, so würde das Bild des Funkens, wenn der Spiegel sich in dieser Sekunde 100mal vollständig herumdreht, einen Lichtstreifen darstellen, der 200mal einen Kreis von 1 m Radius umfaßt. Da nämlich das auffallende Licht vom Spiegel immer unter demselben Winkel zurückgeworfen wird, unter dem es auffällt, so wandert das Bild, das der Spiegel entwirft, doppelt so rasch als der Spiegel. Dauert nun der ganze Funke nicht eine Sekunde, sondern etwa $\frac{1}{10000}$ Sekunde, so hat das Lichtband auch bloß den zehntausendsten Teil der Länge. In unserem Beispiel ist im ersten Fall die Länge angenähert $6 \times 200 = 1200$ m, im zweiten Fall angenähert 0,12 m = 12 cm. So kann man umgekehrt aus der Länge des Lichtbandes die Dauer des ganzen Funkens berechnen. Bei der obigen Figur betrug nun die Dauer des ganzen Funkens etwa $\frac{1}{60000}$ Sekunde. Da nun in dem ganzen Funken 8 Schwingungen vorhanden sind, 8 schwarze Stellen mit weißen abwechseln, wie man durch Abzählen erkennt, so beträgt die Dauer e i n e r Oszillation den fünfhunderttausendsten Teil einer Sekunde.

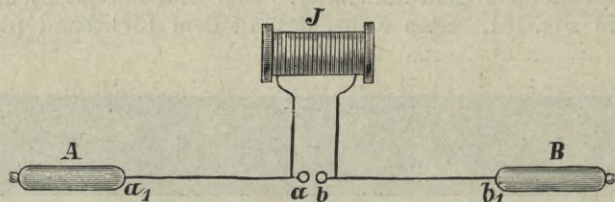
Die Dauer einer solchen elektrischen Schwingung wächst mit der Menge der in Bewegung gesetzten Elektrizität, also mit der K a p a z i t ä t der Körper, zwischen denen die Funken übergehen.

Ebenso wie eine Pfeife um so langsamere Schwingungen macht, um so tiefere Töne gibt, je länger sie ist, je größer also die in Bewegung ver-

setzte Luftmenge ist, ebenso sind auch bei der Funkenentladung die Schwingungen um so langsamer, ist die Schwingungsdauer um so größer, je größer die in Bewegung versetzten Elektrizitätsmengen, je größer also die Kapazität der Leiter ist, zwischen denen der Funke überspringt. Große Leydener Flaschen geben daher, wenn sie durch einen Funken entladen werden, langsamere Schwingungen als kleine, und äußerst rasche Schwingungen muß man demnach erhalten, wenn man zwischen Körpern von sehr geringer Kapazität Funken übergehen läßt.

Solche sehr rasche Schwingungen hat nun H. Hertz in Bonn zuerst dadurch hervorgebracht, daß er eine Anordnung traf, wie sie durch Fig. 162 dargestellt wird. Er verband die sekundären Pole eines Induk-

Fig. 162.



tionsapparates J durch Drähte mit den beiden geradlinigen Leitern a_1 und b_1 , an denen Metallzylinder A und B befestigt waren. Man nennt diesen Apparat einen Hertz'schen Oszillator. Zwischen den beiden Endkugeln a und b springen die einzelnen Entladungsfunken über. Jeder solche Entladungsfunke ist aber auch hier wieder oszillatorisch. Die Entladung geht auch hierbei wieder in Schwingungen vor sich, und da die Kapazität dieser geradlinigen Leiter mit ihren Zylindern sehr klein ist, so ist hierbei die Schwingungsdauer dieser Oszillationen sehr klein. Er erhielt so Schwingungen, deren Schwingungsdauer nur etwa der hundertmillionste Teil einer Sekunde war. Man hat sich den Vorgang bei den Entladungen in einem solchen Apparat also so zu denken: Bei jeder einzelnen Öffnung des primären Stromes in J entsteht ein Induktionsstoß, welcher den Leiter a_1 A z. B. positiv, den Leiter b_1 B negativ ladet. Diese beiden entgegengesetzten Elektrizitäten gleichen sich sofort durch die zwischen a und b vorhandene Luftschicht aus, aber dieser Ausgleich geschieht oszillierend, so daß in dem ganzen geradlinigen System A bis B und der Luftschicht dazwischen geradlinige Schwingungen stattfinden. Diese Oszillationen, die in etwa dem hundertmillionsten Teil einer Sekunde aufeinander folgen, finden bei jedem einzelnen Funken statt. Sie sind schon vollständig abgelaufen, wenn durch eine neue Öffnung der primären Spule ein zweiter Induktionsstrom nach a und b gesendet wird. Dieser ladet A und B wieder und die Entladung ist wieder oszillierend usw.

Bei diesen sehr raschen Schwingungen aber zeigte es sich zum ersten Male deutlich, und das war eine große Überraschung, daß diese nicht bloß in den Zylindern A und B und den sie verbindenden Drähten stattfinden, sondern daß sie erhebliche Wirkungen in die Ferne haben, daß sie also auch den Äther der angrenzenden Luft zum Mitschwingen erregen. Dadurch konnte nun Hertz eine Frage entscheiden, die schon lange auf-

geworfen worden war, nämlich ob die Induktionskräfte eine meßbare Zeit brauchen, um von einem primären Leiter durch die Luft zu einem sekundären Leiter zu gelangen, oder, anders gefragt, ob die Induktionswirkungen eine meßbare Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben.

Wenn es wirklich, wie schon Faraday und Maxwell vermuteten, der Lichtäther ist, der die Fortpflanzung der Induktionswirkungen besorgt, so war zu erwarten, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Induktionswirkungen gleich der Geschwindigkeit ist, mit der das Licht sich fortpflanzt, also 300 000 Kilometer in der Sekunde beträgt. Mit den von Hertz erzeugten raschen Schwingungen war die Möglichkeit gegeben, diese Frage experimentell zu untersuchen. Denn wenn in einer solchen Schwingung eine elektrische Bewegung nur den hundertmillionsten Teil einer Sekunde dauert, so pflanzt sich diese Bewegung, bis die Schwingung vorüber ist, nur um 3 m fort, und das ist eine Strecke, auf der man die Erscheinungen leicht verfolgen kann. In der Tat gelang es Hertz, die Ausbreitung solcher rascher Schwingungen in dem Luftraum, der die Schwingung umgibt, genau zu verfolgen und die Geschwindigkeit, mit der diese Ausbreitung erfolgt, zu messen, und er fand tatsächlich, daß diese Geschwindigkeit gleich der des Lichtes ist. Die elektrischen Bewegungen, die von dem obigen Hertzschcn 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, 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 Hertzschcn 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. Also z. B. eine Schwingung, wie sie Feddersen bei der Entladung seiner Kondensatoren erzeugt hat, und deren Funkenbild in Fig. 161 dargestellt wurde, und die, wie oben angegeben, den fünfhunderttausendsten Teil einer Sekunde dauert, erzeugt eine Welle, deren Länge

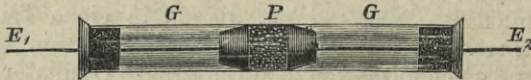
$$\frac{300\,000}{500\,000} \text{ Kilometer} = 600 \text{ Meter}$$

ist. Die Hertzschc Schwingung, die 200mal so rasch ist, erzeugt eine Wellenlänge von 3 m. Es sind das also alles Ätherwellen, ganz von derselben Art wie die Lichtwellen. Ätherwellen, welche auf unser Auge wirken, haben Wellenlängen, die je nach der Farbe zwischen 4 und 7,6 Zehntausendsteln eines Millimeters liegen. Längere Wellen, bis zu einem Zehntel eines Millimeters, wirken noch erwärmend, thermisch, auf feine

Apparate. Elektrische Wellen, wie sie durch einen Funken hervorgebracht werden, sind zwar sehr viel größer, ihre Wellenlängen betragen einige Zentimeter bis zu Hunderten von Metern. Aber der Unterschied ist doch nur ein gradueller. Man kann auf Grund der Versuche von Hertz 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 das aber richtig ist, so muß es auch möglich sein, mit den elektrischen Wellen ebensolche Erscheinungen hervorzurufen, wie mit Lichtwellen. Man muß die elektrischen Wellen an Spiegeln reflektieren lassen können, man muß sie durch ein Prisma brechen können, man muß sie durch Hohlspiegel oder durch Linsen konzentrieren können, wie die Lichtwellen. Auch diese weiteren Folgerungen hat Hertz experimentell bewiesen. Seine Versuche, die damals recht schwierig waren und große Zurüstungen erforderten, lassen sich heute mit verhältnismäßig sehr einfachen Mitteln auf das deutlichste zeigen. Es wurde nämlich von dem französischen Forscher Branly ein Apparat erfunden, durch welchen man die schwächsten elektrischen Schwingungen, die von einer Funkenstrecke ausgehen, sehr leicht und sicher erkennen kann, ein Apparat, den man Kohärer oder Fritter nennt. Branly brachte nämlich in eine Glasröhre *G*, wie in Fig. 163, grob gepulverte Metallspäne *P* und

Fig. 163.

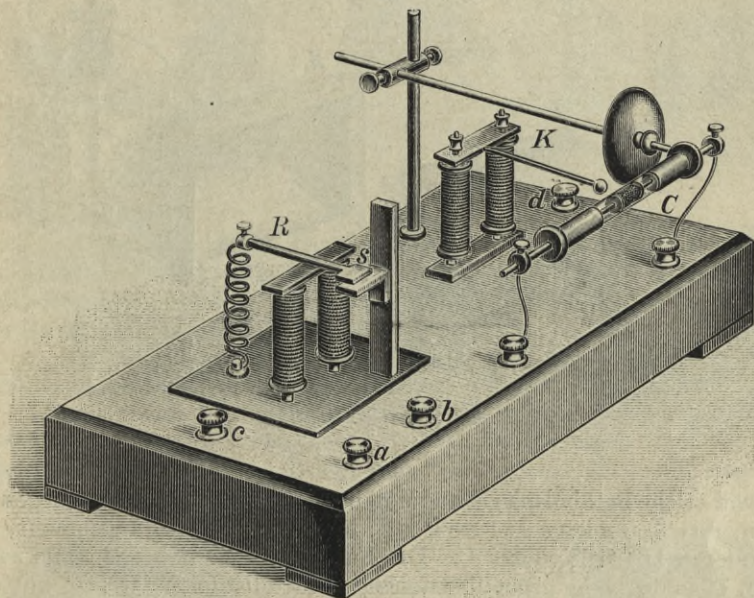


führte in die Glasröhre zwei Elektroden E_1 und E_2 ein, welche das Metallpulver berührten. Da der Kontakt zwischen den einzelnen lockeren Metallteilchen ein sehr schlechter ist, so hat ein solches System einen außerordentlich großen Leitungswiderstand, der nach Hunderttausenden von Ohm zählt. Ein Strom von einem galvanischen Element geht also nur in minimalen Beträgen durch eine solche Röhre hindurch. Sowie aber, und das war die Entdeckung von Branly, eine elektrische Welle auf diese Röhre fällt, treten zwischen den einzelnen lockeren Metallteilchen minimale, unsichtbare Fünkchen auf, welche die Oberfläche zweier benachbarten Metallspäne aneinander schweißen. Dadurch wird der Kontakt zwischen ihnen sofort ein guter und der Widerstand der Röhre sinkt sofort auf einen kleinen Betrag, etwa 5 oder 10 Ohm, herunter. Dasselbe galvanische Element, das vorher kaum einen Strom durch die Röhre hindurchgebracht hatte, liefert daher jetzt einen ganz kräftigen Strom hindurch.

Eine solche Röhre mit Metallpulver, ein solcher Kohärer, ist also ein sehr feines Reagenzmittel auf elektrische Wellen. Um ihn anzuwenden, bildet man einen Stromkreis aus einem Element, dem Kohärer und etwa einer elektrischen Klingel. Solange das Pulver im Kohärer locker ist, ertönt die Klingel nicht. Sobald aber elektrische Wellen auf den Kohärer fallen,

fließt der Strom und die Klingel ertönt. Sobald jedoch einmal die Wellen auf den Kohärer gefallen sind, hat dieser einen kleinen Widerstand erlangt und behält diesen natürlich auch bei, wenn die Wellen aufhören. Man braucht aber dann nur die Röhre etwas durch Anklopfen zu erschüttern, dann lagern sich die Teilchen wieder locker an und der große Widerstand ist wieder da, der Kohärer kann von neuem auf elektrische Wellen reagieren. Man kann das Klopfen aber auch vorteilhaft durch eine selbsttätige Anordnung ersetzen. Man verbindet nämlich, wie in Fig. 164, ein Element mit dem Kohärer C und einem Relais R (o. S. 57).

Fig. 164.

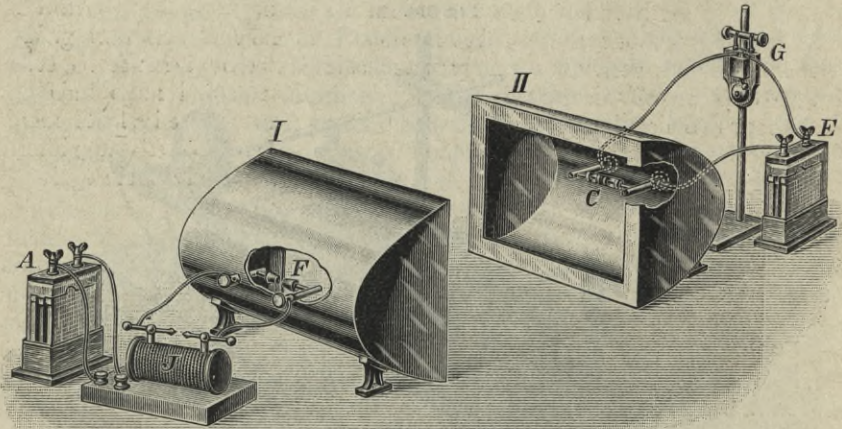


Sobald Wellen auf den Kohärer fallen, wird der Anker S des Relais angezogen und schließt nun den Stromkreis einer kräftigen Batterie, in welchem sich die elektrische Klingel K befindet. An deren Glocke ist aber der Kohärer befestigt, so daß in dem Moment, wo der Klöppel anschlägt, der Kohärer erschüttert wird und wieder den großen Widerstand annimmt.

Mit einem solchen Kohärer versehen, kann man zunächst leicht zeigen, daß sich von einem Funken aus elektrische Wellen ausbreiten, die sich ganz so wie Lichtwellen verhalten. Man beobachtet, daß der Kohärer wirkt, d. h. daß die Klingel ertönt, wenn er auch 5, 10, 20 m von dem Funken entfernt ist, ohne daß irgend eine Drahtverbindung zwischen dem Funken und dem Kohärer vorhanden ist; also folgt, daß sich die elektrischen Wellen vom Funken aus im Raum ausbreiten, ganz wie die Lichtwellen. Da die elektrischen Wellen aber große Wellenlängen haben, mehrere Zentimeter oder Meter, so verhalten sie sich in mancher Beziehung eher wie die Schallwellen,

deren Länge ja auch mehrere Zentimeter groß ist. Insbesondere gehen die elektrischen Wellen wie die Schallwellen um Ecken und Kanten herum, während die kleinen Lichtwellen das nicht tun. Um daher die elektrischen Wellen nicht in dem ganzen Raume, in dem man experimentiert, sondern nur in gewisser Richtung zu haben, bringt man den ganzen Apparat, mit dem man die Funken erzeugt, in die Brennpunktlinie eines Hohlspiegels. Dann treten aus dem Hohlspiegel elektrische Strahlen aus. In Fig. 165 ist die Anordnung für solche Versuche gezeichnet. Man

Fig. 165.

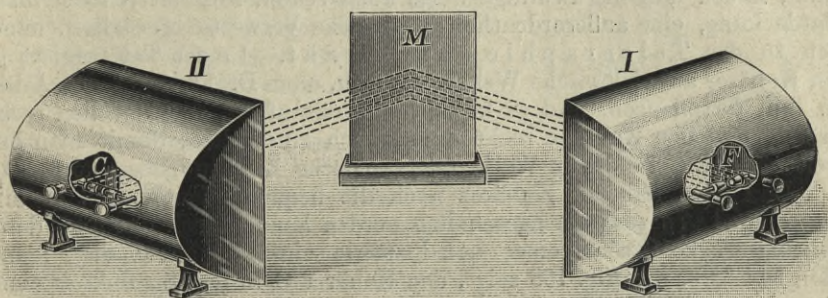


sieht zwei solche Parabolspiegel aus Metall. In dem einen I ist der erregende Funke, die Funkenstrecke F, in der Brennpunktlinie angebracht, in dem anderen II der Kohärer C. Die Funkenstrecke F besteht aus zwei kleinen, einander nahe gegenüberstehenden Metallstücken, welche mittels Drähten, die isoliert durch den Spiegel hindurchgehen, mit dem kleinen Induktionsapparat J verbunden sind. (Der Spiegel ist, um die Funkenstrecke erkennen zu lassen, durchbrochen gezeichnet.) Auch der Kohärer C im zweiten Spiegel ist durch Drähte, die isoliert durch den Spiegel hindurchführen, verbunden mit einem Element E und einer elektrischen Glocke G. Wenn diese Spiegel, wie in der Figur, einander gegenüberstehen und wenn der Induktionsapparat in Tätigkeit gesetzt wird, so daß in F Funken übergehen, so reagiert der Kohärer sofort und die Glocke ertönt. Bringt man den Kohäferspiegel aber aus der Strahlrichtung des ersten Spiegels heraus, so funktioniert der Kohärer nicht. Bringt man zwischen die beiden Spiegel eine Platte aus Glas, Ebonit, Holz, Paraffin, Schwefel, so hindern diese die Wellen nicht. Die Schwingungen gehen durch diese Isolatoren hindurch. Man kann durch verschlossene Türen hindurch die Wellen von dem einen Spiegel zum anderen gelangen lassen. Hält man aber eine Metallplatte zwischen die beiden Spiegel, so wirkt der Kohärer nicht. Die Wellen werden durch Metall aufgehalten, Metalle sind undurchstrahlbar (undurchsichtig) für die elektrischen Wellen.

Bringt man dagegen wie in Fig. 166 eine Metallplatte schief, unter 45° , gegen die vom ersten Spiegel ausgehenden Wellen, so werden die Wellen reflektiert.

Man kann die Stellung des Metallblechs leicht so wählen, daß die reflektierten Strahlen in den zweiten Spiegel und auf dessen Kohärer

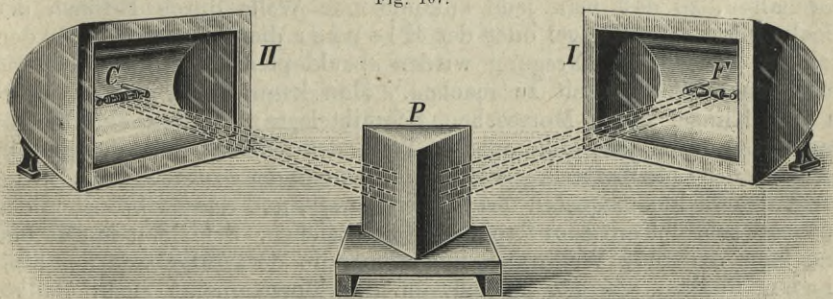
Fig. 166.



fallen und diesen anregen. Die elektrischen Strahlen lassen sich also genau so reflektieren wie Lichtstrahlen. Gerade daraus folgt auch die Wirksamkeit der beiden Spiegel. Die Wellen werden von dem ersten Spiegel in der Richtung der Achse herausgeworfen, und die auf den zweiten Spiegel in der Richtung der Achse auftreffenden Wellen werden in die Brennpunktlinie zum Kohärer reflektiert.

So wie ferner ein Lichtstrahl, durch ein Prisma gebrochen, aus seiner geradlinigen Richtung abgelenkt wird, so werden auch die elektrischen Strahlen gebrochen. Bringt man, wie in Fig. 167, ein Prisma P aus

Fig. 167.



Paraffin, etwa von 20 cm Kantenlänge, in den Strahl hinein, der vom ersten Spiegel kommt, so wird der elektrische Strahl ebenso von der Kante des Prismas weg gebrochen wie ein Lichtstrahl, und man kann den seitlich stehenden Kohärer in seinem Spiegel II damit zum Ansprechen bringen.

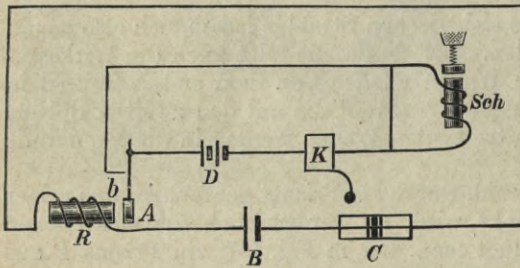
So kann man also auch durch Linsen aus Glas, Paraffin, Holz die elektrischen Wellen in einen Brennpunkt konzentrieren, ganz wie die Licht-

wellen. Die Analogie, die Gleichartigkeit dieser elektrischen Phänomene mit den Lichtphänomenen, die durch diese Experimente erwiesen ist, geht noch viel weiter, bis in die feinsten Einzelheiten hinein, doch müssen hier diese Ausführungen genügen.

Diese elektrischen Wellen, deren Bedeutung für unsere wissenschaftliche Kenntnis der Elektrizität gar nicht hoch genug angeschlagen werden kann, haben nun merkwürdigerweise auch schon, sehr rasch nach ihrer Entdeckung, eine außerordentlich praktische Verwertung erhalten, nämlich zu der Telegraphie ohne Draht. In der Tat reagiert ja ein Kohärer auf elektrische Wellen, die sich, ohne Draht, durch den Äther zu ihm fortpflanzen, und es kommt nur darauf an, diese Wellen recht kräftig und den Kohärer recht empfindlich zu machen, damit man auf weite Strecken in dieser Weise telegraphische Zeichen geben könne.

Und dazu hat der Kohärer noch die bequeme Form, daß er mit einem Relais zusammengeschaltet werden kann, durch das man dann beliebig starke Ströme einer Lokalbatterie ein- und ausschalten kann. Man legt also, wie Fig. 168 zeigt, den Kohärer C in den Stromkreis einer

Fig. 168.

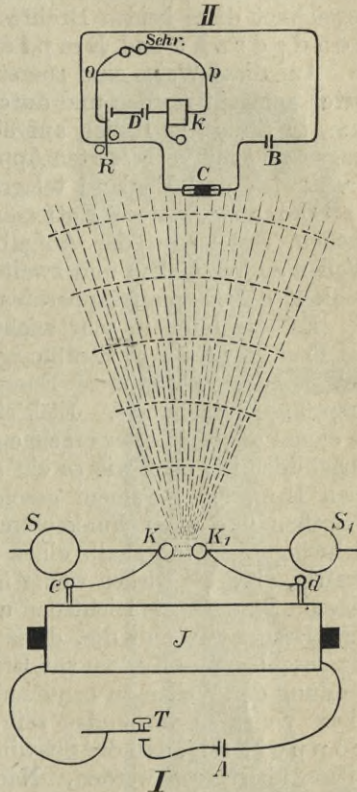


schwachen Batterie B und schaltet zu ihm noch ein empfindliches Relais R. Durch dieses letztere wird dann ein Lokalstromkreis geschlossen, sobald der Kohärer durch ankommende Wellen leitend geworden ist. In den Lokalstromkreis, dessen Batterie D sei, kann man eine elektrische Klingel K einschalten, so daß man jede ankommende Welle durch Ertönen der Glocke hört. Die Klingel oder der Klopf er dient zugleich dazu, den Kohärer nach jeder Erregung wieder abzuklopfen und zur Aufnahme einer neuen Welle bereit zu machen. Man kann weiter auch parallel zu der Klingel einen Morseschen Schreibtelegraphen Sch einschalten. Dann wird durch jede ankommende Welle der Kohärer leitend, wodurch der Kreis der Lokalbatterie geschlossen wird, und der so entstehende Strom erregt den Elektromagneten des Morseapparats, und das Farbrädchen des Apparats schreibt auf dem Papierband die Zeichen. Schickt man also nur eine kurz dauernde Welle aus, indem man in der Aufgabestation bloß einen Funken erzeugt, so schreibt der Morseapparat einen Punkt. Schließt man aber in der Aufgabestation den Induktionsapparat längere Zeit, so entstehen eine Reihe von aufeinanderfolgenden Funken, deren Wellen auf den Kohärer fallen, so daß durch den Morseapparat eine Reihe von nahe nebeneinander liegenden Punkten aufgeschrieben werden, die, wenn das Papierband des Morseapparats sich langsam genug bewegt, sich zu einem Strich zusammenschließen werden. So erhält man also an der entfernten Station Punkte oder Striche und kann daher mit dem gewöhnlichen Morsealphabet ohne Draht telegraphieren.

Die Anordnung für diese Versuche ist schematisch durch Fig. 169

gekennzeichnet. In der Station I sieht man eine Batterie A, die durch einen Morsetaster T mit den primären Klemmen eines Induktionsapparates J verbunden ist. Die sekundären Pole c und d desselben sind zu einem Hertzschen Oszillator (S. 194) geführt. Derselbe besteht aus zwei Metallstangen, auf welchen die größeren Kugeln S und S₁ sitzen und deren Enden durch kleine Kugeln K und K₁ gebildet sind. Zwischen diesen springen die Funken über. Bei jedem Druck des Tasters ladet sich das ganze System und entladet sich oszillatorisch in der Funkenstrecke K K₁. Durch diese oszillierenden Funken wird der umgebende Äther in Schwingungen versetzt, und diese Schwingungen pflanzen sich, wie es durch die punktierten Linien angedeutet ist, wellenförmig in kugelförmiger Ausbreitung immer weiter fort. An der Station II wird dadurch der Kohärer C erregt, der, wie eben beschrieben, dadurch den Strom von dem Element B durch sich und durch das Relais R hindurchleitet, welches letztere mittels der Lokalbatterie D sowohl den Klopfer K wie den Morseapparat Schr. in Tätigkeit versetzt. Der Morseapparat gibt also bei jedem einmaligen Niederdrücken des Tasters in I einen Punkt, bei längerem Niederdrücken des Tasters einen Strich.

Fig. 169.



Indes ist die Entfernung, auf welche man so direkt mittels dieser Apparate Zeichen geben kann, eine ziemlich unbedeutende, sie dürfte unter günstigen Umständen kaum 50 m übersteigen, was natürlich für praktische Zwecke vollkommen ungenügend wäre. Hier aber hat Marconi, der berühmte italienische Ingenieur, der zuerst die Anwendbarkeit dieser Methode für die Telegraphie ohne Draht erkannte, eine Veränderung angebracht, welche sich von großer Bedeutung erwies. Er brachte nämlich in der ersten Station, wo die Funken erzeugt werden, an dem einen Pol der Funkenstrecke, etwa an der Kugel K, einen langen Draht an, der senkrecht nach oben geführt wurde. Seine Länge betrug in verschiedenen Versuchen zwischen 20 und 50 m. Der andere Pol der Funkenstrecke, die Kugel K₁, wurde zur Erde abgeleitet. Und ebenso brachte er an der entfernten Station, wo der Kohärer stand, an dessen einem Pol einen langen Draht an und leitete auch den anderen Pol zur Erde ab. Die Anbringung dieser Drähte vergrößerte nun die Entfernung, auf die man telegraphieren konnte, ganz erheblich. Die Übermittlung von Morschrift gelang dadurch sofort auf viele Kilometer. Es zeigte sich,

daß je länger diese Drähte sind, daß auch um so weiter die Wellen noch wirksam sind. Der Grund, warum diese Drähte so vorteilhaft wirken, ist offenbar der, daß sie die Wellen hindern, sich zu zerstreuen, sie vielmehr zwingen, sich wesentlich, in der Richtung zwischen den beiden Drähten auszubreiten. Sie wirken also in ähnlicher Weise wie ein Schallrohr. Man bezeichnet diese beiden Drähte als *Antennen* oder auch getrennt als *Sendedraht* und *Empfängerdraht*.

Auf diese Weise sind zuerst von Marconi Versuche an verschiedenen Orten gemacht worden und durch Anbringung solcher Antennen gelang es ihm, in Spezia in Italien auf 35 km noch deutliche Depeschen zu übertragen und mit verbesserten Apparaten sogar auch über den Kanal zwischen Frankreich und England telegraphisch ohne Draht zu korrespondieren.

Um aber weitere Entfernungen erreichen zu können, mußte man suchen, erstens an der Aufgabestation die Energie der ausgesendeten Wellen zu verstärken und zweitens an der Empfangsstation die Empfindlichkeit des Empfangsapparates bedeutend zu erhöhen.

Es war nun ein sehr wichtiger Fortschritt für diese neue Technik, als Prof. Braun in Straßburg eine Methode angab, durch die es möglich wurde, viel größere Energiemengen anzuwenden, als Marconi sie ursprünglich benutzte. Elektrische Schwingungen kann man entweder in einem offenen Leiter erzeugen, wie es der von Hertz ist, der in Fig. 162 abgebildet ist, oder wie es ein solcher Sendedraht von Marconi ist, oder man kann sie in einem geschlossenen System, welches aus Leydener Flaschen und einer Funkenstrecke besteht, erzeugen. Die elektrischen Schwingungen innerhalb eines solchen geschlossenen Systems sind sehr kräftig, aber sie wirken wenig nach außen, während die Schwingungen in einem offenen Kreis leicht den umgebenden Äther anregen. Die neue Idee von Braun war nun die, diese beiden Systeme zusammen anzuwenden, ein geschlossenes System zur Erzeugung und einen offenen Draht zur Aussendung der Wellen zu benutzen. Diese beiden Systeme müssen in irgend einer Weise so verbunden sein, oder, wie man es jetzt nennt, so *gekoppelt* sein, daß die Schwingungen des geschlossenen Systems auf das offene übertragen werden. Nach diesem Prinzip gestaltete Braun, resp. die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, System *Telefunken*, die diese Apparate ausführt, die Anordnung in der Sendestation so, wie es aus Fig. 170 hervorgeht.

Von einem Induktionsapparat wird eine Anzahl Leydener Flaschen *L* geladen, und sie entladen sich sofort in dem metallischen Kreis, der bei *F* die Funkenstrecke besitzt. Die Wellen, die die Funken in diesem Kreis erzeugen, haben wegen der erheblichen Kapazität der Flaschen, die man auch variieren kann, eine große Länge. In diesem Kreis ist nun bei *a b* eine Anzahl von Drahtwindungen angebracht und von diesen werden andere in der Nähe befindliche Drahtwindungen *b b'* induziert. Diese sind einerseits mit der Antenne, anderseits mit der Erde verbunden. Auf diese Weise geschieht die Koppelung des Sendedrahtes mit dem geschlossenen Schwingungskreis, den man den *Flaschenkreis* nennt. Liegen die Windungen *b b'* nahe an *a a'*, so sagt man, die Koppelung sei *eng*; liegen sie ziemlich weit ab, so sagt man, sie sei *lose*. Durch enge Koppelung kann man natürlich viel Energie von dem Flaschenkreis auf die Antenne

übertragen. Die Ausstrahlung der elektrischen Wellen durch die Antenne ist am kräftigsten, wenn ihre Länge in einer bestimmten Beziehung zur Länge der im Flaschenkreis erzeugten Wellen steht, nämlich wenn ihre Länge ein Viertel der Wellenlänge ist. Die Schwingungsdauer der elektrischen Oszillationen in einem solchen Flaschenkreis und daher auch die Länge der erzeugten und ausgestrahlten elektrischen Wellen ist natürlich wegen der großen Kapazität der Flaschen eine außerordentlich viel größere, als sie etwa bei den Hertz'schen Wellen war. Die drahtlose Telegraphie operiert jetzt mit Wellen, deren Wellenlänge zwischen 300 und 3000 m liegt, gegenüber den Hertz'schen Wellen von 0,3 bis 3 m Länge. Nicht bloß durch Zu- oder Abschaltung von Flaschen, sondern auch durch Veränderung der Länge der Drahtwindungen $a a'$ in dem Flaschenkreis kann man leicht die Länge der ausgehenden

Fig. 171.

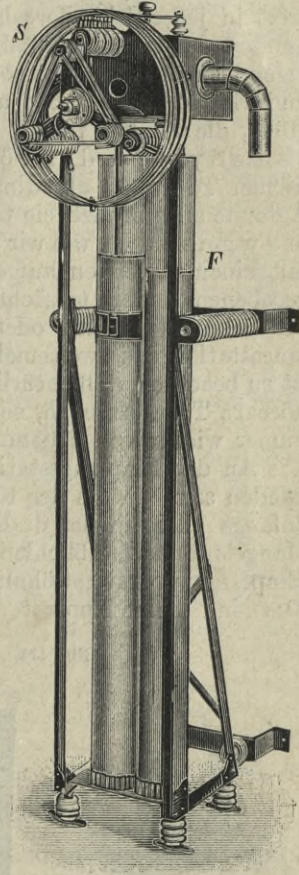
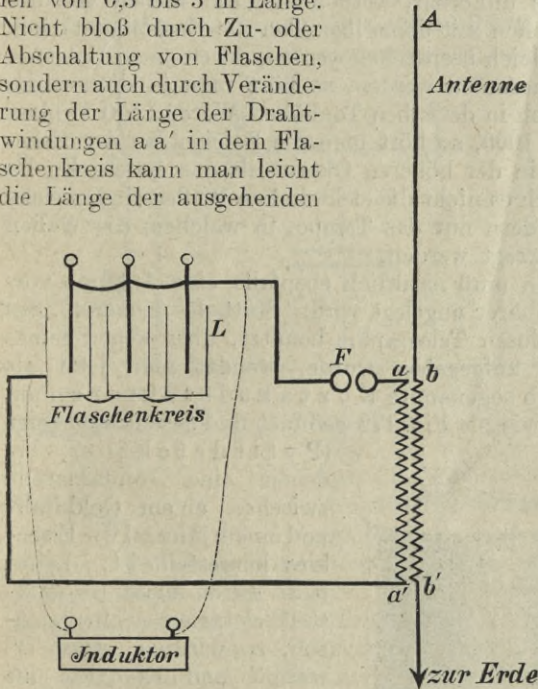


Fig. 170.



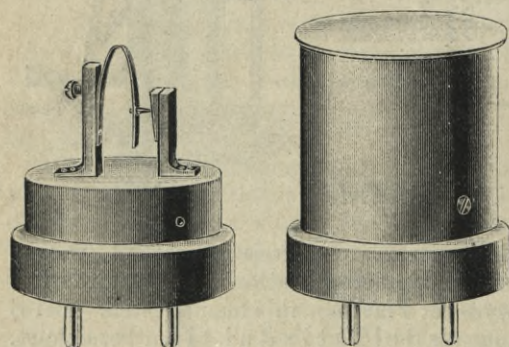
Wellen verändern. In Fig. 171 ist der Flaschenkreis abgebildet, wie er von der Gesellschaft Telefunken bei kleineren Stationen ausgeführt wird. Man sieht bei F zwei große Leydener Flaschen in einem Gestell. Bei S sind die Drahtwindungen, die man als Selbstinduktion bezeichnet. Durch drei verschiedene Anschlüsse an diese Selbstinduktion erhält man drei Wellenlängen von 300, 450 und 600 m Länge.

Die Funken, durch die der Flaschenkreis sich entladet und durch welche die Wellen entstehen, macht man jetzt sehr klein. Wegen des großen Widerstandes sehr kleiner Funken — die Luft wird von ihnen sehr wenig erwärmt und leitet daher schlecht — macht dann der Flaschenkreis

nur eine einzige Schwingung, regt aber dabei die Antenne an, die nun, da sie nur kleinen Widerstand besitzt, für sich viele Schwingungen aussendet. Der Flaschenkreis gibt also gewissermaßen der Antenne nur einen Stoß, durch den sie zum Schwingen kommt. Man bezeichnet deshalb diese Erregung der Antenne durch kleine Funken als Stoßerregung, die Funken selbst als Löschfunken. Da nun der Flaschenkreis gleich nach der ersten Schwingung ruhig bleibt, so kann man jetzt in jeder Sekunde sehr viele solche Löschfunken erzeugen, mehrere hundert, und jede wird die Antenne von neuem zu Schwingungen anregen. Mehrere hundert solcher Funken, d. h. mehrere hundert Ladungen und Entladungen, geben aber einen musikalischen Ton von bestimmter Höhe, die Funken tönen. Man bezeichnet deswegen ein solches System als das System der tönenden Funken. Mit demselben musikalischen Ton, aber allerdings unhörbar, werden nun die Wellen von der Antenne ausgesendet, sie treffen mit demselben Ton die Empfangsstation, und wenn sie dort, wie wir gleich besprechen werden, durch einen Detektor mit einem Telephon aufgenommen werden, so hört man in diesem die gegebenen Zeichen tatsächlich in derselben Tonhöhe. Werden 500 Funken pro Sekunde benutzt, oder 1000, so hört man die Zeichen an der Empfangsstation das zweitemal in der höheren Oktave als das erstemal. Es ist zu beachten, daß natürlich es nicht die elektrischen Wellen sind, welche hörbare Töne erzeugen, sondern nur das Tempo, in welchem die Wellen immer wieder von neuem erregt werden.

An der Empfangsstation muß natürlich ebenfalls eine Antenne vorhanden sein, an die der Kohärer angelegt wird. Statt des Kohäriers, der anfangs allein in der drahtlosen Telegraphie benutzt, aber wegen seines Mangels an Verlässlichkeit aufgegeben wurde, wendet man jetzt als Empfangsapparat gewöhnlich sogenannte Kontaktdetektoren an. Das sind kleine Apparate, wie sie Fig. 172 geöffnet und geschlossen zeigt

Fig. 172.

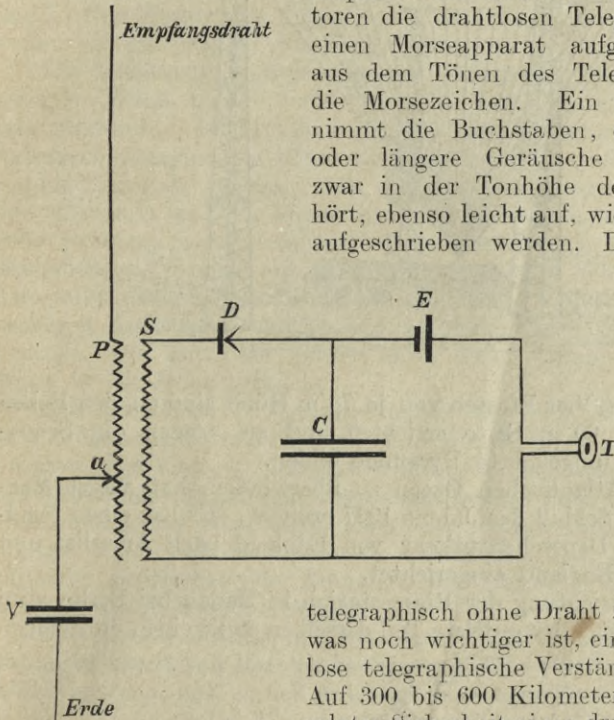


(Pyritdetektor), bei denen eine Kontaktstelle zwischen einem Golddraht und einem Mineral wie Eisenkies hergestellt ist. Leitet man durch diese Kontaktstelle elektrische Schwingungen, so wird sie etwas erwärmt und es tritt eine thermoelektrische Wirkung ein, die zur Folge hat, daß die nach der einen Richtung gehenden Schwingungshälften verstärkt, die nach der anderen Richtung gehenden

geschwächt werden. Durch die auftreffenden Wellen werden also eine Reihe von kurzen Stromstößen erzeugt, die in einem Telephon ein knackendes Geräusch erregen, und zwar in derselben Tonhöhe, wie es der Zahl der pro Sekunde ausgesendeten Wellen entspricht. Gewöhnlich schaltet man die Kontaktdetektoren in den Stromkreis eines Elementes.

Die Verbindung der Empfangsantenne mit einem solchen Kontaktdetektor zeigt Fig. 173. Man sieht den Empfangsdraht mit einigen Windungen P a, welche induzierend auf die benachbarten S wirken, in deren Kreis der Kontaktdetektor D mit einem Telephon T und einem Element E (und dazu noch parallel ein Kondensator C) eingeschaltet sind.

Fig. 173.



Es werden also bei Anwendung der sehr empfindlichen und verlässlichen Kontaktdetektoren die drahtlosen Telegramme nicht durch einen Morseapparat aufgeschrieben, sondern aus dem Tönen des Telephons erkennt man die Morsezeichen. Ein geübter Telegraphist nimmt die Buchstaben, die er durch kürzere oder längere Geräusche im Telephon, und zwar in der Tonhöhe der tönenden Funken, hört, ebenso leicht auf, wie sie im Morseapparat aufgeschrieben werden. Die Telegramme werden,

wie man es nennt, durch Hörempfang aufgenommen.

Mit Anwendung dieser Mittel und durch Verfeinerung der Empfangsapparate gelang es, immer größere und größere Entfernungen

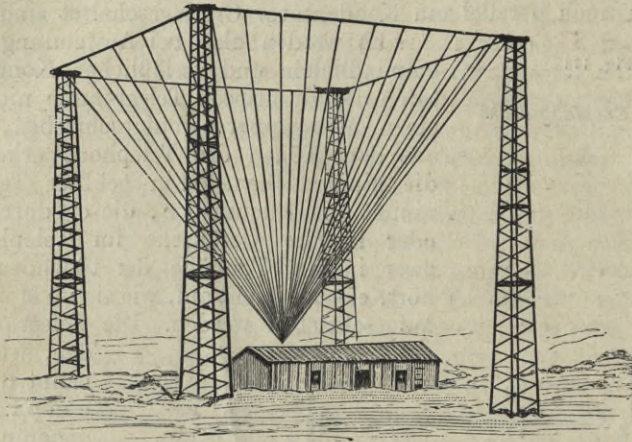
telegraphisch ohne Draht zu überbrücken und, was noch wichtiger ist, eine ganz sichere tadellose telegraphische Verständigung zu erzeugen. Auf 300 bis 600 Kilometer kann man mit absoluter Sicherheit einen drahtlosen Verkehr ein-

richten. Für diese Entfernungen braucht man nicht einmal sehr große Energiemengen aufzuwenden, sondern einfache Apparate erlauben bei dieser Entfernung vollkommen sichere Verständigung.

Aber mit diesen Erfolgen wuchs auch bei den Technikern der Wunsch, noch viel weiter zu kommen, noch viel größere Entfernungen drahtlos zu überbrücken. Man wollte nach Schiffen, die tausend oder zweitausend oder noch mehr Kilometer vom Lande entfernt sind, telegraphisch Nachrichten senden, und Marconi war es, der sogar zuerst den Plan faßte und ihn ausführte, von Europa nach Amerika und zurück auf 5000 bis 6000 Kilometer Entfernung drahtlos zu telegraphieren und so den Ozean auf dem Äthermeer zu überwinden. Für solche Zwecke wurden nun zuerst von ihm in England und Amerika Riesenstationen gebaut, welche enorme Mengen von Energie in Form elektrischer Wellen ausstrahlen. Aber auch die deutsche Telefongesellschaft hat bei Nauen eine solche Riesenstation errichtet und ebenso ist eine solche am Eiffelturm in Paris vorhanden. Die Antennen bei diesen Riesenstationen

sind nicht einfache Drähte mehr, sondern riesige Drahtgebilde von verschiedener Form. So zeigt Fig. 174 die Ansicht der Marconischen

Fig. 174.

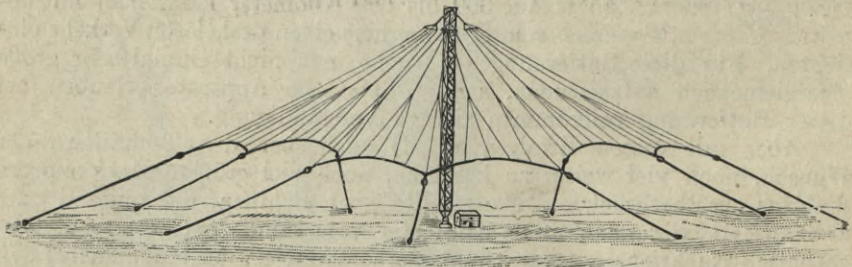


Station in Amerika. Vier Pfosten von je 70 m Höhe sind an den Ecken eines Quadrats von 60 m Seite errichtet und sie tragen die Sende-drähte, welche eine umgekehrte Pyramide bilden.

Das Ziel, den Atlantischen Ozean zu überwinden, hat zuerst Marconi wirklich gegen Schluß des Jahres 1907 erreicht. Er hat einen regelmäßigen drahtlosen Depeschenverkehr von England nach Amerika und von Amerika nach England eingerichtet.

Die Antenneneinrichtung der Riesenstation in Nauen bei Berlin wird durch Fig. 175 gezeigt. Der mittlere Teil derselben stellt einen dreieckigen

Fig. 175.



Turm von 200 m Höhe und 4 m Seitenlänge aus Eisenkonstruktion dar, der durch im Inneren vorhandene Treppen bestiegbar ist. Von dem Turm aus verbreitet sich eine schirmförmige Antenne, die eine Fläche von etwa 60 000 qm enthält. Mittels dieser Station gelingt es, auf Entfernungen von 5000 bis 6000 Kilometer und darüber zu telegraphieren.

Bei diesen großen Entfernungen, bei welchen die Krümmung der Erdkugel bereits kilometerhohe Hindernisse zwischen den beiden Stationen

hervorbringt, tritt die Frage auf, ob denn wirklich die elektrischen Wellen durch den Luftraum von der einen zur anderen Station gelangen. Es ist das von vornherein sehr unwahrscheinlich und es hat sich gezeigt, daß die Wellen sich zum großen Teil längs der Oberfläche der Erde oder des Meeres ausbreiten. 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 wie das Gestein des Erdbodens.

Die wichtigste Anwendung der drahtlosen Telegraphie besteht in normalen Zeiten in der Verbindung von Schiffen untereinander und mit dem Festlande. Im Kriege sind wir, nach Abschneidung aller unserer Kabelverbindungen von seiten Englands, allein durch die drahtlose Telegraphie imstande gewesen, mit der Außenwelt zu verkehren. Ebenso aber sind auch im Felde kleine Stationen, die nur eine beschränkte Reichweite besitzen, von außerordentlichem Wert für die Verbindung der vorgeschobenen Truppen mit den zurückliegenden höheren Stellen. Für diese militärischen Zwecke werden natürlich die Stationen mit allen notwendigen Apparaten zum Geben und Empfangen der Zeichen fahrbar gemacht. Die Antennen werden dabei durch posauenartig ausziehbare Rohre in die Höhe gebracht.

Der drahtlosen Telegraphie haftet der eine Mangel an, daß sie kein Geheimnis bewahren kann, und dieser Mangel wird kaum je beseitigt werden können. Die Wellen verbreiten sich eben im ganzen Äther, und jeder, der die nötigen Empfangsapparate hat, kann sie auffangen. Aber erstens hat eben nicht jeder die nötigen Empfangsapparate und zweitens kann man sich dadurch helfen, daß man Depeschen von bedeutender politischer oder kommerzieller Tragweite dem Äthermeer nur in verabredeter Schrift übergibt.

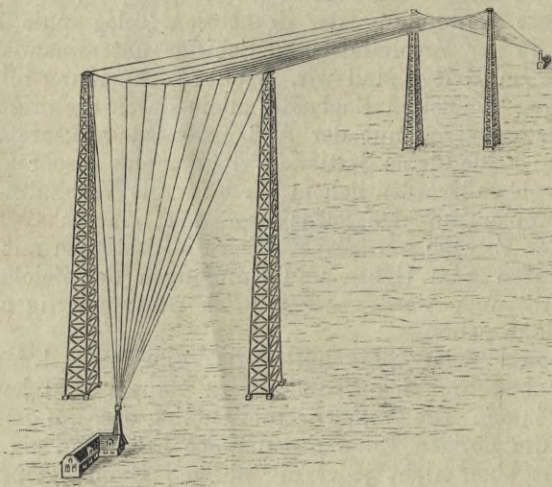
Eine gewisse Einengung dieses einen Übelstandes der drahtlosen Telegraphie ist zuerst von Marconi bei seinen großen Stationen dadurch herbeigeführt worden, daß er den Antennen eine besondere Form gab, nämlich sie als geknickte Antennen ausbildete. Die Antenne wird dabei von jeder Station erst in die Höhe geführt und dann horizontal in der Richtung nach der zweiten Station weitergeführt. Fig. 176 zeigt die Ansicht einer solchen Antenne auf der Station Hanoi in Indochina. Bei einer solchen Antenne ist die Entfernung, auf welcher die gegebenen Zeichen noch gehört werden, weitaus größer in der Richtung der horizontalen Drähte als senkrecht zu dieser Richtung und in den Zwischenrichtungen, so daß in großer Entfernung die Zeichen nur in der Hauptrichtung vernehmbar sind, in allen anderen Richtungen aber zu schwach sind, um abgefangen werden zu können. Ein gewisser Schutz des Geheimnisses ist dadurch gegeben.

Aus der Tatsache, daß eine drahtlose Telegraphie möglich ist, kann man ganz direkt ersehen, wie wesentlich unsere Kenntnisse und unsere wissenschaftlichen Anschauungen von der Elektrizität in den letzten Jahrzehnten sich geändert haben. Seit Volta, dessen Entdeckungen in dem ersten Kapitel dieses Buches besprochen wurden, war es eine konstante und trotz aller sonstigen Entdeckungen niemals auch nur in Zweifel

gezogene Tatsache, daß die elektrischen Ströme, Gleichströme oder Wechselströme, sich nur in Metallen, in Drähten fortpflanzen. Jetzt sehen wir direkt, daß solche elektrische Bewegungen, Oszillationen, auch ganz ohne Drähte sich durch den Äther ausbreiten.

Vieles im Gebiet der elektrischen Erscheinungen, das hat der Inhalt dieses Werkes gezeigt, ist uns heute vollkommen bekannt. Die Abhängigkeit der verschiedenen elektrischen Phänomene voneinander und

Fig. 176.



ihre Gesetze sind so genau festgestellt, mit ihnen sind wir so sicher vertraut, daß es gelungen ist, die elektrischen Kräfte vollkommen praktisch zu beherrschen und kolossale elektrische Energiemengen in den Dienst der Menschheit zu zwingen. Vieles aber, ja vielleicht das meiste, ist uns noch unbekannt. Wir wissen z. B. nicht, ob nicht Beziehungen zwischen der Elektrizität und der allgemeinen Attraktion der Körper, der Schwerkraft bestehen, und wenn solche vorhanden sind, dann können wir noch auf die wunderbarsten Fortschritte in wissenschaftlicher und praktischer Hinsicht rechnen. Wenn auch das Dichterwort sagt, daß man der Natur, wenn sie sich nicht selbst offenbaren mag, mit Hebeln und Schrauben nichts abzwinge, so können wir doch hoffen, und nehmen die Berechtigung dazu aus den großen Fortschritten und Entdeckungen, die sich seit Jahrzehnten häufen, daß es uns immer mehr gelingen wird, die Geheimnisse der Elektrizität aufzuklären und diese gewaltige Naturkraft zu verstehen und zu beherrschen.

Register.

- Abdrücke, galvanoplastische 169.
Abklingungskonstante 188.
Ableitung zur Erde 74.
Akkumulatordoppelwagen 165.
Akkumulatoren 158 f.
Aktinium 184.
Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft
(A. E. G.) 106. 108. 112. 113. 114. 120.
128. 141.
Allgemeiner Magnetismus 45.
Alphastrahlen 186.
Alphateilchen 190.
Aluminium 171.
Ampère 7. 48.
Ampere (Einheit) 18.
Amperemeter 19. 96.
Ampèresche Schwimmerregel 7. 38.
Amperewindungen 41.
Anion 145.
Anker von Maschinen 81.
Anode 144. 172.
Antennen 201. 205.
Antikathode 178.
Anziehung und Abstoßung, elektrische 75.
Äquivalentgewichte 147.
Arbeitsleiter 118.
Ätherstrahlung 181 f.
Atomzerfall 187.
Ausschalter 34. 129.
Automobile, elektrische 165.
- Bäder, galvanoplastische 167.
Batterie, galvanische 10.
— Leydener 78.
Becquerelstrahlen 184.
Bell, Graham 61.
Bergmann-Elektrizitätswerke 95.
Berliner Universaltransmitter 64.
Betastrahlen 186.
Beugung von Röntgenstrahlen 182.
Blei 191.
Bogenlicht 135 ff.
Branly 196.
Braun, F. 202 f.
- Charakteristische Strahlen 183.
Clausius-Arrhenius'sche Theorie der Elektrolyse 151.
Compoundmaschinen 86.
- Coulomb (Einheit) 148.
Crookes'sche Röhren 174.
- Dampfmaschinen 87.
Daniell'sches Element 8. 27.
Dauerbrandbogenlampen 140.
Davy 134.
Dekapieren 168.
Dialampe 141.
Dielektrikum 77.
Differentiallampen 138
Drahtlose Telegraphie 200 ff.
Drehfeld, magnetisches 106.
Drehspiegel 193.
Drehströme 94.
Drehstromdynamos 100 f. 106.
Drehstrommotoren 108.
Drehstromtransformatoren 112.
Dreiphasiger Wechselstrom 94.
Dreschmotorwagen 113.
Dunkelraum 173.
Durchleuchtung 180.
Dynamomaschinen 84 ff.
Dynamoprinzip 84.
- Edison 124. 132. 162.
Edisonakkumulator 162.
Edisonfassung 125.
Edisongewinde 125.
Effekt, elektrischer 122 f.
Effektkohlen 141.
Einphasiger Wechselstrom 94. 119.
Eisenbahnen, elektrische 115 ff.
Elektrisiermaschine 74.
Elektrizitätsmenge 74. 148.
Elektrochemie 170 f.
Elektroden 144. 172.
Elektrodynamik 48.
Elektrodynamometer 50.
Elektroinduktion 13. 70.
Elektrolyse 174 ff.
Elektrolytkupfer 170.
Elektromagnete 38.
Elektromagnetismus 37 f.
Elektromobile 166.
Elektromotoren 98 ff.
Elektromotorische Kraft 20. 26 f.
Elektronen 36. 73. 153. 175 ff.
Elektronenstrahlung 182.

- Elektroskop 76.
 Emanation 186.
 Empfangsdraht 201.
 Energie, elektrische 90 f.
 Enge Koppelung 202.
 Erdleitung 54.
 Faraday 12. 15. 45. 46. 47. 70. 80. 109. 146.
 Faradaysche Gesetze 146 f.
 Faradayscher Dunkelraum 173.
 Fassungen 126.
 Feddersen 193. 195.
 Feldmagnete 81.
 Feldstärke, magnetische 41.
 Flammecolampe 141.
 Flammenbogen 135.
 Flammenbogenlampen 141.
 Flaschenkreis 202.
 Fluoreszenzschirme 180.
 Fokusröhren 178.
 Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Schwingungen 195 f.
 Foucaultscher Kommutator 35.
 Fritter 196.
 Funke, elektrischer 72.
 Funkeninduktor 70.
 Funkenstrecke 198.
 Galvani 2.
 Galvanische Elemente 8.
 Galvanoplastik 167.
 Galvanoskop 5.
 Gammastrahlen 186.
 Gauß 53.
 Geißlersche Röhren 173.
 Geknickte Antennen 207.
 Gekoppelte Schwingungskreise 202.
 Gleichströme 16.
 Gleichstromdynamos 82 ff. 92.
 Gleitbügel 117.
 Glimmlicht, negatives 174.
 Glühlampen 124 ff.
 Glühlampenrheostat 164.
 Goldblattelektroskop 76.
 Grammescher Ring 82.
 Gülchersche Thermo säule 29.
 Hagener Akkumulatoren 158.
 Halbwattlampen 129.
 Handregulierungs Lampe 137.
 Harte Röntgenröhren 179.
 Hauptstromlampen 138.
 Hauptstrommaschinen 85.
 Hauptstrommotoren 98.
 Hefner-Alteneck 138.
 Heizen, elektrisches 132 f.
 Heizkörper 132.
 Helium 190.
 Hertz, Heinrich 176. 194 ff.
 Hinteramanderschaltung 24.
 Hittorffischer Dunkelraum 174.
 Hittorffsche Röhren 174.
 Hochfrequenzspektra 183.
 Höhensonne, künstliche 143.
 Hörempfang 205.
 Hughes 63.
 Hysterisis 40. 110.
 Induktionsapparate 70.
 Induktionsmotoren 108.
 Induktionsströme 12. 13 f.
 Induktor von Maschinen 81.
 Induzierte Aktivität 189.
 Influenz, elektrische 76 f.
 Influenzmaschine 78.
 Innerer Widerstand 25. 27.
 Ionen 145.
 Ionisierung der Luft 181. 186.
 Ionium 191.
 Isolatoren 5. 74.
 Jacobi 167.
 Joulesche Wärme 123.
 Kabel 59 f.
 Kanalstrahlen 176.
 Kapazität von Akkumulatoren 160.
 — — Kondensatoren 77.
 Kastenplatten 159.
 Kathode 144. 172.
 Kathodenstrahlen 174.
 Kation 145.
 Kette, galvanische 10.
 Klemmenspannung 31.
 Klingel, elektrische 52.
 Klopfer 200.
 Knallgasvoltmeter 150.
 Kochen, elektrisches 132.
 Koerzitivkraft 39.
 Körnermikrophone 64.
 Körting und Mathieson 141.
 Kohärer 196.
 Kohleelement 9. 27.
 Kohlenfadenlampen 124 f.
 Kollektor 82.
 Kommutatoren 35.
 Kondensator 71. 77.
 Kontaktdetektoren 204.
 Kontroller 119. 166.
 Korrespondenzschalter 130.
 Kraftlinien, magnetische 40 f.
 Kraftübertragung 102 f. 114.
 Kraftverteilung 101.
 Kreuzschalter 131.
 Krügerelement 8. 27.
 Künstliche Höhensonne 143.
 K-Strahlen 183.
 Kupfervoltmeter 149.
 Kurzschluß 28. 132. 160.

Landwirtschaft 112 ff.
 Le Chatelier-Element 30.
 Leclanché-Element 8. 27.
 Leiter 5. 74.
 Leitungsfähigkeit, magnetische 42.
 — spezifische 23.
 Leitungsverlust 105.
 Lenard 176.
 Leydener Flasche 77.
 Lichtäther 51. 181 f. 194 f.
 Lichtbogen 135.
 Linienbatterie 58.
 Linke-Hand-Regel 48. 49.
 Löschfunken 204.
 Lose Koppelung 202.
 L-Strahlen 183.

Magnetelektrische Maschinen 81.
 Magnetisierungsspule 38.
 Magnetoinduktion 15. 80 ff.
 Magnetomotorische Kraft 43.
 Marconi 201 f. 205. 207.
 Medizinische Quarzlampe 143.
 Mesothorium 185. 189.
 Metalldrahtlampen 128.
 Metallfadenlampen 127.
 Metallisieren 169.
 Mikrophon 25. 61. 63.
 M krotelephon 67.
 Milliampere 18.
 Milliamperemeter 20.
 Mitgeteilte Aktivität 188.
 Momentane Strömung 16.
 Morsealphabet 57.
 Morseapparat 55.
 Multipolare Maschinen 81.

Nauen, Station 206.
 Nebeneinanderschaltung 25.
 Nebenschlußlampen 138.
 Nebenschlußmaschinen 86. 88.
 Nebenschlußmotoren 99.
 Nebenschlußregulator 89.
 Neef'scher Hammer 51.
 Negatives Glimmlicht 174.
 Nitalampen 129.
 Nutenanker 87.
 Nutzeffekt der Akkumulatoren 161.
 — — Kraftübertragung 105.

Oerlikon-Maschinenfabrik 106.
 Oerstedt 3. 37. 45.
 Ohm (Einheit) 22.
 Ohmsches Gesetz 21.
 — — für den Magnetismus 44.
 Öltransformatoren 112.
 Ortsbatterie 58.
 Osram-Azolampen 129.
 Osramlampen 128.
 Oszillationen, elektrische 192 ff.

Pacinotti 82.
 Parallelschaltung 25. 101 f. 111. 125.
 Permeabilität 42.
 Pflüge, elektrische 114.
 Planté, Gaston 156.
 Polarisationsstrom 155.
 Pole eines Elements 5.
 Polonium 184. 189.
 Positives Licht 173.
 Pufferbatterien 163.
 Pyritdetektor 204.
 Pyrometer, thermoelektrische 30.

Quarzlampe 142.
 Quecksilberbogenlampen 142.

Radioaktive Substanzen 184 ff.
 Radium 184 ff. 189.
 Raffinierung von Metallen 170.
 Ramsay 190.
 Regulierwiderstände 33.
 Reibzeug 75.
 Relais 57.
 Richtung des elektrischen Stromes 6.
 Röntgenstrahlen 177 f.
 Rotationen, elektromagnetische 46. 47.
 Rotor 93.
 Rutherford 190.

Schichtungen 173.
 Schlagweite 72.
 Schließungskreis 4. 5.
 Schnellbahnen 121.
 Schwingungen, elektrische 192 ff.
 Seebeck 10.
 Sekundäre Elemente 155.
 — Prozesse 146.
 — Röntgenstrahlen 181.
 Selbstinduktion 203.
 Sendedraht 201.
 Serienschalter 130.
 Sicherungen 132.
 Siemens & Halske 116. 120.
 Siemens, Werner 84.
 Siemens-Schuckert-Werke 86. 93. 110.
 127. 139.
 Silbervoltmeter 149.
 Solenoid 41.
 Spannung 30. 69.
 Spannungsunterschied 31. 32.
 Spezifische Leitungsfähigkeit 23. 24.
 Spezifischer Widerstand 23.
 Spiegelversuche, Hertz'sche 197 f.
 Spiraldrahtlampen 129.
 Stator 93.
 Steinheil 54.
 Stoßerregung 204.
 Strahlen, elektrische 197.
 Strahlungsgesetze 126 f.
 Straßenbahnen, elektrische 116 f.
 Strom, elektrischer 4.

Stromdichtigkeit 168.
 Stromregulator 33.
 Stromstärke 17.
 Stromverzweigung 32.

Tantallampen 127.
 Taster 54.
 Telefunken 202 f.
 Telegraphie 53 ff.
 — ohne Draht 200 ff.
 Telephon 61 f.
 Thermoelemente 11. 28.
 Thermoströme 11.
 Thorium 184. 189.
 Tönende Funken 203.
 Transformatoren 110 f.
 Trockenelemente 9. 27.
 Trommelanker 84.
 Turbodynamos 87.

Übergangswiderstand 24.
 Überlandzentralen 104.
 Umkehrbare Elemente 161.
 Universaltransmitter 64.
 Unterbrecher 70.
 Uran 184. 191.
 Uranstrahlen 184.
 Uviollampen 142.

Vermittlungsämter, telephonische 67.
 Vertikalgalvanoskop 5.
 Verzweigte Leitung 32.
 Vielpolige Maschinen 86.
 Volt (Einheit) 26.
 Volta 2.

Voltameter 149.
 Voltaschen Element 3.
 Voltmeter 27. 33. 96.

Wanderung der Ionen 151.
 Wasserkräfte 103.
 Wasservoltmeter 150.
 Wasserzersetzung 146.
 Watt 90.
 Wattstunden 91.
 Weber, Wilhelm 53.
 Wechselströme 16. 50. 81. 92. 110. 136.
 Wechselstrommaschinen 92 f.
 Weiche Röntgenstrahlen 179.
 Wellenlänge der Röntgenstrahlen 182.
 — elektrischer Wellen 195.
 Wheatstone 57.
 Widerstand 5. 20. 21 f.
 — innerer 25.
 — magnetischer 43.
 — spezifischer 22.
 Wimshurstmaschine 78.
 Windkraftanlage 167.
 Wirbelströme 104.
 Wirkungsgrad, elektrischer, von Dynamomaschinen 91.
 — von Transformatoren 111.
 Wolframlampen 127 f.
 Wotan-G-Lampen 129.
 Wotanlampen 128.

Zahl der Kraftlinien 42.
 Zersetzungszellen 148.
 Zerstäubung 128. 135.
 Zusatzwiderstände 140.

Solchen, die sich noch eingehender mit der Elektrizität befassen wollen, als es der „Kurze Abriß“ ermöglicht, empfehlen wir das im gleichen Verlag soeben erschienene Werk desselben Verfassers:

DIE ELEKTRIZITÄT UND IHRE ANWENDUNGEN

Von

Dr. L. GRAETZ

Professor an der Universität München

Achtzehnte Auflage :: Mit 695 Abbildungen
87.—96. Tausend :: In Leinen gebunden 12 Mark

Der Umstand, daß nun siebzehn starke Auflagen dieses Buches vergriffen wurden, spricht am deutlichsten für seine ungewöhnliche, von Auflage zu Auflage wachsende Gangbarkeit.

Die Wunder der Elektrizität werden mehr und mehr zum herrschenden Faktor unserer Zeit, und kein Gebildeter kann umhin, sich mit den Gesetzen dieser Naturkraft und ihrer technischen Verwendung vertraut zu machen.

Das Graetzsche Buch ist für jeden gebildeten Laien leicht verständlich, aber zugleich so gründlich, daß auch der Fachmann es mit Vorteil liest.

Der »Vulkan« (Frankfurt a. M.) schreibt:

»Das große Gebiet der Elektrizitätslehre und ihrer wichtigsten Anwendungen in einem handlichen Band ausführlich und klar beschrieben, das ist das Geheimnis des »Graetz«. Welcher Techniker oder auch nur mittelbar zur Technik Beziehungen pflegender Gebildete kennt nicht den »Graetz«. Eine Empfehlung der neuen Auflage an dieser Stelle zu geben, erübrigt sich. Dazu wird das Werk in unserem Leserkreise zu hoch bewertet. Immer auf der Höhe, Neues aufnehmend, Überlebtes fortlassend, so präsentiert sich auch die neueste Ausgabe.«

Professor W. Kübler in Dresden schreibt:

»Wenn mich jemand fragte, welches Buch ich ihm für mühelose (d. h. leicht verständliche) Einführung in das weite Gebiet der physikalischen Grundlagen der Elektrotechnik, das ist der Anwendungen der Elektrizität, empfehlen könnte, so würde ich, ohne mich einen Augenblick zu besinnen, aus vollster Überzeugung sagen: den Graetz. Es gibt nur »einen Graetz«, es gibt auf dem Gebiete nichts Besseres und es dürfte auch nicht ganz leicht sein, etwas Besseres zu schaffen.«

Das »Bayrische Industrie- und Gewerbeblatt« (München) schreibt:

»... Das Graetzsche Buch hat sich während der ganzen Zeit dieser raschen Entwicklung der Elektrizität als der weitaus beste und zuverlässigste Führer in diesem umfangreichen und schwierigen Gebiet erwiesen, und in jeder neuen Auflage hat es sich wieder an die Spitze gestellt.«

Die »Zeitschrift für gewerblichen Unterricht« (Leipzig) schreibt:

»Siebzehn Auflagen mit über 80 000 Exemplaren, das sagt mehr, als das empfehlende Wort vermöchte. Auf Grund dieser Tatsache ist es ja auch kaum in Abrede zu stellen, daß das 764 Seiten starke Buch von Dr. Graetz das weitest verbreitete, populärste Lehrbuch der Elektrizität geworden ist, welches die deutsche fachwissenschaftliche Literatur auf diesem Gebiete kennt. — Wer rasch und gründlich Verständnis begehrt, der greife nach diesem vortrefflichen Buche. Es steht in allen Teilen auf der Höhe der Forschung.«

Die »Zeitschrift für Post und Telegraphie« (Wien) schreibt:

»Dieses anerkanntermaßen beste Werk über Elektrizität, dessen Vorzüge die Benützung als Fachprüfungsbeihilfe gestatten.«

Das »Deutsche Offizierblatt« (Berlin) schreibt:

»Wir haben lange gesucht, bis wir ein Buch fanden, das wir den für Militärtechnischen Akademie kommandierten Offizieren auf die vielfachen an uns eingehenden Anfragen zum Studium der Elektrizitätslehre empfehlen konnten. Das vorliegende Werk, das doch wie dafür geschaffen, und es gibt kaum eins, das den Schüler müheloser das Wesen der Elektrizität einführt. Es behandelt das ganze große Gebiet auch in den schwierigsten Kapiteln so klar und allgemein verständlich, daß jeder, der Interesse an der Sache hat, sehr tief in die Einzelheiten eindringen kann.«

Die »Mittelschule« (Halle a. S.) schreibt:

»... Das prächtige Buch sei wärmstens empfohlen. Insbesondere weisen wir die Physiklehrer an Mittelschulen darauf hin als auf das beste Hilfsmittel, das ihnen für das Gebiet der Elektrizität empfohlen werden kann.«

Der »Tagesanzeiger« (Zürich) schreibt:

»Wer sich im ausgedehnten Gebiet der Elektrizität rasch, zuverlässig und gründlich zurechtfinden will, dem wüßten wir kein besseres Lehrbuch zu empfehlen, als das eben genannte. ... Für Studierende, angehende Techniker und den wißbegierigen Laien darf dieses Buch mit seinen vorzüglichen Illustrationen als geradezu unentbehrlich bezeichnet werden.«

Die neue Auflage ist genau durchgesehen, vielfach umgearbeitet und auf den neuesten Stand der Wissenschaft gebracht worden.

STUTTGART,
November 1917.

J. Engelhorns Nachf.
Verlagsbuchhandlung.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294399