

## Elektrizität.

§ 153. **Arten der Elektrizität.** Wenn man gewisse Körper reibt, so werden sie befähigt, andere leichte Körper anzuziehen. Diese zuerst beim Bernstein (*ῥήλεκτρον*) beobachtete Eigenschaft wird Elektrizität genannt. Elektrizität kann jedoch nicht nur durch mechanische Arbeit entstehen, sondern auch durch chemische, thermische u. a. Energie und läßt sich auch umgekehrt in solche überführen. Wie beim Magnetismus unterscheidet man zwei Arten von Elektrizität, positive und negative, und stellt sich diese der Bequemlichkeit halber wieder als zwei Fluida vor. Wahrscheinlich ist jedoch die als Elektrizität bezeichnete Form der Energie an Bewegungen desselben Substrates gebunden wie Licht und Wärme und von diesen nur quantitativ verschieden [cf. § 192]. Je nachdem man die Elektrizität im Zustande der Ruhe oder Bewegung betrachtet, spricht man von statischer Elektrizität und vom elektrischen Strome.

### A. Statische Elektrizität (Reibungselektrizität).

§ 154. **Elektrische Anziehung und Abstoßung.** Das am längsten bekannte Mittel, Körper elektrisch zu machen, besteht darin, sie zu reiben. Dadurch kann der geriebene Körper entweder positiv elektrisch werden, z. B. Glas, oder negativ, z. B. Siegellack. Man nennt daher die positive Elektrizität auch Glaselektrizität, die negative Harzelektrizität. Das Material, mit dem man reibt, erhält immer gleichviel entgegengesetzte Elektrizität. Es gilt nun das Gesetz, daß gleichgroße aber entgegengesetzte Elektrizitätsmengen sich gegenseitig neutralisieren und ferner, daß gleichnamig elektrische Körper sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen. Man kann letzteres mit dem sog. elektrischen Pendel nachweisen; derselbe besteht aus zwei Hollundermarkkugeln, die mittels je eines Seidenfadens an einem Stativ aufgehängt sind. Die Intensität der elektrischen Anziehung und Abstoßung ist, wenn  $e$  und  $e'$  die betreffenden Elektrizitätsmengen vorstellen

$$F = - \frac{ee'}{r^2} \text{ [cf. § 146].}$$

Die praktische Einheit der Elektrizitätsmenge heißt nach dem Entdecker dieses Gesetzes ein Coulomb [s. Anhang].

§ 155. **Leiter und Nichtleiter.** Außer durch Reibung kann ein Körper auch durch Berührung mit einem elektrischen Körper elektrisch werden. Nach ihrem Verhalten hierbei unterscheidet man

Leiter und Nichtleiter. Bei ersteren verbreitet sich die Elektrizität von der Berührungsstelle aus schnell über den ganzen Körper; man kann ihn also von einer einzigen Stelle aus „laden“, umgekehrt aber auch „entladen“. Letzteres geschieht z. B., wenn man ihn mit der Hand berührt, weil dann die Elektrizität durch den ebenfalls gut leitenden menschlichen Leib zur Erde abfließt, die das größte Magazin sowohl für positive wie für negative Elektrizität vorstellt. Auf dieser Eigenschaft der Leiter beruht eine Art von Elektroskop, d. i. ein Apparat zum Erkennen der Elektrizität. Durch den Korken eines Glasbehälters (Fig. 103) geht eine Metallstange, die oben in einen Knopf, unten in zwei Streifen von Blattgold endigt. Berührt man den Knopf mit einem elektrischen Körper, so fließt die Elektrizität in die Goldstreifen, die sich dann gegenseitig abstoßen. Bei den Nichtleitern bleibt dagegen die Elektrizität nur an der Stelle, der sie direkt zugeführt wird, und umgekehrt behält ein solcher Körper seine Elektrizität, wenn nur eine Stelle abgeleitet wird. Da somit Nichtleiter, welche Leiter umgeben, diese vor dem Verluste der Elektrizität schützen, heißen sie auch Isolatoren [cf. § 163]. Zu ihnen gehören z. B. Glas, Harz, Seide, Wolle, trockene Luft; zu den Leitern vor allem die Metalle, unter denen wieder Silber am besten leitet, ferner Kohle, Flüssigkeiten und feuchte Körper, z. B. der Tierleib.



Fig. 103.

§ 156. **Elektrisches Potential.** Die Fähigkeit elektrischer Körper, im Wirkungsbereiche (elektrischen Felde) anderer gleichnamiger elektrischer Kräfte Arbeit dadurch zu leisten, daß sie abgestoßen werden, mit anderen Worten ihre potentielle Energie, heißt auch Spannung oder Potential. Das Potential eines mit der positiven Elektrizitätseinheit geladenen Körpers in einem Punkte eines elektrischen Feldes wird also durch die Arbeit gemessen, die er leistet, wenn er unter dem Einfluß abstoßender (gleichnamiger) elektrischer Kräfte von diesem Punkte aus sich in unendliche Entfernung bewegt; oder wie man umgekehrt auch sagen kann, durch die Arbeit, die man gegen die abstoßenden elektrischen Kräfte leisten muß, um den Körper aus der Unendlichkeit bis zu diesem Punkte heranzubringen. Das Potential ist direkt proportional der Elektrizitätsmenge, umgekehrt proportional der Entfernung,  $V = \frac{e}{r}$ . Die Potentialdifferenz oder der Spannungsunterschied an zwei Punkten entspricht somit der Arbeit bei der Überführung aus der einen Lage in die andere. Ebenso wie nun eine Flüssigkeit bestrebt

ist, von einem höheren Niveau zu einem tieferen zu fließen, wie ein Gas sich von Orten größeren Druckes zu solchen geringeren Druckes ausbreitet, fließt auch die Elektrizität von Orten höheren zu solchen niedrigeren Potentials. Die Erfahrungstatsache, daß alle zur Erde abgeleiteten Körper ihre Elektrizität verlieren, drückt man daher dadurch aus, daß man für die Erde das Potential 0 annimmt. (In entsprechender Weise strömt ja auch ein Gas, das mit einem luftleeren Raume verbunden ist, in diesen, dessen Spannung ebenfalls = 0 ist. In analoger Weise wird auch das Meeresniveau als Nullpunkt angenommen.) Ferner folgt daraus, daß an allen Stellen eines Leiters, bei dem die Elektrizität im Gleichgewicht ist, dasselbe Potential herrscht, und umgekehrt. Die praktische Einheit für Potentiale und Potentialdifferenzen heißt Volt. Während nun eine Arbeit aufgewendet werden muß, um Elektrizität von Orten niederen Potentials zu solchen höheren Potentials zu bringen, wird im umgekehrten Falle von der Elektrizität eine Arbeit geleistet, die gleich dem Produkt aus Elektrizitätsmenge und Potentialdifferenz ist und in Volt-Coulombs ausgedrückt wird. Es entspricht dies wieder den Verhältnissen bei Flüssigkeiten, die ja auch beim Fallen eine Arbeit leisten gleich dem Produkte aus ihrer Menge und der Niveaudifferenz.

§ 157. **Elektrische Kapazität.** Wie das Niveau einer Flüssigkeit nicht nur durch ihre Menge, sondern auch durch die Weite, die Kapazität, des Behälters bedingt ist, wie die Temperaturzunahme eines Körpers nicht nur von der zugeführten Wärmemenge, sondern auch von der Wärmekapazität [§ 98] abhängt, kommt auch für das Potential eines Körpers dessen elektrisches Fassungsvermögen oder seine elektrische Kapazität in Betracht. Man versteht hierunter das Verhältnis zwischen Elektrizitätsmenge und Potential,  $\alpha = \frac{e}{V}$ .

Wenn also z. B. ein Körper viel Elektrizität aufnehmen kann, ohne daß sich sein Potential wesentlich erhöht, so ist seine Kapazität groß etc. Die elektrische Kapazität, deren praktische Maßeinheit Farad heißt, hängt nicht wie die Wärmekapazität von der stofflichen Beschaffenheit des Körpers ab, sondern von seiner Größe und Form sowie von der Anwesenheit anderer Leiter.

§ 158. **Verteilung der Elektrizität.** Da gleichnamige Elektrizitätsmengen sich abstoßen, so folgt unmittelbar daraus, daß sich bei Leitern die Elektrizität stets an der Oberfläche befinden muß. Die Elektrizitätsmenge in der Flächeneinheit heißt elektrische Dichte und ist der Elektrizitätsmenge direkt, dem Krümmungsradius umgekehrt proportional. Auf einer Kugel ist die Dichte also überall

$$D = \frac{e}{r^2}$$

gleich, und um so größer, je kleiner die Kugel ist. Am größten ist die Dichte an Hervorragungen, besonders an Spitzen. Hier bekommt die zentrifugale Kraft das Übergewicht, und trotz der umgebenden Isolatoren strömt Elektrizität aus, wobei der elektrische Wind entsteht.

§ 159. **Elektrische Influenz.** Elektrizität entsteht auch schon durch Annäherung eines elektrischen Körpers. Man spricht dann von Influenzwirkung<sup>1</sup> und stellt sich vor, daß schon in jedem unelektrischen Körper beide Arten von Elektrizität vorhanden sind, jedoch so, daß sie sich neutralisieren. Nähert man nun einen elektrischen Körper *A* (Fig. 104), so wird die gleichnamige Elektrizität von *B* in das abgewandte Ende gestoßen, die ungleichnamige in das zugewandte angezogen.

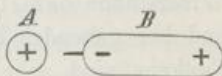


Fig. 104.

Letztere heißt dann gebundene, erstere freie Elektrizität. Wird *A* wieder entfernt, so findet wieder ein Ausgleich statt, und *B* wird unelektrisch. Wird aber vorher die freie Elektrizität, hier also die positive, zur Erde abgeleitet, und dann erst *A* entfernt, so bleibt auf *B* negative Elektrizität zurück. Die Ableitung kann nun auch durch Spitzen geschehen. Bringt man diese an der *A* zugewandten Seite von *B* an, so strömt die negative Elektrizität aus, die positive bleibt zurück. Gleichzeitig neutralisiert aber die ausströmende negative Elektrizität die positive von *A*, so daß es den Anschein hat, als wäre durch die Spitze positive Elektrizität von *A* nach *B* hinübergesaugt worden.

§ 160. **Elektrisierungsmaschine.** Auf diesem Prinzipie beruht z. B. die Elektrisierungsmaschine. Sie besteht aus einer vertikalen, drehbaren Glasscheibe, die bei ihrer Bewegung an das sogenannte Reibzeug, ein mit Zinnamalgam bestrichenes Lederkissen, gepreßt wird. Dadurch entsteht auf dem Reibzeug negative, auf der Glasscheibe positive Elektrizität. Letztere gelangt durch die Drehung auf die entgegengesetzte Seite. Dort sind zu beiden Seiten der Glasscheibe mehrere Spitzen angebracht, die zu einer isoliert stehenden Metallkugel, dem sogenannten Konduktor, führen. Durch Influenz entsteht nun im Konduktor positive, in den Spitzen negative Elektrizität; letztere strömt gegen die Glasscheibe aus und macht sie wieder unelektrisch.

§ 161. **Entladung.** Durch die Elektrisierungsmaschine kann man größere Elektrizitätsmengen erhalten; sie bietet daher Gelegenheit zu zahlreichen Versuchen. Hier soll nur auf die Entladung und ihre

<sup>1</sup> *influo* hineinfließen, beeinflussen.

*Elektrischer  
Fluss  
7. 254.*

*Lommel  
Abb. 144  
Seite 112  
alt 104.*

Wirkungen eingegangen werden. Dieselbe kann natürlich einmal dadurch geschehen, daß man das Reibzeug oder den Konduktor leitend mit der Erde oder auch miteinander verbindet; dann fließt die Elektrizität in kontinuierlichem Strom ab. Befindet sich aber in der Nähe des Konduktors ein Körper mit entgegengesetzter Elektrizität (die eventuell erst durch Influenz entsteht), so findet bei genügender Spannung der Ausgleich auch durch eine nichtleitende Zwischenschicht hindurch, in Gestalt des elektrischen Funkens, statt; man spricht dann von einer disruptiven Entladung. Dieselbe dauert außerordentlich kurze Zeit (ca.  $\frac{1}{20000}$  Sekunde) und ist bei nicht zu großem Widerstande oszillierend, d. h. besteht aus vielen sehr schnell hin und her gehenden Einzelentladungen. Die Wirkungen des elektrischen Funkens sind sehr mannigfaltig. Abgesehen von der Lichtwirkung, die besonders schön in GEISSLER'schen Röhren [§ 188] zutage tritt, kann er feste Gegenstände durchbohren, chemische Zersetzungen oder Verbindungen herbeiführen, beeinflußt in eigentümlicher Weise den tierischen Organismus (sogenannte elektrische Schläge, die eventuell tödlich werden können) etc.

Beim Ausströmen von Elektrizität (besonders positiver) aus Spitzen entsteht das sog. Büschellicht, das aus einem Bündel violetter Strahlen besteht; bei starker Lufterlektrizität wird es bisweilen an den Spitzen hoher Gegenstände beobachtet und heißt dann St. Elmsfeuer. Funken und Büschel sind zuweilen von einem bläulichen Schimmer umgeben, dem sog. Glimmlicht, das namentlich in verdünnter Luft, z. B. in GEISSLER'schen Röhren auftritt.

§ 162. **Blitzableiter.** Der Blitz ist ein elektrischer Funken im großen, der durch disruptive Entladung ungleichnamiger Lufterlektrizität oder, beim sogenannten Einschlagen, durch Vereinigung von Lufterlektrizität mit der entgegengesetzten eines irdischen Gegenstandes, besonders des Grundwassers, entsteht. Die Lufterlektrizität entsteht entweder durch Reibung der Luft an der Erde oder in ihren einzelnen Schichten, oder vielleicht durch Influenzwirkung von der Erde her. Der Donner entspricht seinerseits dem Knall, der den elektrischen Funken begleitet, und muß wegen der geringeren Geschwindigkeit des Schalles natürlich später wahrgenommen werden. Menschen, welche direkt vom Blitze getroffen werden, erleiden ausgedehnte Verbrennungen und gehen meist zugrunde. Aber auch die Nähe eines einschlagenden Blitzes ist gefährlich wegen des sogenannten Rückschlages, d. i. die plötzliche Wiederherstellung des durch Influenz (des Blitzes) gestörten elektrischen Gleichgewichts. Gegen die Blitzgefahren erfand FRANKLIN den segensreichen Blitzableiter. Er bietet einmal dem zustande gekommenen Blitze eine

bequeme (metallische) Bahn bis zum Grundwasser hin, leitet ihn also von der Umgebung ab; vor allem aber verhütet er das Zustandekommen des Blitzes, da aus der Spitze der Auffangstange die durch Influenz entstandene ungleichnamige Elektrizität ausströmt und die Elektrizität der Gewitterwolke neutralisiert.

§ 163. **Ansammlungsapparate.** Auf Influenz beruhen auch die Ansammlungsapparate für Elektrizität. Ist nämlich *A* (Fig. 104) ein Leiter, so wird durch die Anwesenheit des influenzierten Körpers *B* auch ein Teil seiner eigenen Elektrizität gebunden; dadurch wird aber sein Potential geringer, mithin seine Kapazität größer [§ 157], d. h. er kann jetzt mehr Elektrizität aufnehmen als vorher. Hierauf beruht z. B. der Kondensator, der aus zwei runden Metallplatten, der Kollektor<sup>1</sup>- und Kondensatorplatte<sup>2</sup> besteht; diese sind durch eine nichtleitende Schicht, z. B. Firnis oder Luft, voneinander isoliert. Der Kollektor wird durch den Konduktor einer Elektrisiermaschine solange geladen, bis auf beiden dasselbe Potential ist; bringt man ihm nun die Kondensatorplatte gegenüber und leitet diese zur Erde ab, so kann er nach dem Gesagten viel mehr Elektrizität aufnehmen. Die Menge der gebundenen Elektrizität eines Leiters, dem ein zweiter gegenübersteht, hängt von ihrer Gestalt und Entfernung, dann aber auch wesentlich von der Natur des dazwischen befindlichen Nichtleiters; auch Dielektrikum<sup>3</sup> genannt, ab. Man nimmt nämlich jetzt an, daß die elektrische Energie durch Bewegungen des Lichtäthers fortgepflanzt wird, und daß hierbei die Moleküle der Dielektrika eine wesentliche Rolle spielen [cf. § 191]. Die Zahl, welche angibt, wieviel mal mehr Elektrizität der Kollektor aufnehmen kann, wenn Luft durch eine gleichdicke Schicht eines bestimmten Dielektrikums ersetzt ist, heißt Dielektrizitätskonstante. Auf diesen Prinzipien beruht auch die Leydener Flasche.

Diese ist (Fig. 105) ein gewöhnliches, breites Glas, das innen und außen bis in die Nähe des oberen Randes mit Stanniolpapier belegt ist. Mit der inneren Belegung ist eine Metallstange verbunden, die mit einem Knopfe endigt. Die Stanniolplatten stellen hier also Kollektor und Kondensator vor, das Glas das Dielektricum. Ist die äußere Belegung durch einen Draht mit der Erde verbunden, so kann die Leydener Flasche stark geladen werden, um so stärker, je größer die Belegung ist. Daher vereinigt man oft mehrere solcher Flaschen zu einer sog. Batterie.



Fig. 105.

<sup>1</sup> colligo sammeln.

<sup>2</sup> condense verdichten.

<sup>3</sup> διά zwischen.

*Sammel  
Abb. 145.*

*Sammel  
Abb. 146.*

Lommel  
 Abb. 107  
 Sch. 1. Pl.  
 Abb. 106.

§ 164. **Influenzmaschine.** Die beste Vorrichtung, durch Influenz viel Elektrizität zu erhalten, ist die Influenzmaschine. Dieselbe besteht im wesentlichen aus zwei Glasscheiben; die eine ist fest und hat an zwei gegenüberliegenden Stellen Ausschnitte; oberhalb derselben ist sie mit Papierstreifen (Kuchen) beklebt, die in die Ausschnitte spitze Fortsätze senden. Vor der zweiten, beweglichen, Scheibe sind an zwei gegenüberliegenden Stellen Spitzen angebracht, die leitend mit zwei Kugeln verbunden sind. Letztere müssen sich zuerst berühren. Ladet man nun die eine Papierbelegung und dreht die bewegliche Scheibe, so entsteht immer mehr Elektrizität, so daß, wenn jetzt die Konduktoren auseinandergebracht werden, Funken zwischen ihnen übergehen.

Zur Erklärung diene Fig. 106, die einen Horizontalschnitt vorstellt.  $AB$  stellt die (hintere) feste,  $CD$  die (vordere) bewegliche Scheibe,  $p$  und  $p'$  die Kuchen mit ihren Fortsätzen,  $s$  und  $s'$  die Spitzen,  $c$  und  $c'$  die Konduktoren vor. Wird nun z. B. dem Kuchen  $p$  negative Elektrizität mitgeteilt, so wird durch Influenz die Hinterseite von  $CD$  positiv, die Vorderseite

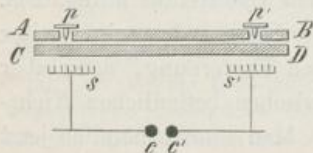


Fig. 106.

negativ elektrisch. Aber die Influenz erstreckt sich auch auf die davorstehende Metallleitung; es wird daher der Konduktor  $c$  negativ, die Spitzen  $s$  positiv elektrisch. Da letztere ihre Elektrizität ausströmen lassen, so wird also die bewegliche Scheibe beiderseits positiv, bis sie durch Drehung auf die andere Seite kommt. Hier wird zunächst durch Influenz der Kuchen  $p'$  positiv, während aus seinem Zahn negative Elektrizität ausströmt und die Hinterseite von  $CD$  negativ macht. An der Vorderfläche geschieht dasselbe durch die Metallspitzen; diese werden nämlich durch Influenz negativ, der rechte Konduktor wird positiv. Die Scheibe ist daher in der oberen Hälfte ganz negativ. Kommt sie nun wieder auf die linke Seite, so wird der Kuchen durch Influenz negativ, so daß eine Ladung von außen nicht mehr nötig ist. Diese Vorgänge wiederholen sich bei jeder Umdrehung, so daß sich die Wirkung



Fig. 107. verstärkt.



Fig. 108.

§ 165. **Elektrometer.** Zur Messung von Elektrizitätsmengen, bezw. Potentialdifferenzen, dienen die Elektrometer. Das von HENLEY ist ein einfacher elektrischer Pendel aus leitender Substanz (Fig. 107), der um so größere Ausschläge macht, je mehr Elektrizität der betreffende Körper  $a$  besitzt. Einer der feinsten Apparate ist das Quadrantelektrometer von Lord KELVIN (früher W. THOMSON). Hier schwingt ein stark positiv geladenes, ungefähr sohlenförmiges Aluminiumblättchen

zwischen vier, kreuzweise miteinander verbundenen, metallischen Quadranten, die zusammen eine Art Schachtel bilden. Wird nun dem einen Quadrantenpaare Elektrizität mitgeteilt, nachdem das andere zur Erde abgeleitet ist, so wird das Aluminiumblättchen abgelenkt, und zwar ist der Ausschlag der mitgeteilten Elektrizitätsmenge proportionall; auch gibt die Richtung zugleich die Art der Elektrizität an.

## B. Der elektrische Strom.

### a. Entstehung und Gesetze des galvanischen Stromes.

§ 166. **Galvani und Volta.** Am Ende des 18. Jahrhunderts wurde GALVANI von einem Assistenten aufmerksam gemacht, daß Froschschenkel, mit einem Skalpell berührt, jedesmal zuckten, wenn Funken aus dem Konduktor einer Elektrisiermaschine gezogen wurden. Während dies heute durch den Rückschlag erklärt wird, sah GALVANI darin eine Äußerung der tierischen Elektrizität und stellte zahlreiche Versuche darüber an. Als er u. a. enthäutete Froschschenkel mittels kupferner Drähte an einem Eisengeländer aufhängte, zuckten dieselben lebhaft, wenn sie das Geländer berührten. Auch dies schrieb GALVANI der tierischen Elektrizität zu. VOLTA dagegen erklärte diese Erscheinung so, daß durch die Berührung der beiden Metalle Elektrizität entsteht, welche durch die Schenkel fließt und sie zum Zucken bringt. Diese VOLTA'sche Erklärung hat am meisten Anklang gefunden. Doch ist sie nur zum Teil richtig, und auch GALVANI hatte recht; denn in der Tat existieren in den lebenden Nerven und Muskeln (sowie auch in anderen Körpergeweben) elektrische Spannungen. Jedenfalls gebührt VOLTA das Verdienst, eine neue Entstehungsart der Elektrizität gefunden zu haben.

§ 167. **Gesetze der Kontaktelektrizität.** Die von VOLTA aufgestellte Kontakttheorie lehrt also, daß durch Berührung zweier Metalle, oder eines Metalls mit einer Flüssigkeit, Elektrizität entsteht. Die hierbei tätige elektromotorische Kraft erzeugt nämlich in den betreffenden Körpern, den sog. Elektromotoren, beständig eine Potential- oder Spannungsdifferenz, indem auf einem Körper das Maximum der positiven, im anderen das der negativen Elektrizität entsteht. Verbindet man daher leitend beide Elektromotoren, so strömt die Elektrizität wieder zu den Stellen niederen Potentials [§ 156]; da nun durch die Berührung die Potentialdifferenz stets von neuem entsteht, so kommt ein konstanter Strom dadurch zustande.



Man spricht dann auch von dynamischer, im Gegensatz zu der statischen oder ruhenden Elektrizität. VOLTA teilte nun die Elektromotoren in zwei große Klassen ein. Die der ersten Klasse, zu denen namentlich alle Metalle und Kohle gehören, lassen sich in eine sog. Spannungsreihe so anordnen, daß bei einer Berührung immer das vorangehende Glied positiv, das nachfolgende negativ wird. Die Volta'sche Reihe lautete:

+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle —  
Die Potentialdifferenz ist nun um so größer, je weiter die betreffenden Körper in dieser Reihe auseinanderstehen. Sie ist aber unabhängig von der Form und Größe der berührenden Platten, und wird auch nicht geändert, wenn noch andere Metalle dazwischengeschaltet sind; durch eine Kombination von *Zn*, *Fe*, *Ag*, *Pt* wird also dieselbe Spannungsdifferenz erzielt wie zwischen *Zn* und *Pt*. Daraus geht auch hervor, daß, wenn ausschließlich Elektromotoren erster Klasse ringförmig verbunden sind, in diesem Kreise kein Strom möglich ist, weil ja jedes Metall gleichzeitig als Anfangs- und Endglied der Reihe betrachtet werden kann, die Potentialdifferenz also = 0 ist. Diesen Gesetzen der Spannungsreihe gehorchen aber die Elektromotoren zweiter Klasse, zu denen besonders Flüssigkeiten (Säuren und Salzlösungen) gehören, nicht. Die Potentialdifferenz der Endglieder ist also nicht gleich der algebraischen Summe derjenigen der Zwischenglieder, so daß hier die Anordnung zu einem geschlossenen Kreise möglich ist. Taucht nämlich ein Metall in eine Flüssigkeit, so wird das herausstehende Ende meist negativ elektrisch, die Flüssigkeit und dadurch auch das eingetauchte Ende meist positiv; und zwar ist die Spannungsdifferenz um so größer, je weiter vorn in der Spannungsreihe das Metall steht; *Zn* wird also am stärksten negativ, *Cu* bedeutend schwächer. Tauchen nun *Zn* und *Cu* zusammen in eine Flüssigkeit, so ergibt sich Folgendes: Die starke positive Elektrizität des unteren Zinkendes geht durch die Flüssigkeit zum Kupfer, und trifft an dessen hervorstehendem Ende mit schwach negativer

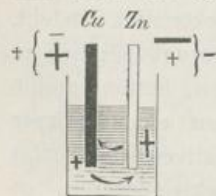


Fig. 109.

Elektrizität zusammen, macht es daher schwach positiv. Umgekehrt geht die schwach positive Elektrizität des unteren Kupferendes bis zum oberen Zinkende und schwächt dessen stark negative Elektrizität so, daß es schwach negativ elektrisch wird (Fig. 109). Im allgemeinen wird also bei zwei Metallen das in der VOLTA'schen

Spannungsreihe voranstehende an seinem freien Ende negativ, das weiter hinten stehende positiv elektrisch. Die Spannungsreihen für

Metalle und Flüssigkeiten, die je nach der Flüssigkeit wechseln, sind also im allgemeinen umgekehrt wie die VOLTA'sche Reihe.

§ 168. **Galvanische Elemente.** Die Verbindung zweier Metalle mit einer Flüssigkeit heißt nun galvanisches Element oder galvanische Kette. Sind die beiden Metalle außerhalb der Flüssigkeit durch einen sog. Schließungsdraht verbunden, so ist die Kette geschlossen, sonst offen. In einer geschlossenen Kette fließt der galvanische Strom, der durch die fortwährend wirkende elektromotorische Kraft beständig im Gange erhalten wird, stets nach beiden Richtungen. Spricht man kurzweg von der Richtung des Stromes, so meint man stets die des positiven. Dieser fließt also z. B. in dem Schließungsdraht eines Zink-Kupfer-Elements vom positiven Kupfer zum negativen Zink. Im Elemente selbst muß er natürlich vom Zink zum Kupfer fließen, damit der Stromkreis geschlossen ist. Die freien Enden der Metalle eines Elements, bezw. die Enden der damit verbundenen Drähte, heißen Pole oder Elektroden; diejenige, von welcher der Strom herkommt, beim positiven Strom also die positive, wird Anode (*ἀνά ὀδόν*) genannt, die andere Kathode. Durch Vereinigung mehrerer Elemente entsteht eine galvanische Batterie. Die älteste Form derselben ist die Volta'sche Säule; sie besteht aus abwechselnd übereinandergeschichteten Zink- und Kupferplatten, zwischen denen immer befeuchtete Tuchlappen liegen. Die Reihenfolge ist also hier Zink, Feuchtigkeit, Kupfer; Zink, Feuchtigkeit, Kupfer etc.

§ 169. **Konstante Ketten.** Die zuerst konstruierten galvanischen Ketten hatten alle den Fehler, daß sie bald immer schwächer wurden. Da nämlich der elektrische Strom in Flüssigkeiten Umsetzungen bewirkt, und sich die Zersetzungsprodukte an den Elektroden abscheiden, so werden diese gewissermaßen von der Flüssigkeit isoliert. So entsteht z. B. durch Zersetzung des Wassers  $H$  und  $O$  [cf. § 178]; letzterer wird am Zink abgeschieden und bildet das nichtleitende Zinkoxyd, ersterer überzieht das Kupfer mit einem feinen, ebenfalls nichtleitenden Häutchen. Ja, es entsteht sogar zwischen dem elektropositiven  $H$  und dem elektronegativen  $O$  ein neuer Strom, der sog. Polarisationsstrom, der dem ursprünglichen entgegengesetzt fließt und ihn somit schwächen muß. Um diesen Übelstand zu beseitigen, hat man konstante Ketten konstruiert, bei denen jede Elektrode in eine besondere Flüssigkeit taucht; dieselbe hat zugleich die Eigenschaft, die störenden Zersetzungsprodukte zu beseitigen, so daß also die Elektroden hier unpolarisierbar sind. Eins der gebräuchlichsten derartigen Elemente ist das

*Summe  
164. 165  
166.*

DANIELL'sche. Kupfer taucht hier in Kupfervitriollösung; in diesem Gefäße steht ein mit verdünnter Schwefelsäure gefüllter poröser Tonzylinder, in den das Zink taucht. Hierbei wird das Kupfervitriol zerlegt in  $Cu$  und  $SO_4$ .  $Cu$  scheidet sich wie alle Metalle (und auch Wasserstoff) an der Kathode ab [cf. § 178], also am Kupfer, da im Elemente der Strom von Zink zum Kupfer geht. Der Rest  $SO_4$  wandert zum Zink, trifft aber unterwegs den durch Zersetzung der  $H_2SO_4$  entstandenen  $H_2$  und vereinigt sich mit ihm wieder zu  $H_2SO_4$ . Der Rest der ursprünglichen Schwefelsäure,  $SO_4$ , geht zum Zink und bildet mit ihm das lösliche  $ZnSO_4$ . Das definitive Resultat ist also, daß das Zink fortwährend aufgelöst wird, das Kupfer aber durch die Auflagerung von metallischem  $Cu$  gewissermaßen wächst. Ähnlich ist der Vorgang auch bei allen anderen konstanten Ketten. Hier sei noch das GROVE'sche Element erwähnt (Zink in Schwefelsäure, Platin in Salpetersäure), das BUNSEN'sche (Zink in Schwefelsäure, Kohle in Salpetersäure) und das von LECLANCHÉ (Zink in Salmiaklösung, Kohle in Braunstein). Sehr praktisch sind die Trockenelemente, die ebenfalls meist aus Zink und Kohle bestehen. An Stelle der Flüssigkeit enthalten sie aber eine mit einer geeigneten Lösung getränkte mehr oder weniger erhärtete Füllmasse (Gips, Kreide, Ton etc.), deren nähere Zusammensetzung Fabrikgeheimnis ist.

§ 170. **Akkumulatoren.** In neuerer Zeit benutzt man auch den Polarisationsstrom, indem man die Elektroden, an denen sich durch Zersetzung von Wasser  $H$  und  $O$  abgeschieden haben, durch einen Schließungsdraht verbindet. Der so entstehende Strom hat, wie bereits erwähnt, die umgekehrte Richtung wie der ursprüngliche und dauert natürlich nur solange, bis die an den Elektroden aufgespeicherten Stoffe verbraucht sind. Derartige, von PLANTÉ erfundene, sekundäre Elemente heißen auch Akkumulatoren<sup>1</sup>); sie zeichnen sich einmal durch ihre große und sehr konstante elektromotorische Kraft aus und können vor allem zur Aufspeicherung von Kräften dienen, die dann im passenden Augenblicke zur Benutzung bereit sind. Eine Akkumulator-„Zelle“ besteht aus zwei durch Kautschukbänder etc. getrennten Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure, durch welche ein galvanischer Strom geschickt wird. Dabei verbindet sich der entstehende Sauerstoff mit der Anode zu Bleisuperoxyd, der Wasserstoff wird an der Oberfläche der Kathode verdichtet. Eine stärkere Wirkung erzielt man nach FAURE dadurch,

<sup>1</sup> *accumulo* anhäufen.

daß man die mit tiefen Nuten versehenen bzw. gitterförmig durchbrochenen Bleiplatten vorher mit Mennige ( $Pb_3O_4$ ) bestreicht.

§ 171. **Ohm'sches Gesetz.** Wenn in einem Stromkreise der (positive) Strom vom positiven zum negativen Pol fließt, so kann dies nur geschehen, weil auf dieser Strecke das Potential beständig abnimmt. Es ist ja das positive Potential am positiven Pol am größten, am negativen am kleinsten; für das negative Potential gilt das Umgekehrte. Die Kraft, welche diese Potentialdifferenz schafft, ist eben die ihrem Wesen nach noch unbekanntelektromotorische Kraft ( $E$ ). Bezeichnet man nun die Elektrizitätsmenge, die in einer Sekunde durch irgend einen Querschnitt geht, also  $\frac{e}{t}$ , mit Stromstärke oder Stromintensität ( $I$ ), so ist zunächst klar, daß dieselbe im ganzen Stromkreise gleichgroß sein muß, da sonst eine Stauung der Elektrizität eintreten müßte; es ist genau wie bei einem Flusse, bei dem auch stets durch alle Querschnitte dieselbe Wassermenge in der Zeiteinheit geht. OHM zeigte nun, daß die Stromstärke proportional der elektromotorischen Kraft (oder Potentialdifferenz), umgekehrt proportional dem Widerstande ( $W$ ) ist,

$$I = \frac{E}{W}$$

Der Widerstand ist offenbar um so größer, einen je längeren Weg der elektrische Strom zurücklegt, und je schmaler derselbe ist,

$$W = \frac{l}{q} k,$$

worin  $l$  die Länge,  $q$  den Querschnitt des Leiters,  $k$  den spezifischen (gewöhnlich auf Quecksilber bezogenen) Widerstand bedeutet; denn der Widerstand hängt natürlich auch von der Natur des Leiters ab. Der Gesamtwiderstand  $W$  setzt sich nun zusammen aus dem Widerstande im Elemente selbst (innerer oder wesentlicher  $W$ )  $w$ , und dem im Schließungskreise (äußerer oder außerwesentlicher  $W$ )  $w'$ .

Es ist daher  $I = \frac{E}{w + w'}$ . Aus dieser Formel ergeben sich wichtige praktische Folgerungen. Will man größere Stromintensität erzielen, so verbindet man mehrere Elemente zu einer Batterie. Hierbei kann man entweder den positiven Pol des einen Elements mit dem negativen des nächsten verbinden (Hintereinander-, Reihen- oder Serienschaltung), oder alle positiven Pole miteinander und ebenso alle negativen vereinigen (Nebeneinander- oder Parallelschaltung). Im letzteren Falle vergrößert man bei  $n$  Elementen die

Flächen der Elektroden um das  $n$ fache. Die elektromotorische Kraft bleibt hierbei dieselbe wie bei einem Elemente, da sie ja von der Größe der Metallplatten unabhängig ist [§ 167]; dagegen wird der innere Widerstand um das  $n$ fache kleiner, weil ja jetzt der Strom durch eine  $n$ mal breitere Flüssigkeit geht. Es ist daher hier

$$I = \frac{E}{\frac{1}{n}w + w'}. \text{ Ist der äußere Widerstand so gering, daß er vernachlässigt werden kann, so ist also } I = n \frac{E}{w}, \text{ d. h. man erzielt eine } n\text{-fache Intensität.}$$

Ist aber  $w'$  groß, so wird die Intensität nicht wesentlich vergrößert. In diesem Falle bedient man sich der Hintereinanderschaltung. Hierbei wird die elektromotorische Kraft um das  $n$ fache vergrößert, aber auch der innere Widerstand. Es ist also  $I = \frac{nE}{nw + w'}$ . Kann  $nw$  gegenüber  $w'$  vernachlässigt werden, so ist  $I = \frac{nE}{w'}$ , d. h. die Intensität wird um das  $n$ fache vergrößert. Also bei großem inneren Widerstande schaltet man die Elemente nebeneinander, bei großem äußeren hintereinander. Das Maximum der Stromstärke ist vorhanden, wenn innerer und äußerer Widerstand gleich sind.

§ 172. **Stromverzweigung.** Für Stromverzweigungen gelten die beiden Kirchhoff'schen Gesetze:

1) Die Zweigströme sind zusammen so stark wie der Hauptstrom; sonst müßte ja eine Stauung der Elektrizität stattfinden.

2) In jedem geschlossenenen Kreise ist die Summe aller Produkte aus Stromstärke mit dem dazu gehörigen Widerstand gleich der elektromotorischen Kraft in diesem Kreise.

Es ist dies eine Verallgemeinerung des Ohm'schen Gesetzes.

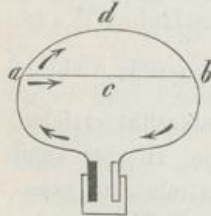


Fig. 110.

Betrachten wir zunächst den einfachsten Fall, der in Fig. 110 dargestellt ist.

Da zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  eine bestimmte Potentialdifferenz herrscht, die von dem Wege ganz unabhängig ist, eine Potentialdifferenz aber als direkte Folge der elektromotorischen Kraft dieser proportional ist, so ist nach § 171 die Stromintensität

$$\text{in } acb = \frac{\text{Potentialdifferenz } ab}{\text{Widerstand } acb},$$

$$\text{in } adb = \frac{\text{Potentialdifferenz } ab}{\text{Widerstand } adb}.$$

Daraus folgt, daß in Verzweigungen die Stromstärken sich umgekehrt wie die Widerstände verhalten. Hierauf beruht z. B. der Stöpselrheostat.<sup>1</sup>

Derselbe besteht aus einer Anzahl breiter Messingplatten (Fig. 111), die in bestimmten Abständen stehen und durch dünne Drähte verbunden sind. Werden zwischen sie dichtanschließende Messingstöpsel eingeschaltet, so geht wegen des geringeren Widerstandes der größte Teil des Stromes durch sie und behält eine große Intensität. Wird aber ein Stöpsel herausgenommen, so muß der Strom durch den betreffenden Drahtkreis fließen, wodurch seine Intensität sehr geschwächt wird. Dieser Apparat dient daher zu Abstufung der Stromstärke und Messung von Widerständen.

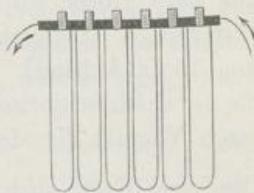


Fig. 111.

Verbindet man die beiden Stromzweige in Fig. 110 noch durch einen Draht, so erhält man die sogenannte Wheatstone'sche Brücke (Fig. 112). Wie aus den Pfeilen sofort hervorgeht, kreuzen sich in der Brücke  $cd$  zwei Ströme; daher kann man durch eine geeignete Anordnung bewirken, daß in der Brücke selbst kein Strom herrscht. Da dies aber nur möglich ist, wenn in  $c$  und  $d$  gleiches Potential herrscht, so verhalten sich wieder die Stromstärken in  $ac$  und  $ad$  umgekehrt wie ihre Widerstände  $\frac{i_1}{i_3} = \frac{w_3}{w_1}$ ; ebenso ist  $\frac{i_2}{i_4} = \frac{w_4}{w_2}$ .

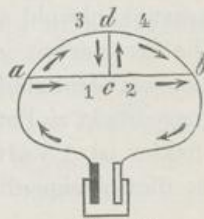


Fig. 112.

Wenn nun in der Brücke kein Strom herrschen soll, so kann man sich diesen Draht fortgenommen denken. Dann muß  $i_1 = i_3$  und  $i_2 = i_4$  sein, weil ja in demselben Stromkreise stets dieselbe Intensität herrscht.

Es ist mithin auch  $\frac{w_3}{w_1} = \frac{w_4}{w_2}$ . Daraus folgt  $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$ . Unter dieser Bedingung herrscht also in der Brücke kein Strom. Umgekehrt kann man daraus, wenn in der Brücke kein Strom herrscht, was ja durch ein Galvanometer [§ 179] leicht nachzuweisen ist, den Widerstand eines eingeschalteten Körpers berechnen, wenn die drei anderen Widerstände, resp. ein Widerstand und das Verhältnis der beiden anderen, bekannt ist.

<sup>1</sup> ῥέω fließen, ἵστημι zum Stehen bringen, also Rheostat = Widerstandsapparat.

Um den Widerstand von Flüssigkeiten mittels der Brückenmethode zu messen, muß man Wechselströme [§ 184] anwenden, da sie sonst zersetzt würden. An Stelle des Galvanometers, das für Wechselströme ungeeignet ist, schaltet man dann in die Brücke ein Telephon ein, das solange tönt, wie ein Strom durch die Brücke geht.

§ 173. **Elektrische Maße.** Die in der Praxis benutzten elektrischen Maßeinheiten, die zum Teil bereits erwähnt wurden, sind alle nach großen Physikern benannt und unterscheiden sich von den betreffenden absoluten Maßen durch positive oder negative Potenzen von 10 [s. Anhang]. So heißt die Einheit der Intensität 1 Ampère, die der elektromotorischen Kraft, des Potentials, der Spannung 1 Volt<sup>1</sup> (nach VOLTA), die des Widerstandes 1 Ohm. Man kann daher das OHM'sche Gesetz auch schreiben:  $1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$ . Als Widerstandseinheit benutzt man auch die Siemens-Einheit (*S. E.*), die dem Widerstande einer 1 m langen Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt bei 0° entspricht.  $1 \text{ Ohm} = 1,06 \text{ S. E.}$  Ferner ist zu erwähnen die Einheit der Elektrizitätsmenge, 1 Coulomb, und die der Kapazität, 1 Farad (nach FARADAY). Die Einheit der Stromenergie oder der Stromarbeit ist 1 Volt-Coulomb [§ 156] und wird auch 1 Joule genannt, obwohl sie eigentlich diesem nur äquivalent ist [s. Anhang]. Die Stromarbeit in 1 Sekunde heißt Stromeffekt [§ 13]. Derselbe ist also = Potentialdifferenz  $\times$  Elektrizitätsmenge pro Sekunde oder anders ausgedrückt = Potentialdifferenz  $\times$  Stromstärke. Die Einheit des Stromeffektes ist 1 Volt-Ampère und wird auch 1 Watt genannt, obwohl sie diesem eigentlich nur äquivalent ist [s. Anhang].

#### b. Wärme-, Licht- und chemische Wirkungen.

§ 174. **Joule'sches Gesetz.** Da zur Erzeugung des elektrischen Stromes Arbeit notwendig ist, ergibt sich aus dem Gesetze von der Erhaltung der Energie, daß der Strom auch seinerseits Arbeit leisten kann [cf. § 156]. Seine mannigfachen Wirkungen teilt man gewöhnlich ein in solche innerhalb und außerhalb des Stromkreises. Zu ersteren gehört die Erwärmung, welche eintritt, wenn der Strom durch Leiter, besonders Metalle und Kohle, geht. JOULE fand nun, daß in der Zeiteinheit die dabei entstehende Wärme proportional dem Widerstande und dem Quadrate der Intensität ist,

$$Q = J^2 W.$$

<sup>1</sup> Die elektromotorische Kraft eines Daniell-Elementes beträgt ca. 1 Volt, die eines Bleiakкумуляtors ca. 2 Volt.

Dieses ergibt sich auch schon daraus, daß der Stromeffekt [§ 173] gleich dem Produkt aus Potentialdifferenz und Intensität,  $JE$ , ist.  $E$  ist aber nach dem OHM'schen Gesetze  $= J.W$ .

Aus der Definition des Widerstandes folgt nun, daß die Wärmeentwicklung besonders stark in dünnen Drähten sein muß. Darauf beruht die Galvanokaustik, d. i. die Anwendung von glühenden Schlingen, Nadeln etc. in der Medizin. Ist die Erwärmung sehr groß, so entsteht Licht. Bei den Glühlichtlampen von EDISON geht der Strom durch einen dünnen, hufeisenförmig gebogenen Kohlenfaden, der sich in einem luftleeren Glasballon befindet, weil er sonst infolge von Sauerstoffzutritt verbrennen würde.

§ 175. **Bogenlicht.** Auf der JOULE'schen Wärme beruht auch das elektrische Bogenlicht. Benutzt man nämlich zwei Kohlen als Elektroden und sendet einen starken Strom hindurch, so geht derselbe kontinuierlich durch die Spitzen, wenn sie einander berühren; entfernt man sie dann aber, so entsteht zwischen ihnen ein außerordentlich heller Lichtbogen, auch Davy'scher Lichtbogen genannt. Bei dem Übergang durch die Luftschicht entsteht nämlich eine so bedeutende Wärme (ca. 4000° CELSIUS), daß die Kohlenspitzen und die Luft glühend werden. Hierbei fliegen Stücke von der positiven zur negativen Kohle über, und da erstere überhaupt stärker erhitzt wird, so brennt sie schneller ab; es bildet sich ein Krater in ihr, während die negative Kohle spitz bleibt. Schließlich wird dadurch die Luftschicht zwischen beiden Kohlen und somit der Widerstand zu groß, und der Strom erlischt. Daher ist eine Regulation nötig, die am besten von der Differentiallampe von HEFNER-ALTENECK geleistet wird.

Der untere Teil des Eisenstabes  $AB$  (Fig. 113) wird von wenigen starken Windungen des Stromkreises umgeben. Dieser geht von hier zum Hebel  $CD$ , der in der Mitte von  $AB$  befestigt ist und in  $E$  seinen Drehpunkt hat; vom Hebel dann durch beide Kohlen und schließlich zur Batterie zurück. In  $a$  zweigt sich eine Nebenleitung ab, die in vielen schwachen Windungen um den oberen Teil von  $AB$  geht und sich bei  $b$  mit dem ersten Stromkreise wieder vereinigt. Berühren sich die Kohlen, so geht der Strom hauptsächlich durch den unteren Draht, weil hier der Widerstand kleiner ist. Dadurch wird der Eisenstab nach unten gezogen [§ 181], und infolge der Hebelwirkung die obere Kohle nach oben, so daß der Lichtbogen entsteht. Wird nun die Entfernung zwischen beiden Kohlen größer, so wächst der

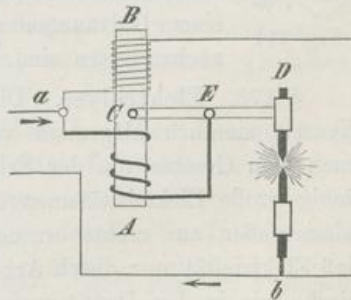


Fig. 113.



Widerstand im unteren Stromkreise, und der Strom fließt mehr durch den oberen. Dadurch wird der Eisenstab nach oben gezogen, und die obere Kohle geht durch Hebelwirkung nach unten.

§ 176. **Peltier'sches Phänomen.** Geht der Strom durch eine Stelle, an der zwei Metalle zusammengelötet sind, so zeigt sich hier außer der JOULE'schen Wärme, je nach der Stromrichtung, noch eine besondere Erwärmung oder Abkühlung. Am stärksten zeigt sich dieses Peltier'sche Phänomen an Lötstellen von Wismut und Antimon. Geht der Strom vom Antimon zum Wismut, so findet eine Erwärmung statt, im umgekehrten Falle eine Abkühlung. Dies tritt auch bei anderen Metallen ein, und es läßt sich wieder eine thermoelektrische Spannungsreihe aufstellen. Fließt der Strom zuerst durch das in der Reihe voranstehende Metall, so findet eine Erwärmung, sonst eine Abkühlung statt. Die Endglieder dieser Reihe sind Antimon und Wismut.

*Sammlung  
Abb. 195.*

§ 177. **Thermoelektrizität.** Dieser Prozeß ist, wie die meisten elektrischen, einer Umkehrung fähig. Wird nämlich die Lötstelle zweier Metalle erwärmt, so entsteht ein Strom in bestimmter Richtung, z. B. vom Wismut zum Antimon; wird sie abgekühlt, so entsteht ebenfalls ein elektrischer Strom, aber von entgegengesetzter Richtung. Die Stärke des Stroms ist im allgemeinen der Temperaturdifferenz proportional. Will man die schwache elektromotorische Kraft eines solchen Thermostromes<sup>1</sup> erhöhen, so vereinigt man mehrere Thermoelemente zu einer Thermosäule, bei der immer die ungeraden Lötstellen an einer Seite liegen und zusammen erwärmt werden (Fig. 114). Diese Thermosäulen werden weniger zur Erzeugung brauchbarer Elektrizitätsmengen benutzt, als zur Wärmemessung, da schon sehr geringe Temperaturdifferenzen elektrische Ströme erzeugen, die mit einem Galvanometer (Thermomultiplikator) sehr genau nachzuweisen sind.

*Sammlung  
Abb. 193.*

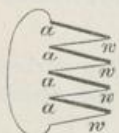


Fig. 114.

§ 178. **Elektrolyse.** Die VOLTA'sche Kontakttheorie ist in der Neuzeit ziemlich allgemein verlassen worden. Sie widerspricht ja auch dem Gesetze von der Erhaltung der Energie, weil nach ihr beliebig große Elektrizitätsmengen durch einfache Berührung, also gewissermaßen aus nichts erzeugt werden. Man ist jetzt der Ansicht, daß Elektrizität nur durch Arbeit entstehen kann, sei es durch mechanische wie in den Dynamomaschinen, sei es durch Erwärmung, oder durch chemische Vorgänge. Wahrscheinlich ist die Zersetzung von

<sup>1</sup> θερμός warm.

Flüssigkeiten durch den elektrischen Strom so aufzufassen, daß durch die chemische Zersetzung erst der Strom entsteht. Dafür spricht die Tatsache, daß nur solche Flüssigkeiten leiten, welche dabei zersetzt werden. Man nennt nun derartige Flüssigkeiten Elektrolyte, den Vorgang selbst Elektrolyse<sup>1</sup>). Bei der Zersetzung werden an der Kathode, also an dem negativen Pole, stets die elektropositiven Bestandteile der Moleküle, wozu die Metalle und der ihnen nahestehende Wasserstoff gehören, abgeschieden, an der Anode die übrigbleibenden Bestandteile. Also in einer Zinksulfatlösung geht  $Zn$  zur Kathode,  $SO_4$  zur Anode. Oft treten aber bei der Abscheidung an den Elektroden noch sekundäre Prozesse ein. So entsteht z. B. bei der Wasserzersetzung  $H$  und  $O$ . Dies beruht aber stets auf der Anwesenheit von Salzen oder Säuren, da chemisch reines Wasser überhaupt nicht leitet. Enthält z. B. das Wasser etwas Kochsalz ( $NaCl$ ), so wird dieses in  $Na$  und  $Cl$  zerlegt.  $Na$  geht zur Kathode, verbindet sich dort zu  $NaOH$  und macht  $H$  frei;  $Cl$  geht zur Anode, verbindet sich zu  $HCl$  und macht  $O$  frei.  $H$  und  $O$  entstehen somit erst sekundär. Daß die Zersetzungsprodukte nur an den Elektroden auftreten, beruht nach CLAUSIUS und ARRHENIUS darauf, daß durch Auflösung in einer Flüssigkeit die Salzmoleküle dissoziiert werden, daß also eine Scheidung in elektropositive und -negative Atomgruppen eintritt. Durch die Anziehung der Elektroden findet nun eine Wanderung dieser Gruppen statt, die daher Ionen heißen, und zwar wandern zur Kathode die Kationen, zur Anode die Anionen und werden dort gebunden. Im Innern der Flüssigkeit neutralisieren sich aber die, wenn auch getrennten, Ionen gegenseitig. Die Wirkung des elektrischen Stromes besteht hiernach<sup>2</sup> also nicht darin, daß er die Flüssigkeit zersetzt, sondern daß er den bereits zersetzten Molekülen eine bestimmte Richtung erteilt. Bei jeder derartigen Zersetzung gelten nun die elektrolytischen Grundgesetze von FARADAY:

1) die Menge der Zersetzungsprodukte ist in gleichen Zeiten der Stromstärke proportional;

2) von demselben Strom werden bei Zersetzung verschiedener Flüssigkeiten stets chemisch äquivalente Mengen abgeschieden. Darunter versteht man das Verhältnis zwischen Atomgewicht und Wertigkeit. Es werden also für 1 g  $H$  35,5 g  $Cl$ ,  $\frac{16}{2}$  g  $O$ ,  $\frac{14}{3}$  g  $N$  etc. abgeschieden. Da nun 1 g  $H$  dasselbe Volumen

<sup>1</sup> λύσις Auflösung, Zersetzung.

<sup>2</sup> Nach der jetzt verlassenen Theorie von GROTHIUS findet dagegen der Zerfall in Ionen erst durch Einwirkung des elektrischen Stromes statt.

hat wie 16 g *O* und 14 g *N*, so verhalten sich die abgeschiedenen Volumina hier wie  $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$ .

Nach dem ersten dieser Gesetze kann aus der Menge der in der Zeiteinheit abgeschiedenen Substanz die Stromintensität berechnet werden. Die hierauf beruhenden Apparate heißen Voltmeter. Beim Knallgasvoltmeter mißt man die Menge des durch Wasserzersetzung entstandenen Knallgases, beim Silbervoltmeter stellt man die Gewichtszunahme fest, die eine als Kathode benutzte Platinschale erfährt, wenn aus einer  $AgNO_3$ -Lösung Silber auf ihr niedergeschlagen wird.

Bei der galvanischen Versilberung oder Vergoldung wird der betreffende Gegenstand ebenfalls als Kathode benutzt; dann schlägt sich aus der Silber- oder Goldlösung das Metall auf ihm nieder. An die Anode bringt man hierbei einen Silber- oder Goldstreifen, welcher durch das Anion aufgelöst wird und so die elektrolytische Flüssigkeit beständig erneuert. Ähnlich ist die Galvanoplastik, bei der man von einem Gegenstande, der eingefettet und dann als Kathode benutzt wird, einen Metallabguß herstellt. Auch die Reindarstellung von Metallen aus ihren Verbindungen, z. B. des Aluminiums, beruht auf der Elektrolyse.

### c. Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

§ 179. **Ablenkung der Magnetnadel.** Im Jahre 1820 entdeckte OERSTEDT das merkwürdige Phänomen, daß ein Strom, der eine Magnetnadel umfließt, dieselbe ablenkt, und zwar senkrecht zu seiner Ebene zu stellen sucht. Die Richtung der Ablenkung ergibt sich aus der sog. Ampère'schen Schwimmregel: Denkt man sich in der Richtung des positiven Stromes schwimmend, das Gesicht der Nadel zugekehrt, so wird ihr Nordpol nach links abgelenkt. Da die Größe der Ablenkung der Stromstärke (und der vom Strom umflossenen Fläche) proportional ist, wird sie zur Bestimmung derselben benutzt. Der einfachste hierauf beruhende Apparat ist die Tangentenbussole. Hier fließt ein Strom durch einen vertikalen, in die Ebene des magnetischen Meridians gestellten Kreis aus Metalldraht und wirkt auf eine horizontale Magnetnadel ein. Wie sich zeigen läßt, ist hier die Stromstärke proportional der Tangente des Ablenkungswinkels; daher stammt auch der Name. Zu feineren Messungen dienen die Multiplikatoren oder Galvanometer, bei denen die Wirkung des Stromes dadurch verstärkt ist, daß er in vielen Umwindungen die Nadel umkreist. Außerdem wendet

*himmels  
Abb. 178.*

man hier astatiche Nadeln an. Bei diesen ist der störende Einfluß des Erdmagnetismus dadurch aufgehoben, daß eine gleichstarke Magnetnadel über der ersten so angebracht ist, daß die ungleichnamigen Pole übereinanderliegen (Fig. 115).

Aus der Ampère'schen Regel folgt ohne weiteres, daß die zweite Nadel außerhalb des Stromkreises angebracht sein muß, weil ja sonst überhaupt keine Ausschläge zustande kämen.

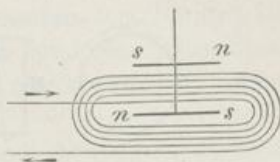


Fig. 115.

Derartige Galvanometer werden nicht nur zur Messung von Stromstärken, sondern auch von Spannungsdifferenzen benutzt. Sind sie so geeicht, daß die Skala für jeden Ausschlag der Nadel die Zahl der Ampères bzw. Volts direkt anzeigt, so heißen sie Ampèremeter bzw. Voltmeter (nicht zu verwechseln mit Voltmeter).

Kennt man nämlich die Ausschläge eines Galvanometers für eine bestimmte Zahl von Ampères und seinen Widerstand in Ohms, so ergibt sich je nach der Formel  $1 \text{ Volt} = 1 \text{ Ampère} \times 1 \text{ Ohm}$  [§ 173] auch sofort der Spannungsunterschied, der den Ausschlag hervorruft.

Ein Ampèremeter kommt stets in den Hauptstromkreis, und zwar — da die Stromstärke in demselben überall gleich ist — an eine beliebige Stelle desselben. Es besteht aus wenigen Windungen von dickem Draht, damit nicht das Instrument selbst durch größeren Widerstand die Stromstärke beeinflusst.

Ein Voltmeter wird dagegen stets an die beiden Punkte des Hauptstromkreises angelegt, deren Spannungsdifferenz gemessen werden soll; es liegt also im Nebenschluß. (Im Gegensatz zur Stromstärke ist ja die Spannung innerhalb eines Stromkreises nicht konstant, sondern fällt vom positiven zum negativen Pol.) Um die Stromstärke und Spannungsverteilung im Hauptkreise möglichst wenig zu beeinflussen, müssen die Voltmeter einen großen Widerstand besitzen; sie bestehen daher aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes.

Eine dritte Anwendung finden Galvanometer zur Messung von Elektrizitätsmengen, wenn es sich um Ströme von sehr kurzer Dauer, z. B. den Entladungsstrom von Leydener Flaschen handelt. Der erste Ausschlag der Galvanometernadel bei einem solchen Stromstoß ist nämlich der durch das Galvanometer hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge proportional. Ein hierzu benutztes Instrument heißt ballistisches Galvanometer.

Drehspulengalvanometer s. § 181, aperiodische Galvanometer s. § 185.

§ 180. **Elektromagnete.** Solange ein elektrischer Strom um einen Eisenstab geht, ist dieser magnetisch. Ein solcher durch den elektrischen Strom erzeugte Elektromagnet besitzt einen zwar nur temporären, aber äußerst starken Magnetismus. Nach der Molekulartheorie kann man sich vorstellen, daß der Strom ebenso wie die Magnetnadel auch alle Molekularmagnete in eine bestimmte Richtung bringt. Dadurch ist verständlich, daß auch hier wieder infolge der

Koerzitivkraft Stahl schwerer zum Elektromagneten wird als weiches Eisen [cf. § 148]. Die Lage des Nordpols findet man wieder leicht nach der Ampère'schen Regel. Ferner ergibt eine einfache Über-

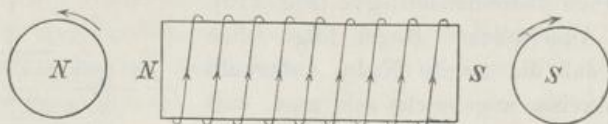


Fig. 116.

legung, daß, wenn man von oben auf einen Südpol sieht, der Strom im Sinne des Uhrzeigers verläuft, beim Nordpol umgekehrt (Fig. 114).

Auf dem Elektromagnetismus beruhen unzählige Apparate. Hier sei nur der Telegraph<sup>1</sup> von Morse beschrieben. Auf der Aufgabestation wird durch Druck auf den sog. Schlüssel *S* (Fig. 117) der Strom bestimmte Zeit geschlossen. Während dieser Zeit wird auf der Empfangsstation ein

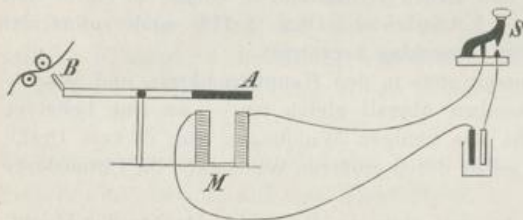


Fig. 117.

hufeisenförmiges Eisenstück *M*, um das der Stromkreis in vielen Windungen geht, elektromagnetisch und zieht den Anker *A* an. Dabei wird durch Hebelwirkung ein Schreibstift *B* gegen einen gleichmäßig schnell vorübergleitenden Papier-

streifen gedrückt und macht je nach der Dauer des Stromes Punkte und Striche. Aus diesen setzt sich dann das sog. Morse-Alphabet zusammen. Da aber bei großen Entfernungen der Widerstand im Drahte zu groß wird, so daß der Elektromagnet *M* nicht kräftig genug funktioniert, so wendet man sog. Relais an. Hier hat *M* nur einen sehr leichten Hebel anzuziehen, durch den dann ein neuer Stromkreis mit besonderen Elementen geschlossen und somit kräftigere Wirkung erzielt wird. Wie STEINHEIL zeigte, ist beim Telegraphen nur ein Leitungsdraht nötig; versenkt man nämlich seine beiden Enden genügend tief in die Erde, so besorgt diese die Rückleitung.

§ 181. Wirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magneten. Eine von einem Strom durchflossene Drahtspirale heißt



Fig. 118.

ein Solenoid<sup>2</sup> (Fig. 118). Ein solches sucht nicht nur einen Magneten senkrecht zu der Richtung seiner einzelnen Stromkreise, mit

anderen Worten also in die Richtung seiner Achse zu stellen, sondern der Magnet wird auch entweder in die Spirale hineingezogen oder von

<sup>1</sup> τῆλε entfernt, γράφω schreiben.

<sup>2</sup> σωλήν Röhre.

ihr abgestoßen. Das Solenoid wirkt somit wie ein Magnet, dessen Nordpol wieder nach der Ampère'schen Regel zu finden ist. In Fig. 118 ist der Nordpol des Solenoids links; daher wird auf der rechten Seite ein magnetischer Südpol abgestoßen, ein Nordpol angezogen. Ein Stab aus weichem Eisen wird durch das Solenoid zuerst magnetisiert und dann wieder angezogen oder abgestoßen. Darauf beruht ja die Differentiallampe [§ 175].

Ist umgekehrt der elektrische Stromkreis beweglich, so sucht der Magnet denselben senkrecht zu einer Achse zu stellen und übt ferner auf ihn anziehende oder abstoßende Wirkung aus. Man kann dies mittelst des Ampère'schen Gestells (Fig. 119) nachweisen, bei dem der Stromkreis frei beweglich in Quecksilbernapfchen aufgehängt ist. Daher wird auch unter dem Einflusse des Erdmagnetismus die Ebene eines solchen Stromkreises sich senkrecht zum magnetischen Meridian stellen. Man kann nun durch geeignete Kombinationen bewirken, daß ein Magnet unter dem Einflusse eines elektrischen Stromkreises beständig rotiert und umgekehrt.

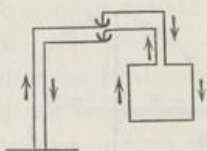


Fig. 119.

Durch die Achse  $ab$  (Fig. 120) wird z. B. ein Strom zugeleitet und geht dann in den Drahtkreis  $dce$  über, der mit  $ab$  durch eine in das Quecksilbernapfchen bei  $b$  tauchende Spitze verbunden ist, also um  $ab$  rotieren kann;  $d$  und  $e$  tauchen in eine mit Quecksilber gefüllte Rinne, von der aus der Schließungsdraht zum Elemente zurückgeht. Neben  $ab$  ist ein Magnet  $NS$ , dessen Nordpol  $N$  hier hauptsächlich zur Wirkung kommt. Dieser sucht  $dcb$  nach der einen,  $bce$  nach der entgegengesetzten Richtung senkrecht zu seiner Achse, also horizontal, zu stellen. Da nun aber beide Kreise fest miteinander verbunden sind, so resultiert eben eine Drehung [cf. § 16] durch das magnetische Kräftepaar.

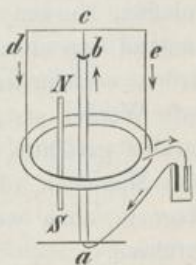


Fig. 120.

Auf der Drehung eines beweglichen Stromkreises unter dem Einflusse eines Magneten beruhen auch die (Feder-) Spulengalvanometer von DEPREZ-D'ARSONVAL, WESTON u. a. Die drehbare Spule befindet sich hier zwischen den Polen eines starken Hufeisenmagneten und wird, solange kein Strom durch sie fließt, durch eine Spiralfeder etc. in einer bestimmten Lage erhalten. Geht nun der Strom durch sie hindurch, so dreht sie sich, indem sie dabei die Elastizität der Feder überwindet, um einen der Stromstärke proportionalen Winkel, um nach Aufhören des Stromes in die Ruhelage zurückzukehren. An der Spule ist ein Zeiger befestigt, der über einer Skale spielt, die nach Ampères oder Volts geeicht ist [cf. § 179]. Diese Art von Galvanometern ist unempfindlich gegen Änderungen des Erdmagnetismus und den Einfluß benachbarter Ströme, da diese eben gegenüber dem starken Feldmagneten nicht in Betracht kommen.

§ 182. **Elektrodynamik.** Da, wie gezeigt wurde, elektrische Ströme wie Magnete wirken, so ist begreiflich, daß auch zwei elektrische Ströme aufeinander anziehende oder abstoßende Wirkung ausüben. AMPÈRE stellte nun folgende elektrodynamische Gesetze auf:

1) Parallel gerichtete Ströme ziehen sich an, wenn sie gleiche Richtung haben, im entgegengesetzten Falle stoßen sie sich ab.

2) Gekreuzte Ströme ziehen sich an, wenn in beiden der Strom gleichgerichtet ist, d. h. entweder in beiden nach der Kreuzungsstelle hin oder von ihr fort geht; anderenfalls stoßen sie sich ab. In jedem Falle also suchen sie sich parallel zu stellen (Fig. 121).



Fig. 121.

3) Die Kraft, mit der sich die Ströme anziehen oder abstoßen, ist proportional dem Produkte der Stromstärken, dem Produkte der aufeinanderwirkenden Stromlängen und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung.

§ 183. **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Die ähnlichen Wirkungen, welche elektrische Ströme und Magnete entfalten, veranlaßten AMPÈRE, die Theorie aufzustellen, daß jedes Eisenmolekül dauernd von einem Strom umflossen wird. Da nun diese Molekularströme verschiedene Richtungen haben, so heben sie sich gegenseitig auf. Werden sie aber durch einen Magneten oder elektrischen Strom parallel gerichtet, wirken sie also wie ein Solenoid, so wird das Eisen zum Magneten. Hiernach ist die Anziehung und Abstoßung zweier Magnete ohne weiteres auf die elektrodynamischen Gesetze zurückzuführen.

#### d. Induktion.

§ 184. **Gesetze der Induktion.** Bei jeder Schließung und Öffnung eines elektrischen Stromes entstehen in einem in der Nähe befindlichen, geschlossenen, stromlosen Leiter ebenfalls elektrische Ströme von kurzer Dauer. Man nennt den ersten Strom den primären oder induzierenden, den zweiten den sekundären, induzierten oder Induktionsstrom<sup>1</sup>. Induktionsströme entstehen ferner beim Stärker- und Schwächerwerden, sowie beim Nähern und Entfernen des primären Stromes. Die induzierten Ströme sind nun

<sup>1</sup> *induco* wohin führen, veranlassen.

beim Schließen, Nähern und Stärkerwerden des primären Stromes diesem entgegengesetzt, beim Öffnen, Entfernen und Schwächerwerden ihm gleichgerichtet. Durch rasches Öffnen und Schließen erhält man somit Ströme von entgegengesetzter Richtung, sogenannte Wechselströme, die von großer Wichtigkeit sind. Beispielsweise können sie durch eine Flüssigkeit gehen, ohne daß Polarisierung eintritt. Nach medizinischem Sprachgebrauch heißen übrigens die Induktionsströme gewöhnlich faradische, nach ihrem Entdecker FARADAY, im Gegensatz zu dem galvanischen oder konstanten Strom.

Induktion findet aber auch im primären Stromkreise selbst statt, wenn dieser aus vielen dicht aneinanderliegenden Windungen besteht. Man spricht dann von Selbstinduktion und nennt die dabei entstehenden Ströme Extrastrome. Da nun dieselben beim Schließen entgegengesetzte, beim Öffnen gleiche Richtung wie der Hauptstrom haben, so folgt daraus, daß die Öffnungswirkung eines solchen Stromes viel stärker ist als die Schließungswirkung.

Die AMPÈRE'sche Theorie, nach der ja Magnetismus durch gleichgerichtete Molekularströme bedingt ist, macht es verständlich, daß auch durch Näherung und Entfernung eines Magneten in einem geschlossenen Leiter Induktionsströme entstehen. Man spricht dann im Gegensatz zur Elektroinduktion von Magnetoinduktion.

§ 185. **Lenz'sche Regel.** Die Richtung der Induktionsströme ist immer derartig, daß sie durch ihre elektromagnetische bzw. elektrodynamische Rückwirkung der stromerzeugenden Bewegung entgegenwirken. Hierbei sind Schließung und Verstärkung des Stroms gleichbedeutend mit Annäherung, Öffnung und Schwächung mit Entfernung. Nähert man z. B. den Südpol eines Magneten einem geschlossenen Leiter, so ist der entstehende Strom so gerichtet, daß er den Südpol abzustößen bestrebt ist. Darauf beruht es z. B., daß eine Magnetnadel, welche über Kupferplatten schwingt, gedämpft wird, d. h. bald zur Ruhe kommt. Derartig eingerichtete Galvanometer heißen aperiodisch, da die Nadel eben keine periodischen Schwingungen mehr macht.

Das LENZ'sche Gesetz ist nur ein Spezialfall des Gesetzes von der Erhaltung der Energie. Man kann sich dies so klar machen, daß z. B. durch Annäherung eines Stromes an einen Leiter Arbeit gegen abstoßende Kräfte geleistet wird; solche sind aber eben vorhanden, wenn parallele Ströme entgegengesetzt gerichtet sind. Es ist ebenso wie beim Pendel: wird derselbe nach der einen Seite hin bewegt, so kommen gewissermaßen abstoßende Kräfte zur Wirkung, die ihn in die alte Lage zurückzuführen suchen.

§ 186. **Induktionsapparate.** Die elektromotorische Kraft der Induktionsströme wächst mit der Intensität des primären Stromes,



mit der Zahl der Windungen in der sekundären Rolle und mit dem raschen Wechsel der Stromstärke resp. dem raschen Schließen und Öffnen. Man verwendet daher bei der primären Rolle verhältnismäßig dicken und kurzen Draht, bei der sekundären sehr dünnen von oft außerordentlicher Länge und benutzt zur schnellen Stromunterbrechung selbsttätige Apparate.

Beim WAGNER'schen Hammer z. B. wird ein hufeisenförmiges Eisenstück  $M$  (Fig. 122) durch den herumgesandten Strom magnetisch und zieht

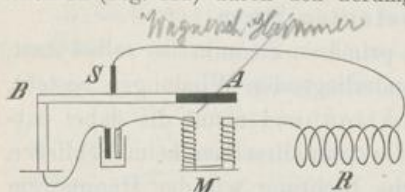


Fig. 122.

den Anker  $A$  an, der durch eine Feder an  $B$  befestigt ist. Hierdurch wird aber die Feder von der Metallspitze  $S$  entfernt, somit die Leitung unterbrochen;  $M$  verliert seinen Magnetismus, und die Feder geht in ihre alte Lage zurück, wodurch der Strom wieder geschlossen wird, usw.

Der WAGNER'sche Hammer ist z. B. ein Bestandteil der elektrischen Klingeln, indem hier mit dem Anker ein Klöppel verbunden ist, der an eine Glocke schlägt; ferner des Schlitteninduktors von DU BOIS-REYMOND, bei dem die sekundäre Spirale auf einem Schlitten über die primäre gezogen, und somit die Wirkung abgestuft werden kann. Weit stärker ist aber der RÜHMKORFF'sche Funkeninduktor, bei dem beide Spiralen übereinander gewickelt sind, und der Draht der sekundären oft bis 100 000 m lang ist. Im Innern der primären Rolle ist noch ein Bündel Eisenstäbe, welche durch ihren entstehenden und vergehenden Magnetismus die Induktionswirkung verstärken.

§ 187. **Transformatoren.** Durch Induktionsapparate kann die Spannung des sekundären Stroms beliebig größer oder kleiner gemacht werden als die des primären; man hat ja nur nötig, die Zahl der sekundären Windungen größer oder kleiner zu machen als die der primären. Da nun der Arbeitseffekt, der ja das Produkt aus Spannung und Intensität ist [§ 173], derselbe bleibt, so muß natürlich bei größerer Spannung die Intensität geringer werden und umgekehrt. Diese Transformierung<sup>1</sup> (Umwandlung) elektrischer Ströme ist außerordentlich wichtig. Sie spielt z. B. bei der elektrischen Kraftübertragung eine große Rolle. Denn während es darauf ankommt, an Ort und Stelle Ströme von hoher Intensität zur Verfügung zu haben, würde die Fortleitung solcher sehr unzweckmäßig sein, da ja

<sup>1</sup> transformo umformen.

die unproduktive JOULE'sche Wärme mit dem Quadrate der Intensität wächst [§ 174]. Zum Transport der elektrischen Kraft verwendet man daher hochgespannte Ströme von geringer Intensität, die man dann am Gebrauchsorte in solche von großer Intensität, aber geringer Spannung transformiert.

TESLA ließ die oszillierenden Funkenentladungen von Leydener Flaschen, die ihrerseits durch einen Rühmkorff gespeist wurden, durch die primäre Induktionsrolle gehen und brachte diese Wechselströme von großer Frequenz und Intensität mittels der sekundären Rolle auf sehr hohe Spannung. Von den vielen merkwürdigen Wirkungen dieser Tesla-Ströme (die übrigens unabhängig von TESLA auch D'ARSONVAL entdeckt hatte) sei hier nur erwähnt, daß sie für den menschlichen Körper fast ganz unfühlbar sind, da sie nur an seiner Oberfläche bleiben, und ferner, daß Geißleröhren [§ 188] bereits in der Nähe der Pole, ohne mit diesen verbunden zu sein, aufleuchten. (TESLA's „Licht der Zukunft“.)

§ 188. **Kathoden-, Röntgen- und Becquerelstrahlen.** Geht der überaus starke Strom eines Rühmkorff durch Geißler'sche Röhren (beliebig geformte Röhren, die Luft oder ein anderes Gas in starker Verdünnung enthalten, und in die an zwei Stellen Platinelektroden eingeschmolzen sind), so entsteht kein gewöhnlicher elektrischer Funke, sondern von der Anode erstreckt sich fast durch die ganze Röhre diffuses rötliches Licht, und auch an der Kathode sieht man eine bläuliche Lichthülle, die aber nur klein ist und von dem positiven Licht durch einen dunklen Raum getrennt wird. Die Farben wechseln je nach dem Inhalte der Röhren. In den Hittorf'schen oder Crooke'schen Röhren, bei denen die Luftverdünnung maximal ist ( $\frac{1}{1000000}$  einer Atmosphäre und weniger), verschwindet das Anodenlicht immer mehr, das Kathodenlicht breitet sich dagegen über die ganze Röhre aus. Diese Kathodenstrahlen, die also von der Kathode ausgesandt werden, pflanzen sich geradlinig fort; sie treffen daher die Anode nicht, wenn diese seitlich sitzt, und werfen von Körpern im Innern der Röhre Schatten. Ferner erregen sie im Glase der Röhre sowie überhaupt in nichtmetallischen Körpern Fluorescenz, besitzen starke Wärmewirkungen und können leichte Körper, z. B. ein Glimmerrädchen, bewegen. Durch einen genäherten Magneten werden sie von ihrer Richtung abgelenkt. Alle diese Erscheinungen zeigen sie indes nur innerhalb der HITTORF'schen Röhren. RÖNTGEN entdeckte nun eine neue Art von Strahlen, die sog. X-Strahlen, die auch außerhalb der Röhren ihre Wirkung entfalten und wahrscheinlich von den Kathodenstrahlen beim Auftreffen auf die Röhrenwand bezw. auf andere Körper innerhalb der Röhren, besonders Platin, erzeugt werden. Diese X-Strahlen werden von Magneten nicht ab-

*kommt  
232*

*kommt  
235  
237  
238*

*kommt  
239*

gelenkt und erleiden beim Durchgang durch Prismen und Linsen keine Brechung; auch vermögen sie leichte Körper nicht zu bewegen. Am wichtigsten und interessantesten ist aber, daß sie durch eine große Zahl undurchsichtiger Körper hindurchgehen können, im allgemeinen um so besser, je geringer ihr spezifisches Gewicht ist. Die Schwermetalle sind z. B. in viel geringerem Grade durchlässig als das leichte Aluminium, die Knochen weniger als die Haut und Muskeln etc. Da nun die X-Strahlen auch photochemische Wirkungen besitzen und Fluoreszenz erzeugen, so kann man mit ihnen Gegenstände photographieren bzw. direkt sehen, die sich im Innern von undurchsichtigen, aber für X-Strahlen durchlässigen Körpern befinden, z. B. Geld in einem Portemonnaie, Knochen im tierischen Körper etc. Es entsteht dann nämlich ein Schattenbild, indem hinter den undurchlässigen Objekten, z. B. den Knochen, die photographische Platte nicht zersetzt wird, resp. der (meist mit Baryumplatinzyanür bestrichene) Fluoreszenzschirm nicht aufleuchtet. Schließlich sei noch erwähnt, daß die X-Strahlen die Fähigkeit besitzen, elektrisch geladene Körper, auf die sie treffen, zu entladen, wahrscheinlich dadurch, daß sie die Luft leitend machen bzw. ionisieren.

Die Ionisierung eines Gases besteht nämlich darin, daß durch gewisse Einflüsse (Kathoden-, Röntgen-, Becquerelstrahlen, elektrisches Licht) von den Atomen Elektronen [s. u.] abgespalten werden, die analog den Ionen bei der Elektrolyse [§ 178] „wandern“. Die negativen Ionen gehen also z. B. zu einem positiv geladenen Elektroskop und neutralisieren dessen Ladung, die Atomreste bleiben als positiver Elektronenkomplex zurück.

Über die Natur der Kathoden- und X-Strahlen ist man noch im unklaren. Von ersteren nimmt man jetzt meist an, daß sie die Bahnen kleinster materieller Teilchen vorstellen, die mit negativer Ladung von der Kathode aus mit enormer Geschwindigkeit (bis 160 000 km pro Sekunde fortgeschleudert werden. Man nennt jetzt derartige Elementarquanta der Masse, die — um ein vielfaches kleiner als die Atome — mit je einem Elementarquantum Elektrizität behaftet sind, Elektronen. Die X-Strahlen faßt man entweder als Elektronen auf, die ihre elektrische Ladung an der Antikathode oder Glaswand abgegeben haben, oder als Ätherwellen von noch kürzerer Wellenlänge als die ultravioletten Strahlen. —

Bald nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen wurden Substanzen entdeckt, die analoge Eigenschaften zeigten und daher radioaktiv genannt wurden. Da BECQUEREL sie zuerst bei gewissen Uranverbindungen (Pechblende etc.) entdeckte, heißen sie ihm zu Ehren auch Becquerelstrahlen. Das Ehepaar CURIE isolierte als Träger der Radioaktivität zwei Stoffe (Elemente?) aus der Pechblende, die chemisch dem Wismut bzw. Baryum nahe stehen und von ihm Polonium bzw. Radium benannt wurden. Auch Thoriumpräparate u. a. Stoffe zeigen radioaktive Eigenschaften.

§ 189. **Telephon und Mikrophon.** Von den unendlich vielen auf Induktion beruhenden Apparaten ist einer der interessantesten das Telephon<sup>1)</sup> von BELL. An den beiden Orten, zwischen denen gesprochen wird, befindet sich ein Stabmagnet, der von einer Drahtrolle umgeben ist; die Drahtrollen beider Orte sind miteinander verbunden. Vor den Nordpolen  $n$  und  $n'$  (Fig. 123) der Magnete befindet

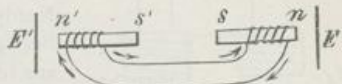


Fig. 123.

sich je ein dünnes Eisenplättchen  $E$  und  $E'$ , in denen durch Influenz auf der den Magneten zugekehrten Seite ein magnetischer Südpol entsteht. Nähert man das Eisenplättchen  $E$  dem Magneten und damit auch der geschlossenen Drahtrolle, so entsteht in dieser ein Induktionsstrom, der zum Nordpol des anderen Magneten fließt und diesen, da er entgegengesetzt wie ein Uhrzeiger geht [cf. § 180], verstärkt; das Eisenplättchen  $E'$  wird also angezogen. Entfernt man dagegen  $E$ , so wird  $E'$  abgestoßen. Beide Eisenplättchen bewegen sich also stets gleichsinnig. Wird daher gegen  $E$  gesprochen, so wird es in Schwingungen versetzt, die genau dieselben Schwingungen in  $E'$  hervorrufen; letztere werden dann als Töne vernommen. Der eine Draht kann wie beim Telegraphen durch die Erdleitung ersetzt werden. Für größere Entfernungen schaltet man ein sog. Mikrophon ein. Hier geht durch die Induktionsrolle des Magneten ein Strom, der vorher mehrere auf einem Resonanzboden stehende, mit den Spitzen sich berührende Kohlenstäbchen durchfließt. Wird gegen den Resonanzboden gesprochen, so werden durch die Erschütterung hierbei die Kohlenspitzen genähert oder entfernt; dadurch wird der Widerstand im Stromkreise geändert; es entstehen Schwankungen im Magnetismus des Telephons, und die Eisenplatte desselben gerät in entsprechende Schwingungen.

§ 190. **Elektrische Maschinen.** Da Elektrizität durch Wärme bisher nur in geringen Mengen, aus chemischen Spannkraften nur mit großen Kosten erzeugt werden kann, so war eine Herstellung im großen erst möglich, als mechanische Arbeit dazu angewandt wurde; und zwar beruhen alle derartigen Maschinen auf Induktionswirkungen. So entsteht z. B. Elektrizität dadurch, daß man vor den Polen eines Magneten ein mit Draht umwickeltes Eisenstück rotieren läßt. Dies ist das Prinzip der magnetelektrischen Rotationsmaschinen, erfunden von PILL.

Ist z. B.  $NS$  (Fig. 124) ein hufeisenförmiger Magnet (sog. Feldmagnet, da er das magnetische Feld erzeugt),  $ns$  ein ebensolches Eisenstück (sog.

<sup>1)</sup> τῆλε fern, φωνέω sprechen.

Induktor oder Anker), um dessen Schenkel zwei miteinander verbundene Drahtrollen gewickelt sind, so entstehen während einer ganzen Umdrehung

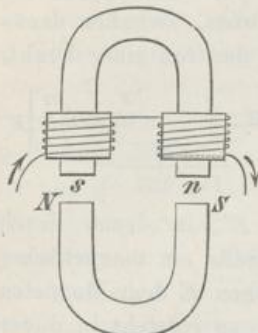


Fig. 124.

von  $ns$  in dem Drahte zwei entgegengesetzt gerichtete Ströme. Denn während einer halben Umdrehung nähert sich ja die eine Rolle dem Nordpol des Magneten, die andere dem Südpol. Bei geeigneter Wicklung des Drahtes entsteht aus den beiden Impulsen ein einziger Strom in bestimmter Richtung, die sich bei der nächsten halben Umdrehung natürlich ändern muß. Solche Maschinen liefern also Wechselströme; um ihnen gleiche Richtung zu geben, wendet man einen sog. Kommutator an. Eine derartige von STÖHRER verbesserte Maschine wird noch heute zu medizinischen Zwecken gebraucht.

Bedeutend erhöht wurde die Wirksamkeit dieser Maschinen, als WILDE an Stelle der gewöhnlichen Magnete Elektromagnete anwandte. Dann führte SIEMENS einen großen Aufschwung herbei, indem er den Induktor, dem er eine zylindrische Form gab, zwischen den ausgehöhlten Polen des Magneten rotieren ließ, so daß beide einander immer möglichst genähert bleiben, vor allem aber durch Entdeckung des Dynamoprinzips. Dasselbe besteht darin, daß man den durch Drehung des Induktors in diesem entstandenen Strom um den Hufeisenmagneten (bezw. um ein hufeisenförmiges Stück von weichem Eisen, das ja infolge des Erdmagnetismus stets eine Spur Magnetismus enthält) herum leitet und somit dessen magnetische Wirkung verstärkt. Diese erhöht wieder die Wirksamkeit des Induktionsstroms, und so setzt sich dieser Zirkulus fort bis zur magnetischen Sättigung des Eisens. Hierauf beruhen die sog. Dynamomaschinen.

Während in allen diesen Maschinen Wechselströme erzeugt werden, kann man mittels des Pacinotti'schen oder Gramme'schen Ringes durch Induktion auch Gleichströme erhalten.

Derselbe besteht aus einem Ringe von weichem Eisen, der zwischen den Polen  $N$  und  $S$  (Fig. 125) eines starken Magneten um seine eigene Achse rotiert. Um den Ring sind zahlreiche Gruppen von Drahtwindungen (in der Figur nur vier), alle nach derselben Richtung gewickelt; das Ende einer jeden ist in der Achse mit dem Anfange der nächsten leitend verbunden, indem sie an eine entsprechende Zahl von isolierten Metallstreifen angelötet sind. Dieser mittlere Teil des Apparates heißt Kollektor. Rotiert der Ring, so müssen in den Drahtwindungen der oberen Hälfte entgegengesetzte Ströme entstehen wie in den unteren. Diese entgegengesetzt gerichteten Ströme stoßen nun an den Stellen  $p$  und  $p'$  zusammen, welche somit als die Pole zweier nebeneinandergeschalteter galvanischer Elemente aufgefaßt werden können. Ebenso wie bei solchen wird auch beim GRAMME'schen Ring die Elektrizität abgeleitet, indem in Höhe von  $p$  und  $p'$  zwei Metallstücke, die

Gramme  
Abb. 247

Gramme  
Abb.  
243.  
244.

sog. Bürsten, am Kollektor schleifen. Es entsteht somit ein stets gleichgerichteter Strom von  $b$  nach  $a$ .

Die durch eine solche Maschine aus mechanischer Arbeit gewonnene Stromenergie kann in einer zweiten wieder in mechanische Arbeit zurückverwandelt werden, indem sie hier elektromagnetische Wirkungen ausübt. Auf diese Weise kann also eine Kraftübertragung erzielt werden.

§ 191. **Licht und Elektrizität.** Die Umwandlung von Elektrizität in Licht ist bei den Glühlampen, dem DAVY'schen Lichtbogen, den Teslaströmen bereits beschrieben

worden, desgleichen haben die merkwürdigen Kathoden- und X-Strahlen Erwähnung gefunden. Außerdem existieren noch viele andere Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität. So wird z. B. die Ebene polarisierten Lichts durch Magnete und elektrische Ströme abgelenkt (FARADAY), ferner können durch Belichtung elektrische Ströme entstehen, und im Selen wird dadurch der Leitungswiderstand verringert. Bemerkenswert ist auch, daß sich die elektrostatischen Maße von den elektromagnetischen durch die sogenannte „kritische Geschwindigkeit“ unterscheiden, die mit der Lichtgeschwindigkeit identisch ist [s. Anhang]. Gestützt auf diese und andere Tatsachen und Überlegungen, hat MAXWELL eine elektromagnetische Lichttheorie aufgestellt, die immer mehr Anhänger gewinnt. Hiernach wäre die Fortpflanzung des Lichts als elektrodynamische Wellenbewegung aufzufassen, indem die einzelnen Ätherteilchen nacheinander in denselben elektrischen Zustand geraten.

§ 192. **Wellen elektrischer Kraft.** Diese MAXWELL'sche Theorie fand vor allem durch die genialen Versuche von HERTZ ihre Bestätigung, der nämlich nachwies, daß in der Tat von oszillierenden Funkenentladungen elektrische Wellen ausgehen, die ebenso wie die Lichtwellen den Gesetzen der Reflexion, Brechung, Interferenz und Polarisation folgen und auch die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit

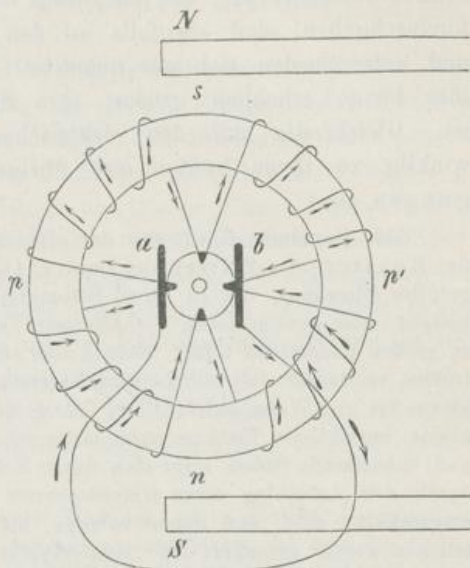


Fig. 125.

keit, nämlich ca. 300 000 km in 1 Sekunde, besitzen. Diese Wellen elektrischer Kraft, die nur durch Isolatoren, nicht durch Metalle hindurchgehen, sind ebenfalls an den Äther als Substrat gebunden und unterscheiden sich nur quantitativ von den Lichtwellen, indem ihre Länge erheblich größer, ihre Schwingungszahl also kleiner ist. Gleichzeitig mit den elektrischen Schwingungen und rechtwinklig zu ihnen breiten sich übrigens magnetische Schwingungen aus.

Zum bequemen Nachweise der elektrischen Wellen in der Luft dient der Kohärer oder Fritter von BRANLY. Es ist dies eine mit Metallspänen gefüllte Glasröhre, die in einen Stromkreis eingeschaltet wird. In diesem besteht unter gewöhnlichen Verhältnissen kein Strom, da der Kohärer einen zu großen Widerstand bildet. Sobald aber elektrische Wellen auf den Kohärer treffen, verringert sich sein Leitungswiderstand auf eine noch nicht ganz geklärte Art und Weise beträchtlich, indem die Metallteilchen (vielleicht durch kleine unsichtbare Funken zusammengeschweißt) kohärenter werden. Der nun entstehende Strom zeigt sich durch Ertönen einer elektrischen Klingel, durch den Ausschlag eines Galvanometers etc. an, die in den Stromkreis eingeschaltet sind, und dauert solange, bis der Zusammenhang der Metallteilchen wieder gelockert ist. Man erreicht dies z. B. durch Beklopfen mit der Hand; praktischer läßt man es automatisch durch den Klöppel einer elektrischen Klingel besorgen, deren Stromkreis beim Ausschlag der Galvanometernadel geschlossen wird. Schaltet man nun noch in die Leitung einen Morse-Telegraphen ein, so kann man, ohne einen Leitungsdraht zu benutzen, telegraphieren, indem je nach der Dauer der Funkenentladung Punkte bzw. Punktreihen auf der Empfangsstation entstehen. Diese Methode der Telegraphie ohne Draht, die also weiter nichts ist wie die praktische Anwendung der HERTZ'schen Versuche, wurde zuerst von MARCONI ausgebildet, der ihre Brauchbarkeit auch noch dadurch erhöhte, daß er den einen Pol (sowohl der Funkenstrecke auf der Aufgabestation wie des Kohäriers auf der Empfangsstation) zur Erde ableitete und von den beiden anderen Polen je einen (bis 50 m) langen Draht („Antenne“) senkrecht in die Luft führte. In letzter Zeit wurde ein weiterer Fortschritt dadurch erzielt, daß man die Zahl der Funkenoszillationen, und damit auch die Länge der ausgesandten elektrischen Wellen beliebig und bequem modifizieren lernte und erkannte, daß die Antennen nur dann Zweck haben, wenn ihre Länge auf die Länge der elektrischen Wellen „abgestimmt“ ist. Auf der Antenne der Aufgabestation entstehen nämlich stehende elektrische Wellen, die sich am kräftigsten in die umgebende Luft ausbreiten, wenn am Ende der Antenne gerade ein Schwingungsbauch ist (wenn also z. B. die Länge der Antenne  $\frac{1}{4}$  der Wellenlänge ist). Befindet sich nun auf der Empfangsstation eine entsprechend lange Antenne, so entstehen hier beim Auftreffen der Wellen durch „Resonanz“ ebenfalls stehende Wellen und zwar um so stärker, je genauer die Abstimmung ist.

*Samuel  
ab. 477*

*Leh. d. Ph.  
ab. 1142*