

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 Influenzwirkung¹ 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.

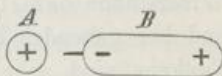


Fig. 104.

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. **Elektrisiermaschine.** Auf diesem Prinzipie beruht z. B. die Elektrisiermaschine. 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 Elektrisiermaschine kann man größere Elektrizitätsmengen erhalten; sie bietet daher Gelegenheit zu zahlreichen Versuchen. Hier soll nur auf die Entladung und ihre

¹ *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 Luftpolektrizität 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 Luftpolektrizität oder, beim sogenannten Einschlagen, durch Vereinigung von Luftpolektrizität mit der entgegengesetzten eines irdischen Gegenstandes, besonders des Grundwassers, entsteht. Die Luftpolektrizität 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 Kollektor¹- und Kondensatorplatte² 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 Dielektrikum³ 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.

¹ colligo sammeln.

² condense verdichten.

³ 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

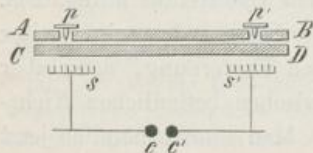


Fig. 106.

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 proportionnal; 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.