

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 Volt¹ (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,

$$Q = J^2 W.$$

¹ 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

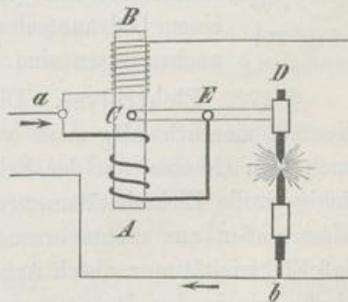


Fig. 113.

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 Thermostromes¹ 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.*

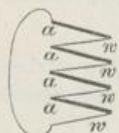


Fig. 114.

§ 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

¹ 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 Elektrolyse¹). 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 hiernach² 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

¹ λύσις Auflösung, Zersetzung.

² 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 Voltameter. Beim Knallgasvoltameter mißt man die Menge des durch Wasserzersetzung entstandenen Knallgases, beim Silbervoltameter 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.*