

schwingt? — 5. Eine Magnetnadel mache zunächst 30 Schwingungen in 1 Min.; nachdem sie von neuem magnetisiert worden, betrage die Schwingungszahl 40. Wievielmals so stark ist der Magnetismus der Nadel geworden? — 6. Eine Dekl.-Nadel mache an einem Orte 40, an einem anderen 60 Schwingungen in 1 Min. Wie verhalten sich die magnetischen Kräfte zu einander, welche auf die Nadel einwirken? — 7. Wie verhält sich der auf die Dekl.-Nadel einwirkende Teil des Erdmagnetismus zu der Wirkung eines Magnetpols, vor welchem eine Magnetnadel 90 Schwingungen in 1 Min. ausführt, wenn die Nadel ohne Magnet in 1 Min. 40 Schwingungen macht; — 8. Welche Lage werden Stäbchen von Eisen, Nickel, Wismut oder Kupfer annehmen, wenn man sie zwischen den Polen eines starken Magnets (Elektromagnets) leicht beweglich aufhängt? — 9. Wie lassen sich nach der Annahme von „Molekularmagneten“ die Erschn. der magn. Verteilung (§ 38) erklären?

## VII. Abschnitt.

### Die Lehre von der Elektrizität.

#### A. Reibungs-Elektrizität.

(I. Lehrstufe, §§ 40–49.)

#### B. Berührungs-Elektrizität oder Galvanismus.

**§ 134. Grundversuche.** Die Erscheinungen der elektrischen Verteilung (Influenz, § 43) nötigen zu der Annahme, daß die Elektrisierung eines Körpers in einer Trennung der in ihm vorhandenen Elektrizitäten besteht. Bis Ende des vorigen Jahrhunderts kannte man nur die Reibung als eigentliches Mittel zu einer solchen Trennung der Elektrizitäten. Da fand *Volta*, daß man leitende Körper auch ohne Reibung in den elektrischen Zustand versetzen könne, weil die bloße Berührung zweier Metalle mit einem feuchten Leiter (Säure oder Salzlösung) eine Elektrizitätsquelle sei. Die auf diese Weise erzeugte Elektrizität nennt man seitdem **Berührungselektrizität** oder auch **galvanische Elektrizität**, da *Volta* durch einen Versuch *Galvanis* zu seinen Untersuchungen angeregt worden war.

Fig. 474 stellt eine zur Erzeugung galv. E. geeignete Vorrichtung dar, ein sogen. **galvanisches Element**. Die beiden Metalle, Zink (Z) und Kupfer (K), sind in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht und durch einen Leitungsdraht (M) verbunden.

Fig. 474.

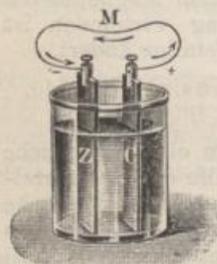
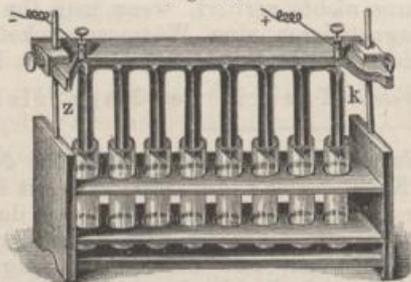


Fig. 475.



Kräftigere Wirkungen erzielt man durch eine **galvanische Batterie** oder **galvanische Kette**, d. h. eine Zusammenstellung von Elementen derart, daß immer die Zinkplatte des einen mit der Kupferplatte des nächsten verbunden ist (Fig. 475). Die beiden

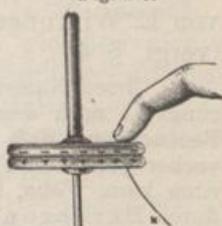
freistehenden Endplatten heißen die **Pole** der Batterie. Werden dieselben durch einen Leitungsdraht (Schließungsbogen) verbunden, so heißt die Batterie geschlossen (im anderen Falle offen).

Statt der Kupferplatten verwendet man auch harte Kohle (sogen. Gaskohle) und als Erregungsflüssigkeit Chromsäure.

#### Nachweis der Berührungs-Elektricität.

**Versuch a.** Ist einer der beiden Enddrähte einer galv. Batterie mit der Erde leitend verbunden, so läßt sich mit Hülfe eines Voltaschen Kondensators durch den anderen Draht ein *Ausschlag der Blättchen* eines Elektroskopes bewirken, indem man nach Fig. 476 verfährt und, nachdem man die Kondensatorplatten einen Augenblick berührt hat, die obere abhebt.

Fig. 476.



Die Elektricität der Blättchen erweist sich als positiv, wenn dieselben mit dem von der Kupfer- oder Kohlenplatte herkommenden Drahte verbunden werden, während der mit dem Zinkpol verbundene Draht negative E. liefert. Legt man beide Drähte gleichzeitig an die Kondensatorplatten, so nehmen diese ebenfalls eine el. Ladung an, wie sich auch durch ihre Einwirkung auf ein el. Pendel nachweisen läßt.

**Versuch b.** Hält man den Schließungsdraht nahe über oder unter eine Magnetnadel in einer der Nadel parallelen Richtung, so beobachtet man eine *Ablenkung der Nadel*.

**Versuch c.** Schaltet man zwischen den beiden Polen der Batterie einen umsponnenen und schraubenförmig gewundenen Kupferdraht ein, in dessen Windungen ein Eisenstäbchen liegt, so nimmt letzteres *magnetische Eigenschaften* an (vergl. Fig. 173).

Zur Hervorrufung dieser magnetischen Erscheinungen genügt ein einzelnes Plattenpaar.

**Versuch d.** Wird an jedem der beiden Polen ein zugespitztes Stückchen Coaks oder harter Gaskohle befestigt, so ist bei Berührung der Kohlenspitzen ein kleiner, *hell leuchtender Funke* wahrnehmbar. Die Kohlenstäbchen selbst werden heiß.

**Versuch e.** Taucht man die beiden Drahtenden, ohne daß sie sich berühren, in Gläschen mit verdünnter Schwefelsäure, so sieht man nach einiger Zeit an dem einen Drahte eine *Entwicklung von Gasbläschen*, während der andere Draht eine hellere Färbung annimmt und sich an seiner Oberfläche verändert. Der Versuch läßt erkennen, daß die Elektricität in der Säure eine *chemische Zersetzung* hervorbringt.

Diese Wirkung, sowie die *Licht- und Wärmewirkung* beim vorhergehenden Versuche ist indes nur dann kräftig und leicht erkennbar, wenn die Batterie eine genügende Anzahl von Plattenpaaren vereinigt.

Eine Vergleichung der Wirkungen der Berührungselektricität mit denen der Reibungselektricität zeigt bemerkenswerte Verschiedenheiten beider. Anziehung und Abstofsung leichter Körper ist durch die letztere sehr leicht hervorzurufen; um dagegen mittelst galvanischer E. eine bemerkbare, wenn auch nur ganz schwache Anziehung oder Abstofsung

hervorzubringen, ist ein Kondensator zu Hilfe zu nehmen. Während die Wirkung verhältnismäßig schwacher Entladungen von Reibungs-E. auf den menschlichen Körper recht empfindlich sein kann, bedarf es größerer Mengen von galv. E. oder besonderer Bedingungen ihrer Einwirkung, ehe sich dieselbe durch eine Nervenreizung äußert (physiologische Wirkung). Auch das Überspringen eines Funkens an der Unterbrechungsstelle erfolgt leichter und auf größere Entfernung durch Reibungs-E., dagegen sind die magnetischen und chemischen Wirkungen der Berührungs-E. weit kräftiger als die der Reibungs-E.

Trotz dieser und noch anderer Verschiedenheiten zeigen beide Arten von E. Wirkungen, die in den wesentlichen Bedingungen übereinstimmen (vergl. § 48).

Ihren Namen galvanische Elektrizität (Galvanismus) hat die Berührungs-E. nach dem italienischen Arzte *Galvani* erhalten. Dieser machte 1789 die Beobachtung, daß der an einem kupfernen Haken aufgehängte Schenkel eines kurz vorher getöteten Frosches zuckte, wenn er mit einem eisernen Geländer in Berührung kam. *Volta*, Professor in Pavia, fand den Grund dieser Erscheinung darin, daß durch Berührung der Metalle E. erregt werde. Die von ihm (1800) zur Hervorbringung starker el. Wirkungen erfundene Vorrichtung bestand aus zahlreichen, aufeinander geschichteten Doppelplatten von Kupfer und Zink, welche durch angefeuchtete Tuchlappchen voneinander getrennt waren: Voltasche Säule.

Eine aus galv. Elementen zusammengesetzte Batterie von Zink- und Kupferplatten in verdünnter Schwefelsäure wird Voltasche Batterie genannt (Fig. 475).

Bem. In den folgenden Paragraphen ist nur auf die zwischen Flüssigkeiten und festen Leitern stattfindende E.-Erregung Rücksicht genommen.

**Übungstoff.** 1. Warum muß die isolierende Schicht des Kondensators, wenn man mit demselben die Berührungs-E. nachweisen will, bedeutend dünner sein, als es für Reibungs-E. erforderlich wäre? — 2. Mit welchen Teilen der Elektrisiermaschine lassen sich die Pole einer galv. Batterie vergleichen? — 3. Was hat bei beiden a. die Einschaltung eines guten Leiters, b. die leitende Verbindung mit der Erde zur Folge? — 4. Angenommen, bei Versuch a dieses Paragraphen hätte man nicht die untere, sondern die obere Platte des Kondensators mit einem Poldrahte der Batterie verbunden und die untere Platte ableitend berührt: welchen Einfluß würde dies auf das Ergebnis des Versuches ausüben? (Zeichnung!) — 5. Durch die Kraft einer abgeschossenen Kugel läßt sich eine offene Thür nicht schließen, wohl aber durch einen leichten, andauernden Druck mit dem Finger. Inwiefern läßt sich dies mit dem Durchschlagen von Glas (Fig. 175) und der Ablenkung der Magnetnadel durch E. vergleichen? — 6. Man kann die Wirkung der Reibungs-E. mit dem Sturz eines Wasserfalles, die der Berührungs-E. dagegen mit der Strömung eines ruhig fließenden Gewässers vergleichen. Inwiefern?

**§ 135. Elektrischer Zustand. Elektromotorische Kraft. Galvanischer Strom.** Über die Elektrizitätserregung, welche bei der Berührung von Metallen und Flüssigkeiten stattfindet, sind unter Anwendung sehr empfindlicher Elektrometer äußerst sorgfältige Untersuchungen angestellt worden. Dieselben haben folgendes ergeben:

a. Wird ein Kupfer- oder ein Zinkstreifen in verdünnte Schwefelsäure getaucht, so läßt sich an dem freien Teile des Metalles — E., in der Flüssigkeit + E. von gleicher Spannung nachweisen; bei der Einwirkung der Säure auf Zink ist jedoch die Spannung 10 mal so groß als bei der Einwirkung auf Kupfer.

b. Taucht man beide Metalle, ohne dafs sie sich berühren, zugleich in die Flüssigkeit (Fig. 477), so ist nur noch das Zink — el., während das Kupfer die + E. der Flüssigkeit angenommen hat; die Spannungen sind einander gleich, aber um soviel schwächer, als vorher die Spannung der E. des Kupfers allein betrug. Dies erklärt sich dadurch, dafs die an den Berührungsflächen erregten Elektricitäten durch die elektricitäts-erregende Kraft nach entgegengesetzten Richtungen getrieben werden, also vom — el. Kupfer aus die schwache + E. nach dem Zink, vom — el. Zink aus die 10 mal so starke

+ E. der Flüssigkeit nach dem Kupfer. Infolgedessen gleichen sich in beiden Metallen gleiche Mengen entgegengesetzter Elektricitäten aus und die Spannung nimmt um ebensoviele ab, als die Spannung der schwächeren E. allein betragen haben würde. Es ist also geradeso, als ob nur durch die Einwirkung der Säure auf das am leichtesten auflösbare Metall (Zink) E. erregt würde und das Kupfer lediglich dazu diente, die + E. der Säure weiter zu leiten. Ähnliches gilt auch von allen anderen galv. Elementen.

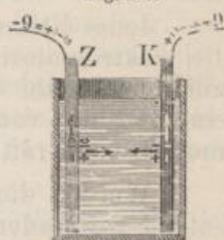


Fig. 477.

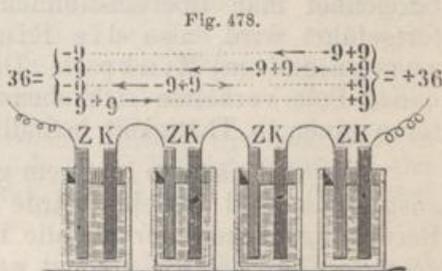


Fig. 478.

Werden mehrere galv. Elemente so zu einer Batterie zusammengesetzt, dafs die ungleichnamigen Metalle je zweier benachbarten Elemente leitend verbunden sind (Fig. 475 und 478), so ist die el. Spannung sovielmal so grofs als die eines einzelnen Elementes, als die Zahl der Elemente beträgt (von Widerständen [§ 137] abgesehen).

Die Spannung der galvanischen E. hängt von der Natur der E.s-Erreger ab und wächst mit der Zahl der ungleichnamig verbundenen Elemente; sie ist aber unabhängig von der Gröfse der Erregungsflächen.

Durch verdünnte Schwefelsäure als Erregungsflüssigkeit werden auch andere darin auflösbare Leiter im allgemeinen ebenso wie Zink — el., aber um so schwächer, je weniger sie von der Säure aufgelöst werden. Nach der Stärke der durch sie bewirkten el. Spannung hat man sie in folgende Reihe (*Spannungsreihe*) geordnet: Zink, Eisen, Zinn, Blei, Aluminium, Nickel, Antimon, Wismut, Kupfer, Silber, Platin. In dieser Reihe wird Zink durch die Säure am stärksten, Platin am schwächsten el., die übrigen Glieder um so schwächer, je weiter sie vom Zink abstehen. Sind Metalle dieser Reihe in verdünnter Schwefelsäure zu einem galv. Element vereinigt, so wird nur das am leichtesten oxydierbare Metall (neg. Pol) aufgelöst, während das andere Metall (pos. Pol), da es die E. der Flüssigkeit annimmt, vor der Auflösung geschützt ist. (Die Zerstörung von Zinkblech wird in feuchter Luft durch die Berührung mit Eisen befördert. Eisen und Stahlwaren lassen sich durch Beimischung von Zink gegen das Rosten schützen.)

In den elektrischen Zuständen der Platten eines Elementes oder einer Batterie besteht demnach eine gewisse Spannung oder ein Unterschied, welcher von der Art der verwendeten Metalle und von der Erregungsflüssigkeit abhängig ist.

Man nennt diesen Unterschied der el. Zustände die **elektromotorische** (d. h. „Elektrizität bewegende“) **Kraft** des Elementes.

Jedes Element hat demnach eine bestimmte elektromotorische Kraft; die elektromotorische Kraft einer Batterie wächst in geradem Verhältnis mit der Anzahl der Elemente, welche man zur Batterie zusammenstellt; eine Batterie von 3 Elementen z. B. hat eine 3mal so große elektromotorische Kraft wie ein einzelnes Element derselben Art.

Werden die Pole eines galv. Elementes oder einer galv. Batterie leitend verbunden (Fig. 474), so fließt die Elektrizität durch den Schließungsdraht von dem einen Pol zum anderen und es entsteht ein **el. (galvanischer) Strom**. Die Einwirkung auf eine Magnetnadel, die in jedem Punkte des Schließungsbogens stattfindet, beweist z. B., daß durch denselben ein el. Strom fließt. Als Richtung des Stromes bezeichnet man übereinstimmend diejenige, in der die positive E. fortgeführt wird, also die Richtung vom (positiven) Kupferpol zum (negativen) Zinkpol. Die durch den Schließungsbogen verbundenen Pole verhalten sich ebenso wie die leitend verbundenen Konduktoren einer in Thätigkeit befindlichen Elektrisiermaschine.

Die el. Zustände in einem geschlossenen Element würden sich sofort ausgleichen und dasselbe würde unelektrisch werden, wenn nicht an den Berührungsflächen der Metalle mit der Flüssigkeit aufs neue entgegengesetzte Elektrizitäten erzeugt würden, die sich wieder ausgleichen u. s. f. Demnach müssen wir in dem an der Oberfläche des Zinks stattfindenden (chemischen) Vorgang die eigentliche Quelle der el. Erregung suchen.

Bem. Die Theorie *Voltas*, daß durch bloße Berührung zweier Metalle E. entstehen könne (**Kontakttheorie**), ist dementsprechend geändert worden in dem Sinne, daß man die chemischen Vorgänge als Ursache der Berührungs-E. ansieht (**elektrochemische Theorie**). Die elektromotorische Kraft ist mithin auf chemische Prozesse zurückzuführen.

**Übungsstoff.** 1. Wie ist es zu erklären, daß die el. Spannung an den Polen eines Voltaschen Elementes kleiner ist als die Spannung, welche man erhält, wenn eine Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure getaucht wird? — 2. Welche Spannung ergibt sich (durch Rechnung nach obiger Anleitung), wenn man eine aus 8 Volt. Elementen bestehende Batterie anwendet? — 3. Warum erhält man durch Eintauchen zweier Platten von gleichem Metalle keine el. Wirkung? — 4. In Fig. 477 und 478 sei a. Zink durch Eisen, b. Kupfer durch Platin ersetzt. Einfluß auf die el. Spannung? — 5. Wenn W. mittelst einer Pumpe gehoben und in einem Behälter angesammelt wird, so übt es zunächst auf die Wandung einen Druck aus; beim Abfließen aus einer nahe am Boden des Behälters befindlichen Öffnung vermag es gewisse Widerstände zu überwinden. Damit andauernd die gleichen Widerstände überwunden werden können, muß das W. im Behälter durch fortgesetztes Pumpen in derselben Höhe gehalten werden. Dies läßt einen Vergleich zu mit den Vorgängen im galv. Elemente: Was entspricht a. der zum Heben des W. dienenden Kraft, b. dem Drucke des W., c. dem Abfließen des W., d. der Arbeitsleistung? e. Was ist zu einer andauernden gleichen Arbeitsleistung erforderlich? — 6. Die Größe des Druckes, welchen die ruhende Flgk. bei derselben Höhe auf gleiche Teile der Bodenfläche ausübt, hängt von der Natur der Flgk. ab (inwiefern?); bei derselben Flgk. läßt sich der Druck dadurch vergrößern, daß man den Behälter höher mit der Flgk. füllt und zu diesem Zwecke mehrere Pumpen zugleich anwendet. Je größer der Druck ist, desto stärker fließt das W. aus. Benutze diese Angaben wiederum zu einem Vergleiche!

**§ 136. Konstante Elemente. Galvanoskop und Galvanometer.** Für den praktischen Gebrauch galvanischer Elemente ist es wichtig, daß die erzeugten Ströme die nötige Stärke haben und andauernd wirken. Die letztere Eigenschaft haben die Ströme Voltascher Elemente nicht, wie sich durch einen Versuch leicht nachweisen läßt. (Schaltet man in den Schließungsbogen eines solchen Elementes ein Galvanoskop (siehe Fig. 483) ein, so erhält man zwar zunächst einen kräftigen Ausschlag, der jedoch schon nach kurzer Zeit bedeutend an Gröfse abnimmt.)

Die schnelle Abnahme der Stromstärke Voltascher Elemente erklärt sich durch die chemischen Vorgänge, welche im Element stattfinden. Das Wesentliche hierbei ist, daß sich das Zink in der Schwefelsäure auflöst, wobei sich Wasserstoff in Form kleiner Bläschen ausscheidet, welche sich auf der Kupfer- oder Kohlenplatte ablagern. Die Wasserstoffschicht wirkt nicht nur als schlechter E.s-Leiter hemmend auf die el. Bewegung ein, sondern entwickelt auch eine elektromotorische Kraft, die der Kraft des Elementes entgegenwirkt, also den Strom schwächt. Man nennt diesen Vorgang **Polarisation** (vergl. § 139)

An die Stelle des Wasserstoffs der Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) tritt Zink. Dadurch entsteht schwefelsaures Zink (Zinkvitriol), das sich in der Flüssigkeit auflöst. Der Wasserstoff dagegen wird frei. Dieser chemische Vorgang wird durch die Formel ausgedrückt:  $H_2SO_4 + Zn = ZnSO_4 + H_2$ .

Die schädliche Wirkung des im galv. Elemente frei werdenden Wasserstoffs wird dadurch aufgehoben, daß man ihn wieder in eine chemische Verbindung überführt. Hierzu eignen sich besonders sauerstoffreiche *Säuren* (in den Elementen b und c) und leicht zersetzbare *Metalloxyde* (e), welche sehr leicht Sauerstoff abgeben, der sich dann mit dem Wasserstoff zu Wasser verbindet; ferner *Metallsalze* (a und d), aus denen das Metall durch den frei gewordenen Wasserstoff, der an die Stelle des Metalles tritt, leicht verdrängt wird. Da jedes Metall durch Berührung mit einer Flüssigkeit elektrisch wird, so kann man die Metalle auch in zwei verschiedene Flüssigkeiten eintauchen, welche in leitender Berührung sind. Elemente dieser Art heißen **konstante**, weil sie längere Zeit einen Strom von nahezu gleicher Stärke liefern. Ihre elektromotorische Kraft ist von der Art der Metalle und der der Flüssigkeiten abhängig.

Die wichtigsten konstanten Elemente sind:

a. Das **Daniellsche Element** (Fig. 479). Die beiden Metalle sind Zink und Kupfer; ersteres steht in verdünnter Schwefelsäure, letzteres in einer konzentrierten Lösung von Kupfervitriol. Beide Flüssigkeiten sind durch einen Becher aus leicht gebranntem Thon voneinander getrennt, sodafs sie sich durch die poröse Scheidewand gegenseitig berühren können, ohne sich jedoch zu mischen. Aus der Kupfervitriollösung scheidet sich metallisches Kupfer aus, das sich auf der Kupferplatte niederschlägt.



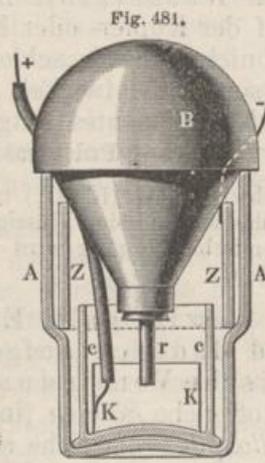
Fig. 479.

Der aus der Schwefelsäure frei gewordene Wasserstoff tritt an die Stelle des Kupfers der Kupfervitriollösung, sodafs Schwefelsäure und metallisches Kupfer entsteht ( $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Cu}$ ).

b. Das **Grovesche Element** besteht aus einer Zink- und einer Platinplatte, von denen erstere in verdünnter Schwefelsäure, letztere in konzentrierter Salpetersäure (wie beim vorigen Element von einer Thonzelle eingeschlossen) steht. (Elektrom. Kraft ungefähr = 1,7 Daniell.)

Die Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) giebt leicht einen Teil ihres Sauerstoffes ab; dieser verbindet sich mit dem frei gewordenen Wasserstoffe der Schwefelsäure zu Wasser. Hierbei verwandelt sich die Salpetersäure nach und nach in salpetrige Säure, welche in (gesundheitsschädlichen) roten Dämpfen entweicht.

c. Das **Bunsensche Element**.



Die ursprüngliche Einrichtung desselben unterscheidet sich von der des Groveschen Elementes nur dadurch, daß statt des Platins die sehr harte Gaskohle angewandt wird. (Elektrom. Kraft ungefähr = 1,7 Daniell.)

Bei der verbesserten Einrichtung (sogen. Flaschenelement, Fig. 480) wird die Salpetersäure durch eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali in verdünnter Schwefelsäure ersetzt, oder eine solche Lösung allein (ohne Thonzelle) angewandt: **Chromsäure-Elemente**. Chromsäure giebt ähnlich wie Salpetersäure (aber ohne Bildung schädlicher Dämpfe) leicht Sauerstoff ab und macht dadurch den Wasserstoff un-

schädlich. Die Stromstärke ist nicht so

andauernd wie bei Anwendung von Sal-

petersäure.  
d. Das **Meidingersche Element** (Fig. 481) enthält wie das Daniellsche Element eine Zink- und eine Kupferplatte. Das Zink (Zn) befindet sich in einer Bittersalzlösung und das Kupfer (K) in einer Lösung von Kupfervitriol. Letztere ist in einem kleinen, am Boden des großen Gefäßes (A) stehenden Glase (c) enthalten, in welches der Hals eines umgekehrten, mit Kupfervitriolkrystallen und Bittersalzlösung gefüllten Deckelgefäßes (B) hineinragt. (Elektrom. Kraft etwa = 1 Daniell.)

Nachdem das Element gefüllt ist, fangen die Kupfervitriolkrystalle an, sich in dem Wasser der im Deckelgefäße enthaltenen Bittersalzlösung aufzulösen. Hierbei fließt die entstehende Lösung wegen ihres höheren spec. Gewichtes durch die Glasröhre nach und nach in das am Boden stehende Gefäß (c) und verdrängt die aufsteigende Bittersalzlösung aus dem Glase. Hat sich dieser Vorgang solange fortgesetzt, bis der Kupfercylinder beinahe ganz in Kupfervitriollösung steht, so ist das Element zum Gebrauche geeignet. Wird durch den el. Strom des Elementes Kupfer aus der Lösung ausgeschieden, so setzt sich jener Austausch dadurch fort, daß die ungeättigte Lösung in der speciell schwereren aufsteigt. Auf diese Weise behält die Flüssigkeit lange Zeit nahezu die gleiche Beschaffenheit. Damit sich nicht auch am Drahte Kupfer niederschlagen kann, ist derselbe mit Guttapercha überzogen.

e. Das **Element von Leclanché** enthält wie das Bunsensche Element Zink und Kohle; ersteres steht in einer konzentrierten Lösung

von Salmiak, letztere in einem groben Pulver aus Braunstein und Coaks. (Elektrom. Kraft ungefähr = 1,4 Daniell.)

Man füllt das Gefäß etwa zu  $\frac{1}{4}$  mit Braunsteinstückchen und bis nahe zum Rande mit Salmiaklösung. In letztere wird das Zink, in erstere die Kohle gestellt.

Braunstein oder Manganüberoxyd ( $MnO_2$ ) giebt wie Salpetersäure und Chromsäure leicht Sauerstoff ab, welcher sich mit dem aus Salmiak ( $NH_4Cl$ ) frei gewordenen Wasserstoffe zu Wasser verbindet. Von dem sich ebenfalls ausscheidenden Ammoniak und Chlor verbindet sich letzteres mit dem Zink zu Chlorzink.

Bem. Bei allen Elementen wird die Zinkplatte vor dem Gebrauche amalgamiert. Alle Verbindungen der Stromleitungen müssen metallisch rein und durch Klemmschrauben gut befestigt sein.

Die Elemente von Grove und Bunsen liefern einen sehr starken Strom, welcher jedoch nur einige Stunden andauernd konstant ist. Weniger stark, aber länger (tagelang) konstant ist der Strom des Daniellschen Elementes (zur Galvanoplastik vielfach benutzt, § 139). Bei den Elementen von Meidinger und Leclanché, namentlich bei ersterem, ist der Strom noch schwächer, aber monatelang konstant (daher zur Telegraphie, sowie zum Betrieb el. Klingeln geeignet, § 142). In neuester Zeit werden zu derartigen Zwecken auch häufig die sogen. **Trockenelemente** angewandt. Sie enthalten keine Flüssigkeit, sondern eine eingedickte Masse und sind deshalb für den Gebrauch besonders bequem.

**Galvanoskop und Galvanometer.** Zum Nachweis galv. Ströme läßt sich am zweckmäßigsten die Magnetnadel verwenden. (Versuch b, § 134). *Instrumente, welche diesem Zwecke dienen, werden Galvanoskope genannt; wenn mittelst derselben die Stärke der Ströme gemessen werden kann, so heißen sie Galvanometer.*

Fig. 481 stellt ein einfaches *Galvanoskop* dar, das aus einem kleinen Kupferbügel und einer Deklinationsnadel besteht, die sich innerhalb des Bügels oder über demselben auf einer senkrechten Spitze frei bewegen kann.

Die Ablenkung der Nadel läßt zugleich die Richtung des Stromes erkennen und zwar nach einer sehr einfachen Gedächtnisregel:

Denkt man sich eine menschliche Figur in den Strom eingeschaltet, welche mit demselben schwimmt und das Gesicht der Nadel zuwendet, so schlägt der Nordpol der Nadel stets nach links aus: **Ampèresche Schwimmerregel** (vergl. Fig. 483)

Die Ablenkung der Magnetnadel durch den galv. Strom wurde 1820 von *Oersted* in *Kopenhagen* entdeckt und unmittelbar nachher von *Ampère* in *Paris* genauer erforscht.

Bei dem in Fig. 484 (folg. Seite) dargestellten *Galvanoskop* kann sich eine Inklinationsnadel in den Windungen zweier umspinnener Kupferdrähte von verschiedener Dicke frei drehen. (Der dünnere Draht umgiebt die Nadel in wenigstens 200 Windungen und ist für Induktionsströme (§ 141) bestimmt.) Damit die Ausschläge der Nadel deutlich wahrgenommen und die Ablenkungswinkel bequem

Fig. 482.

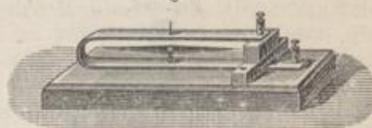
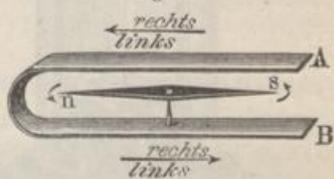
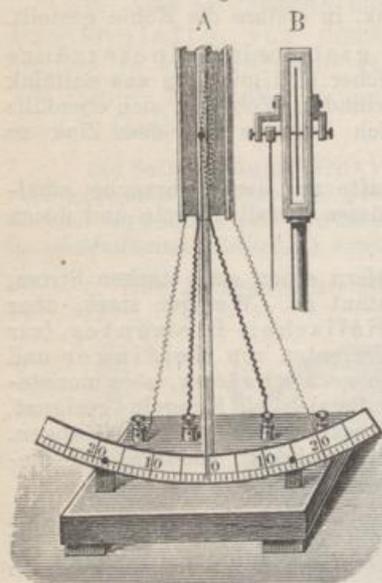


Fig. 483.



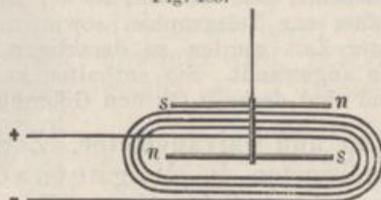
miteinander verglichen werden können, ist auf der drehbaren Achse der Nadel ein Zeiger befestigt, dessen Spitze sich auf einer Kreisteilung bewegt und die Größe des Ausschlages in Graden anzeigt.

Fig. 484.



Zum Nachweis äußerst schwacher Ströme dienen Galvanometer, welche ein an einem Coconfaden hängendes Nadelpaar enthalten (Fig. 485). Beide Nadeln sind möglichst gleichstark magnetisiert und mit ihren ungleichnamigen Polen parallel übereinander befestigt, so daß die untere Nadel zwischen, die obere über zahlreichen Drahtwindungen schwebt, die über einen kleinen hölzernen Rahmen gelegt sind

Fig. 485.

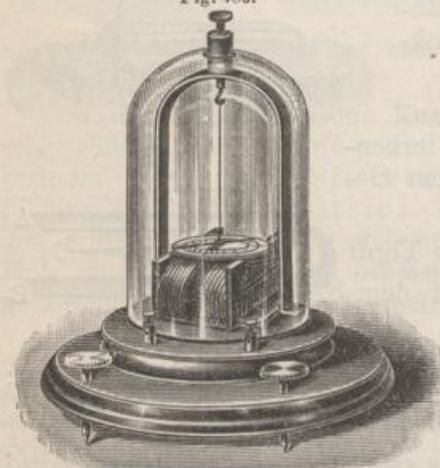


(vgl. Fig. 486). Dadurch ist die richtende Wirkung, welche der Erdmagnetismus auf die Nadeln

ausübt, aufgehoben; die Nadeln heißen deshalb *astatisch*, d. h. leicht *beunruhigt*.

Das Instrument bezeichnet man als **Multiplikator**, da die Einwirkung des Stromes auf die Nadel dadurch vervielfältigt wird, daß er die Windungen des Leitungsdrahtes durchläuft.

Fig. 486.



Der Multiplikator kann zum Nachweise und auch zur Messung sehr schwacher Ströme angewendet und mithin auch als Galvanometer gebraucht werden. Beträgt die Ablenkung der Nadel nur wenige Grade, so läßt sich das Verhältnis der Stromstärken dem Verhältnis der Ablenkungswinkel gleichsetzen. Bei stärkeren Ablenkungen der Nadel ist auf eine größere Stromstärke zu schließen, als die Zunahme des Winkels ergeben würde. Dies wird dadurch erklärlich, daß die Entfernung der Magnetpole von den Drahtwindungen mit der Stärke der Ausschläge der Nadel zunimmt.

Zur Messung stärkerer Ströme wendet man gewöhnlich die **Tangentenboussole** (Fig. 487, folg. Seite) an. Dieselbe ist ein Galvanometer, bei welchem im Mittelpunkte eines kreisförmigen kupfernen Reifens von 20–40 cm Durchmesser eine Deklinationsnadel aufgehängt ist. Damit die Entfernungen, aus denen der Strom auf die Nadel einwirkt, bei allen Stellungen der Nadel nahezu gleich sind, ist die Nadel höchstens  $\frac{1}{3}$  so lang als der Durchmesser des Reifens. Dies ergibt ein einfaches

Verhältnis zwischen Stromstärke und Ausschlag: Die Stromstärken verhalten sich zu einander wie die trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel (Fig. 488).†)

Fig. 487.

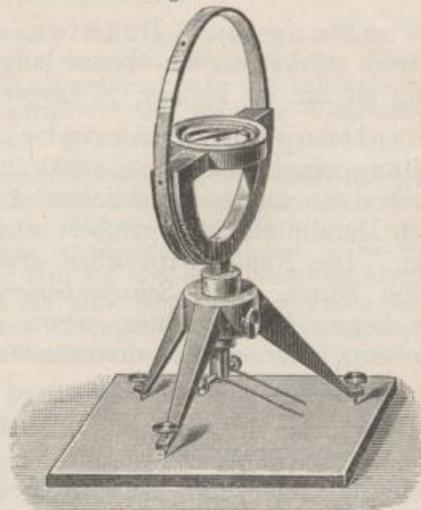
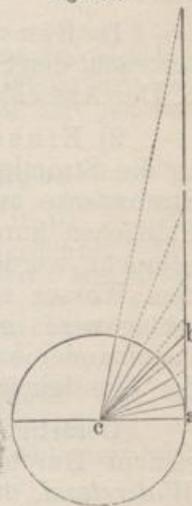


Fig. 488.



**Übungsstoff. 1.** Weshalb wendet man bei konstanten Elementen in der Regel zwei Flgkn. an? — 2. Welchen Zweck hat die Thonzelle, welche Beschaffenheit muß sie demnach haben und auf welche Weise kann sie geprüft werden? (Eine gute Thonzelle muß reines W. in 4 Minuten durchschlagen lassen.) — 3. Das käufliche Zink enthält gewöhnlich Beimischungen von Eisen und anderen Metallen. Inwiefern müssen dieselben die Stärke des Stromes vermindern und die Zerstörung der Zinkplatte befördern? —

4. Welchen Zweck hat demnach das Amalgamieren der Zinkplatten? — 5. Welchen Einfluß müßte es auf die Stromstärke eines Volt. Elem. ausüben, wenn man durch die Flgk. desselben andauernd einen Strom atm. Luft hindurchtriebe, u. w.? — 6. Der Einfluß des Wasserstoffs ist bei einem frisch zusammengesetzten Volt. Elem. erst bemerklich, nachdem der Strom einige Zeit gewirkt hat. Inwiefern erklärt sich dies aus der Einwirkung der an der Kupferplatte haftenden Luftschicht und der im W. gelösten Luft? — 7. Wenn die Kohlenplatten von Chromsäure-Elementen längere Zeit an der Luft gestanden haben, so ist die Stromstärke anfangs am größten, zeigt aber bald eine Abnahme. Erkl.! (Porosität der Kohle.) — 8. Um den Leitungswiderstand der Flgk. in Chromsäure-Elementen zu vermindern, bringt man die Platten nahe aneinander. Welchen Nachteil hat dies bei längerem Gebrauche? (Umschütteln.) — 9. Wie läßt sich mit Hilfe eines Galvanoskopes ein Blitzableiter prüfen? — 10. Welche Vorteile bieten folgende Einrichtungen eines Galvanometers: a. Anwendung einer astatischen Nadel; b. Aufhängung derselben an einem ungedrehten Seidenfaden; c. Bedeckung mit einer Glasglocke; d. Anwendung vieler Drahtwindungen?

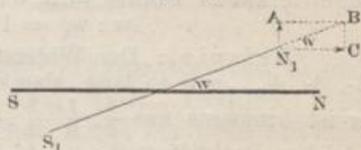
### § 137. Widerstand. Ohmsches Gesetz. Stromstärke.

*Leitungswiderstand. Versuche.* Schaltet man in den Schließungsbogen eines konstanten galv. Elementes außer einem Galvanoskop (Fig. 475)

†) Der Strom, welcher durch den im magn. Meridian stehenden Reifen fließt, gebe der Nadel die Lage  $S_1N_1$  (Fig. 489). Dann wirken auf jeden Pol 2 Kräfte ein, nämlich die richtende Kraft des Erdmagnetismus ( $P$ ) und die ablenkende Kraft des galv. Stromes ( $K$ ). Ersterer strebt die Nadel in der NS-Richtung zu erhalten, letzterer strebt sie senkrecht dazu zu stellen. In Fig. 489 seien diese Kräfte für den Nordpol durch  $N_1C$  ( $= P$ ) und  $N_1A$  ( $= K$ ) bezeichnet. (Die auf den Südpol wirkenden Kräfte sind entgegengesetzt gerichtet.) Die Nadel kommt zur Ruhe, wenn die Mittelkraft in die Richtung der Nadel selbst fällt. Ist nun  $w$  der Ablenkungswinkel, so ist  $K = P \cdot \tan w$ , für einen anderen Ablenkungswinkel ( $w_1$ ) ist ebenso  $K_1 = P \cdot \tan w_1$ . Folglich ist

$$K : K_1 = P \cdot \tan w : P \cdot \tan w_1 = \tan w : \tan w_1.$$

Fig. 489.



nacheinander verschiedene Metalldrähte und Flüssigkeiten ein, so ändern sich die Ausschläge der Nadel, woraus man auf eine Änderung der Stromstärke schließen muß.

1) Einschaltung von Drähten. a. Ein *Eisendraht* z. B. schwächt den Strom stärker als ein ebenso langer und dicker *Kupferdraht*. b. Der Ausschlag ist um so kleiner, je *länger* und *dünnere* der Draht ist.

2) Einschaltung von Flüssigkeiten. a. Wird *reines Wasser* in die Stromleitung eingeschaltet, so erhält man selbst bei bedeutender Stromstärke auch dann keinen merklichen Ausschlag, wenn die beiden Polflächen durch Metallplatten vergrößert und diese einander sehr nahe gebracht werden. Die Nadel wird aber etwas abgelenkt, sobald man dem Wasser eine Säure, z. B. *Schwefelsäure*, beimischt. b. Der Ausschlag wird in diesem Falle kleiner, wenn man die Polplatten weiter voneinander entfernt, oder sie bei unverändertem Abstände langsam aus der Flüssigkeit heraushebt.

Derartige Versuche lehren, daß alle Körper den el. Strom bei seinem Durchgange schwächen. Diese Schwächung beruht auf einem *Widerstand*, den die Leiter dem Durchgang des Stromes entgegensetzen und der von diesem überwunden werden muß, ähnlich wie Wasser, welches durch eine Röhrenleitung fließt, einen Reibungswiderstand zu überwinden hat.

Genauere Messungen, welche sich mit Hilfe einer Tangentenboussole anstellen lassen, führen zu dem Satze:

Der Widerstand eines festen oder flüssigen Leiters ist abhängig von dem spezifischen Leitungsvermögen desselben; er steht ferner im geraden Verhältnis zur Länge und im umgekehrten zum Querschnitt des festen Leiters oder der vom Strome durchflossenen Flüssigkeitssäule.

*Die besten E.s.-Leiter sind die Metalle*, namentlich Silber und Kupfer. Kupfer leitet ungefähr  $\frac{1}{2}$ -, Gold  $\frac{1}{3}$ -, Messing  $\frac{1}{4}$ -, Eisen und Platin  $\frac{1}{5}$  mal so gut als Silber. Die besten Wärmeleiter sind demnach auch die besten Elektrizitätsleiter (vergl. § 34). *Das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten ist sehr gering.* Die Leitungsfähigkeit von Wasser, welchem 30% Schwefelsäure zugesetzt ist, beträgt  $\frac{1}{500000}$ , die von konz. Salpetersäure kaum 1 Milliontel, die einer konz. Lösung von Kupfervitriol nur etwa 1 Zwölfmilliontel von der des Silbers. Vollkommen reines Wasser kann als Nichtleiter angesehen werden.

*Das Leitungsvermögen ist von der Temperatur abhängig*; bei den Metallen wird es durch Temperaturzunahme vermindert, bei den Flüssigkeiten erhöht.

Wenn  $w$  und  $w_1$  die Widerstände,  $l$  und  $l_1$  die Längen,  $q$  und  $q_1$  die Querschnitte zweier Drähte von demselben Metalle bedeuten, so ist in Zeichen:

$$w : w_1 = l : l_1, \quad \text{aber} \quad w : w_1 = q_1 : q.$$

Beispiel: Der Widerstand ist 2-, 3-, 4... mal so groß, wenn der Draht 2-, 3-, 4... mal so lang, aber ebenso dick ist als ein anderer von demselben Metalle; er ist hingegen nur  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ ... so groß, wenn der Querschnitt des Drahtes bei gleicher Drahtlänge 2-, 3-, 4... mal so groß ist.

Um die Größe der Widerstände in Zahlen ausdrücken zu können, führte *Werner Siemens* den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° als *Widerstandseinheit* ein (*Siemens-Einheit* oder auch kurz 1 *Siemens*). Später entschied man sich für die Einführung einer Widerstandseinheit,

welche von der Siemens-Einheit etwas abweicht. Man nannte dieselbe das Ohm zu Ehren Ohms, des Physikers, welcher (1827) die Gesetze der Stromstärke entdeckte. Ein Ohm ist der Widerstand eines Quecksilberfadens von 106 cm Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0° (1 Ohm = 1,06 Siemens).

Für die praktischen Zwecke der Elektrotechnik würde der Gebrauch von Quecksilbersäulen zu Widerstandsmessungen unbequem sein. Man bedient sich deshalb bestimmter Apparate, welche Neusilberdrähte von bekanntem Widerstande enthalten. Dieselben sind so eingerichtet, dass man die Widerstände ein- und ausschalten kann, ohne den Strom zu unterbrechen (Rheostate).

**Innerer Widerstand.** Der el. Strom erleidet schon beim Durchgange durch das ihn erzeugende Element eine Schwächung, welche um so größer sein muss, je geringer das Leitungsvermögen der Flüssigkeit ist, je kleiner die Platten des Elementes sind und je weiter diese voneinander abstehen. (Die angeführten Zahlen ergeben, dass diese Schwächung fast nur von der Flüssigkeit herrührt.) Man unterscheidet daher den Widerstand im galv. Elemente als inneren oder wesentlichen Widerstand von dem Widerstande im Schließungsbogen und nennt letzteren den äußeren oder auferwesentlichen Widerstand.

**Ohmsches Gesetz.** In welcher Weise die Stromstärke von der elektromotorischen Kraft und vom Leitungswiderstande abhängig ist, wird durch das *Ohmsche Gesetz* ausgedrückt, dessen Richtigkeit sich durch genaue Versuche bestätigen lässt:

Die Stromstärke steht im geraden Verhältnis zur elektromotorischen Kraft und im umgekehrten Verhältnis zur Größe des Widerstandes.

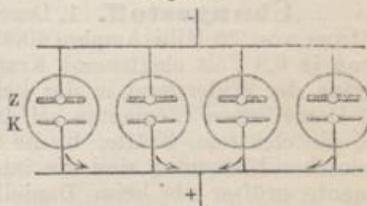
Wenn  $S$  und  $S_1$  die Stromstärken,  $E$  und  $E_1$  die elektromotorischen Kräfte,  $W$  und  $W_1$  die Gesamtwiderstände bedeuten, so ist in Zeichen:

$$S = \frac{E}{W}; \text{ also } S:S_1 = E:E_1, \text{ aber } S:S_1 = W_1:W.$$

Aus dem Ohmschen Gesetze ergeben sich wichtige Folgerungen. Bei der Verbindung mehrerer galv. Elemente zu einer Batterie (siehe Fig. 478) nimmt die elektromotorische Kraft ebenso zu, wie die Anzahl der Elemente, aber in demselben Verhältnis wächst auch der innere Widerstand, da der Strom durch alle Elemente hindurchgehen muss. Es sind demnach zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Ist der äußere Widerstand im Verhältnis zum inneren Widerstande sehr gering (kurzer, dicker Draht, sogen. „Kurzschluss“), so hat der Strom eines einzelnen Elementes fast genau dieselbe Stärke wie der Strom einer Batterie von beliebig vielen Elementen; eine Stromverstärkung muss dann durch Verminderung des inneren Widerstandes bewirkt werden. In diesem Falle hat man also entweder ein Element mit großen Platten anzuwenden, oder sämtliche Elemente gleichnamig (nebeneinander, d. h. alle Zinkplatten und ebenso alle Kupferplatten unter sich) zu verbinden (Fig. 490). Dadurch wird bei der gegebenen Größe der elektromotorischen Kraft der Gesamtwiderstand möglichst vermindert.

Fig. 490.



2. Ist der äußere Widerstand sehr groß (z. B. sehr langer dünner Draht einer Telegraphenleitung oder eine Flüssigkeit), so wird der Strom des einzelnen Elementes dadurch sehr geschwächt; zur Ver-

stärkung des Stromes muss deshalb die elektromotorische Kraft vergrößert werden. Dies ist dadurch zu erreichen, dass man mehrere Elemente ungleichnamig (hintereinander, Fig. 478) verbindet. Wenn hierbei auch der innere Widerstand wächst, so vermag dies doch wegen der verhältnismässig geringen Grösse desselben am Gesamtwiderstande nur sehr wenig zu ändern. Die durch den äusseren Widerstand auf einen kleinen Bruchteil verminderte Stromstärke des einzelnen Elementes vervielfacht sich demnach mit der Anzahl der Elemente.

Diese Folgerungen aus dem Ohmschen Gesetz lassen sich durch einfache Formeln ausdrücken.  $n$  bezeichne die Anzahl der Elemente,  $e$  die elektromotorische Kraft und  $w$  den inneren Widerstand eines Elementes,  $l$  den äusseren (Leitungs-) Widerstand. Dann ist zunächst:

$$J = \frac{ne}{nw + l}$$
 Wird  $l = 0$  (1. Fall), so ist  $J = \frac{ne}{nw}$ ; ist  $l$  dagegen sehr gross (2. Fall), so verschwindet das Glied  $n.w$  dagegen und es wird  $J = \frac{ne}{l}$ .

Als **Einheit für die Stromstärke** hat man unter Beziehung auf die chemische Wirkung des Stromes (§ 139) die Stärke eines Stromes eingeführt, welcher bei der Wasserzersetzung in 1 Min. 10,44 ccm Knallgas von 0° und 760 mm Druck entwickelt. Man nennt diese Einheit **1 Ampère**. — Als **Einheit der elektromotorischen Kraft** wird die elektromotorische Kraft eines galv. Elementes angenommen, das eine Stromeinheit (1 Ampère) erzeugt, wenn der Widerstand 1 Ohm beträgt. Diese Einheit heisst **1 Volt** und entspricht ziemlich genau der elektromotorischen Kraft eines Daniellschen Elementes.

Nach dem Ohmschen Gesetze ist demnach  $1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$ .

Um die Stromstärke mittelst der Tangentenboussole nach Ampèreschen Einheiten messen zu können, hat man zunächst zu ermitteln, wieviel ccm Knallgas vom Strome in 1 Min. entwickelt werden, wenn die Nadel der zugleich eingeschalteten Boussole um 45° abgelenkt wird, da dann die Tangente des Ablenkungswinkels gleich 1 ist. Die erhaltene Zahl bildet den Reduktionsfaktor der betreffenden Boussole. Multipliziert man diese Zahl mit der Tangente des Ablenkungswinkels eines beliebigen galv. Stromes, so erhält man die gesuchte Stromstärke nach der chemischen Wirkung in ccm Knallgas, oder aber in Ampèreschen Einheiten, wenn man die Anzahl der Kubikcentimeter durch 10,44 dividiert.

**Übungsstoff.** 1. Durch eine Telegraphenleitung von 100 m Länge soll ein Strom von 30 Milli-Ampère (0,030 Amp.) gesendet werden. Wv. Meidinger-Elemente von je 0,9 Volt elektromot. Kraft und 5 Ohm innerem Widerstand sind erforderlich, wenn der Widerstand in der Leitung und im Apparat 750 Ohm beträgt? — 2. Von 2 Daniellschen Elementen sei das eine gröfser als das andere. Wie verhalten sich a. die elektrom. Kräfte, b. die Stromstärken? — 3. Bei den Groveschen und Bunsenschen Elementen sind die inneren Widerstände kleiner, beim Meidingerschen Elemente gröfser als beim Daniellschen. Was folgt hieraus unter Berücksichtigung ihrer elektrom. Kraft betreffs der Stromstärke? — 4. Lässt man die Ströme zweier Elemente, welche sich nur durch ihre Grösse unterscheiden, gegeneinander wirken, indem man 2 gleichnamige Pole mit einem Galvanoskope und die beiden anderen unter sich verbindet, sodass also für beide Ströme die Widerstände gleich sind, so erhält man keinen Ausschlag. Verhältnis der elektrom. Kräfte? — 5. Lässt man die Ströme eines Bunsenschen und eines ebenso grossen Daniellschen Elementes wie vorhin gegeneinander wirken, so erhält man einen Ausschlag nach der Richtung, in welcher die Nadel durch das Bunsensche Element allein abgelenkt werden würde. Erkl.! — 6. Ein galv. Strom entwickle in 1 Min. 60 ccm Knallgas und

lenke die Nadel einer bestimmten Tangentenboussole um  $45^{\circ}$  ab. Wv. cem Knallgas entstehen hiernach durch Ströme, welche Ausschläge von  $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  bewirken? — 7. Wv. Ampère beträgt in jedem Falle die Stromstärke?

## Wirkungen des galvanischen Stromes.

### a. Wirkungen im Stromkreise.

Man unterscheidet *Wirkungen im Stromkreise* und *Wirkungen außerhalb der Strombahn*, je nachdem der galv. Strom auf Körper einwirkt, welche er durchströmt, oder auf solche, an denen er in einer geringen Entfernung vorbeigeleitet wird. Von den Wirkungen der ersteren Art kommen hauptsächlich die *Wärme-* und *Lichtwirkungen*, sowie die *chemischen Wirkungen* in Betracht.

Bem. Die *physiologischen Wirkungen* sind als *Wirkungen der Induktionsströme* in § 141 behandelt.

### § 138. Wärme- und Lichtwirkung.

**1. Wärmewirkung. Versuch a.** Dünne Metalldrähte, die man in den Schließungsbogen einer galv. Batterie einschaltet, erwärmen sich je nach dem spezifischen Leitungswiderstand verschieden stark. Ein kurzer und dünner Platin- oder Eisendraht z. B. wird durch den Strom leicht glühend, während Kupfer- und besonders Silberdrähte von gleicher Ausdehnung wegen ihres geringeren Leitungswiderstandes sich weniger erwärmen. — Auch flüssige Leiter erwärmen sich durch den Strom. So wird z. B. die Flüssigkeit der galv. Elemente fühlbar warm, wenn diese längere Zeit gebraucht werden.

Die in einem Stromkreise entwickelte Wärmemenge ist proportional dem Widerstande, dem Quadrate der Stromstärke und der Zeit, während welcher der Strom fließt.

Dieses Gesetz wurde (1841) durch den englischen Forscher *Joule* (spr. Dschau) nachgewiesen, indem er Leitungsdrähte in einem Kalorimeter durch Alkohol führte und dessen Erwärmung beobachtete.

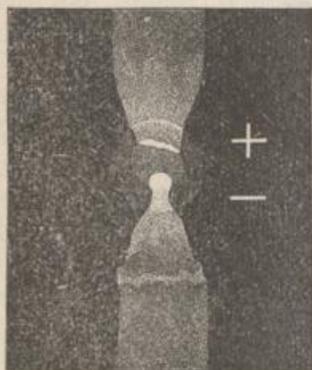
Von dem Glühen dünner Drähte durch den galv. Strom macht man Anwendung, um in gefahrloser Weise Sprengstoffe aus größerer Entfernung zu entzünden, z. B. beim Sprengen von Felsen, Zerstören feindlicher Festungswerke u. dgl. Mit größerer Sicherheit bewirkt man die Entzündung von Sprengstoffen durch el. Funken, die durch Induktionsströme (§ 141) erzeugt werden. In der Heilkunde werden galv. glühende Platindrähte zum Abschneiden von Geschwülsten benutzt.

**2. Lichtwirkung. Versuch b.** Wird der in § 134 angegebene Versuch d mit einer aus mehreren kräftigen Elementen zusammengesetzten Batterie ausgeführt, so strahlen die Kohlenspitzen ein glänzendes Licht aus. Bei Anwendung von einigen 20 bis 30 Elementen können die Kohlenstäbchen, nachdem sie sich zuerst berührt hatten, dauernd bis zu einem gewissen Abstände voneinander entfernt werden, ohne daß ein Erlöschen des Lichtes stattfindet, der Lichtpunkt wird vielmehr zu einer blendend hellen Flamme (Fig. 491, folg. Seite).

Der galv. Funke entsteht nicht, wie der durch Reibungs-E. erzeugte, durch eine Vereinigung beider Elektricitäten in der Luft. Dazu ist die Spannung der galv. E. viel zu gering. Sind die Kohlenspitzen

zunächst bei gegenseitiger Berührung glühend geworden, so werden nachher bei geringem Abstände derselben vorzugsweise von der positiven

Fig. 491.



Kohle durch den Strom weißglühende Teilchen losgerissen und nach dem — Pol hinübergeführt, sodass die Leitung durch die Kohlentelchen und durch die glühende Luft unterhalten wird; der + Kohlenstab wird infolgedessen kraterförmig ausgehöhlt.

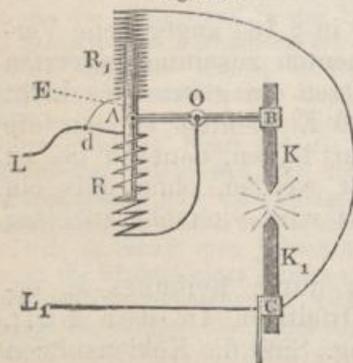
Das el. Licht wurde zuerst (1821) von *Davy* erzeugt. Da er die Kohlenstäbe in horizontale Lage brachte, so nahm der Lichtstrom die Form eines nach oben gewölbten Bogens an: *Voltascher* oder *Davyscher Bogen*. Aus diesem Grunde hat das durch glühende Kohlenspitzen erzeugte Licht den Namen **elektrisches Bogenlicht** erhalten. Von allen irdischen

Lichtquellen hat dasselbe die stärkste Leuchtkraft. Der el. Lichtbogen strahlt beinahe halb soviel Licht aus als eine gleichgroße Fläche der Sonne und hat eine Temperatur von etwa  $3500^{\circ}$ , bei welcher die Kohle verdampft. Seine Temperatur ist bei starken und bei schwachen Strömen dieselbe.

Da die Kohlenspitzen verbrennen, so wird ihr gegenseitiger Abstand und damit auch der Leitungswiderstand größer. Dies hat schließlich ein Erlöschen des Lichtes zur Folge. Eine praktische Anwendung vom el. Bogenlichte konnte man daher erst machen, nachdem man Apparate erfunden hatte, durch welche die Kohlenspitzen in immer gleichem Abstände erhalten werden (**Kohlenlicht-Regulatoren** oder **Bogenlampen**). Seitdem wird das el. Licht zur Erleuchtung großer Räume, zur Beleuchtung von Straßen und öffentlichen Plätzen, zur Küstenbeleuchtung auf Leuchttürmen, zur Beleuchtung mikroskopischer Objekte im Sonnenmikroskop und zu mancherlei anderen Zwecken angewandt. Da die Erzeugung starker Ströme durch galv. Elemente zu umständlich und kostspielig ist, so verwendet man bei el. Lichanlagen ausschließlich Dynamomaschinen (§ 143).

Durch die Regulatoren ist auch eine Teilung des el. Lichtes möglich, d. h. der Betrieb mehrerer in denselben Stromkreis hintereinander geschalteter Lampen. Die Teilung des el. Lichtes gelang zuerst durch die *Jablochkoffschen Kerzen*. Dieselben bestehen aus 2 isoliert nebeneinander befestigten Kohlenstäbchen, deren Spitzen anfänglich durch ein Graphitstäbchen leitend verbunden, aber nach dem Verbrennen des Graphits zur Erzeugung des Lichtbogens getrennt sind. Das Erlöschen einer Kerze hat jedoch das Versagen aller zur Folge und außerdem ist ihr Licht durch seine Farbe und durch Flackern unangenehm.

Fig. 492.



In weit vollkommenerer Weise wird die Teilung des el. Lichtes dadurch erreicht, daß man jede in den Strom eingeschaltete Lampe durch eine Nebenleitung von den übrigen und von der Hauptleitung möglichst unabhängig macht. Eine derartige Einrichtung zeigt z. B. die **Differentiallampe** von *Siemens und Halske* (*Hefner-Alteneck*) in Berlin (Fig. 492). Von den beiden Kohlenstäbchen ( $K$  und  $K_1$ ) ist das obere an dem einem Arm eines zweiarmigen Hebels ( $AB$ ) befestigt, dessen anderer Arm einen Eisenstab ( $E$ ) trägt, welcher mit jedem Ende in eine Drahtspule hineinragt. Die untere Spule ( $R$ ) besteht aus dickem Draht und bildet einen Teil der Hauptleitung ( $LdROKK_1CL_1$ );

die obere Spule hingegen besteht aus dünnem Draht und stellt eine Nebenschließung von großem Widerstande dar, durch welche der Strom (von  $d$  aus) nur teilweise hindurchfließt, wenn die Lampe brennt; der Strom muß aber ganz durch diese Leitung gehen, wenn die Lampe durch zu große Entfernung der Kohlenspitzen erloschen, die Hauptleitung also unterbrochen ist. In beiden Fällen kann sich demnach der Strom nach der nächsten, ebenso eingerichteten Lampe hin fortpflanzen. Erlischt nun die Lampe, so zieht die obere Spule den Eisenstab weiter in sich hinein (§ 140), die Kohlenspitzen berühren sich wieder und der Strom geht von neuem durch die Hauptleitung. Dadurch wird aber der Eisenstab mehr nach unten gezogen, sodafs die bis zur Weißglut erhitzten Kohlenspitzen sich wieder voneinander entfernen. Dies setzt sich solange fort, bis die von beiden Spulen ausgeübten Anziehungen sich das Gleichgewicht halten und der Lichtbogen wieder vollständig hergestellt ist.

Als eine Lichtquelle von mäßiger Stärke, wie sie z. B. für die Beleuchtung von Wohnräumen zweckmäfsig ist, wendet man das el. Glühlicht an. Dasselbe wird dadurch hervorgebracht, dafs man einen dünnen Kohlenfaden in einem kleinen birnförmigen und luftleer gemachten Glasballon durch den el. Strom zum Glühen bringt (Edison'sche Glühlichtlampe, Fig. 493). Bei Luftzutritt würde der Kohlenfaden sofort verbrennen; auch in der Glasbirne findet eine allmähliche Oxydation desselben statt, wodurch sich mit der Zeit der Leitungswiderstand der Kohle ändert und die Leuchtkraft der Lampe vermindert.

Fig. 493.



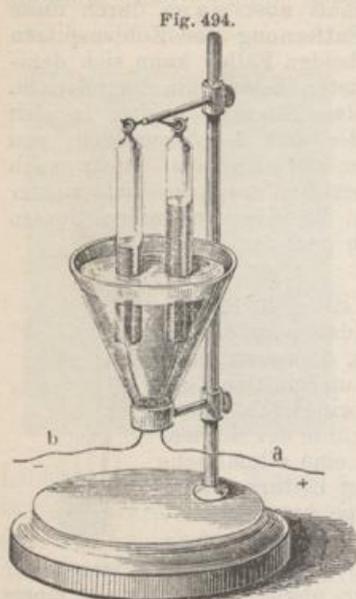
**Übungsstoff.** 1. Warum schmilzt der galv. Strom dünne Eisen- und Platindrähte leichter als Drähte von Kupfer und Silber, obgleich jene Metalle einen weit höheren Schmelzpunkt haben als diese? — 2. Was wird eintreten, wenn man einen galv. Strom durch eine Kette leitet, deren Glieder abwechselnd aus dünnen Platin- und Silberdrähten gebildet sind? — 3. Auf sogen. Gold- oder Silberpapier kann man mit einem Poldrahte nur dann sichtbare Schriftzüge hervorrufen, wenn der andere Poldraht und das Papier sich leitend berühren und der Draht zugespitzt ist; w.? — 4. Wie erklärt es sich, dafs ein galv. Funke entsteht, wenn man die Poldrähte einer Batterie voneinander entfernt (Unterbrechungs- oder Öffnungsfunke), während beim Schliessen des Stromes kein Funke wahrzunehmen ist? — 5. Warum stellt man bei el. Bogenlampen, durch welche ein gleich gerichteter Strom geht, die positive Kohlenspitze über die negative? (Vergl. Fig. 491). — 6. Wenn die Stromrichtung stetig wechselt (Wechselströme, § 143), so zeigt sich keine Verschiedenheit im Abbrennen der Kohlenspitzen. Erkl.! — 7. Vorzüge des el. Lichtes im Vergleich mit anderen Lichtquellen! — 8. Es ist beobachtet worden, dafs das blendend helle el. Bogenlicht dichten Nebel weniger gut durchdringt, als das viel weniger helle Gas- oder Petroleumlicht. Erkl.! (Letztere Lichtquellen geben rötliches Licht.)

**§ 139. Elektrolyse. Polarisationsstrom. Akkumulatoren.** Nach § 134, Versuch e, bringt der el. Strom *chemische Wirkungen* hervor, indem er Flüssigkeiten zersetzt, durch die er hindurch geleitet wird.

#### a. Wasserzersetzung.

**Versuch a.** Taucht man zwei an die Poldrähte angelötete Platinplatten in Wasser, dem einige Tropfen Schwefelsäure beigemischt sind, so ist an den Platten eine um so lebhaftere Gasentwicklung wahrnehmbar, je stärker der Strom ist. Stülpt man über jede Platte eine oben geschlossene und mit W. gefüllte Glasröhre (Fig. 494, folg. Seite), so kann man die entwickelten Gase getrennt auffangen. Der Versuch ergibt, dafs sich am  $+$  Pole Sauerstoff, am  $-$  Pole Wassertoff ansammelt, und zwar ist die Raummenge des letzteren Gases doppelt so groß als die des ersteren.

Die Zersetzung des Wassers ist in Wirklichkeit nicht eine einfache Zerlegung desselben in seine beiden chemischen Bestandteile. Da bei Anwendung von ganz



reinem Wasser sich keine Gase an den Platinplatten entwickeln, so muß man schliessen, daß nicht das Wasser ( $H_2O$ ) als solches, sondern die dem Wasser beigemischte Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) zerlegt wird (in  $H_2$  und  $SO_3 + O$ ), und daß der Schwefelsäurerest (das Anhydrit  $SO_3$ ) sich sofort wieder mit Wasser zu Schwefelsäure verbindet, während der abgeschiedene Wasserstoff ( $H_2$ ) und der Sauerstoff ( $O$ ) frei bleiben. Das Wasser wird demnach also erst zersetzt, nachdem es in die Verbindung der die E. leitenden Schwefelsäure übergegangen ist und seine Elektrolyse ist mithin ein sekundärer Vorgang. — Ganz reines Wasser kann als ein nicht leitendes Oxyd angesehen werden.

Die durch den el. Strom bewirkte Zersetzung einer chemischen Verbindung wird als **Elektrolyse** bezeichnet; den zersetzten Körper nennt man **Elektrolyt**, die Drahtenden **Elektroden** und zwar unterscheidet man nach der Richtung des Stromes **Anode** („Hinaufweg“) und **Kathode** („Hinabweg“).

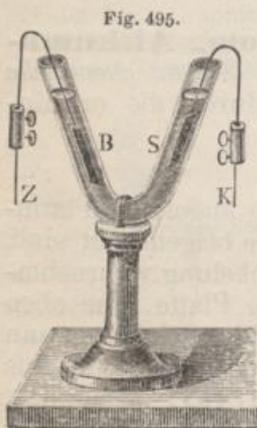
Diese Benennungen sind von *Faraday* (1833) eingeführt worden, während die Wasserzersetzung bereits von *Nicholson* und *Carlisle* (1800) entdeckt wurde.

### b. Elektrolyse anderer chemischen Verbindungen.

Bei der Zersetzung einer *binären* (aus 2 Grundstoffen bestehenden) *Verbindung* wird an der Kathode der Wasserstoff oder das Metall ausgeschieden. Beispiele: Zersetzung von Salzsäure ( $HCl$ ), Chlornatrium ( $NaCl$ ), Chlorsilber ( $AgCl$ ), Jodkalium ( $KJ$ ).

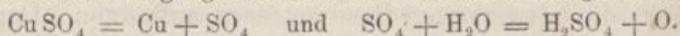
Auch bei der Zersetzung der *Sauerstoffsalze* scheidet sich das Metall am negativen Pol ab. Ein Beispiel bildet die Elektrolyse des schwefelsauren Kupferoxyds (Kupfervitriol).

**Versuch b.** Wird der galv. Strom durch eine konzentrierte Lösung von Kupfervitriol geleitet (Fig. 495), so überzieht sich die Kathode mit metallischem Kupfer.



Vertauscht man die Pole, so verschwindet der metallische Niederschlag wieder und bildet sich auf der Platte, die jetzt Kathode ist.

Da in den *Sauerstoffsalzen* der Wasserstoff der Säuren durch ein Metall vertreten ist, so kann man sich ihre Zersetzung ebenso vorstellen, wie die der Schwefelsäure bei der Elektrolyse des Wassers. Das durch die Ausscheidung von Kupfer entstehende Anhydrit verbindet sich mit dem Wasser wieder zu Schwefelsäure und der Sauerstoff wird frei. Diese chemischen Vorgänge werden durch die Formeln ausgedrückt:



Ist die Anode ein Metall, das von der Säure angegriffen wird, z. B. Kupfer, so löst es sich in derselben auf und zwar in derselben Menge, in welcher es sich an der Kathode niederschlägt.

Enthält das Salz ein Metall, das durch chemische Verwandtschaft auf das Wasser einwirkt, so entsteht ein sekundärer Vorgang derart, daß das Wasser durch das ausgeschiedene Metall zersetzt wird. Am  $-$  Pole sammelt sich dabei statt des Metalles Wasserstoff an. Bei Anwendung von Glaubersalz ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) z. B. bildet sich auf diese Weise Natronlauge ( $\text{HNaO}$ ), indem das frei gewordene Natrium im Wasser oxydiert, wodurch ein Teil des Wasserstoffs aus dem Wasser frei wird. Da das Anhydrit sich zu Schwefelsäure ergänzt, so wird auch Sauerstoff frei. Die Zersetzungsprodukte sind demnach Wasserstoff und Natronlauge am  $-$  Pol, Sauerstoff und Schwefelsäure am  $+$  Pol. Eine mit Lackmustinktur versetzte Glaubersalzlösung färbt sich infolgedessen am  $+$  Pole rot, am  $-$  Pole blau.

Die Elektrolyse läßt erkennen, daß Flüssigkeiten den Strom in anderer Weise leiten, als Metalle, welche beim Durchgange desselben ihre chemische Beschaffenheit nicht ändern. Mit Ausnahme des Quecksilbers (und der geschmolzenen Metalle) leiten Flüssigkeiten den Strom nur dann, wenn sie zugleich chemisch zersetzt werden; diejenigen Flüssigkeiten, welche nicht zersetzt werden, leiten den Strom auch nicht, z. B. chemisch reines Wasser, Alkohol, Öle.

Bei der Elektrolyse werden immer zwei Bestandteile abgeschieden, von denen jeder an einem bestimmten Pole auftritt. Am negativen Pole erscheinen vorzugsweise Metalle und Wasserstoff (dieselben gehen mit dem Strome).

Faraday hat durch Versuche die elektrolytischen Gesetze aufgefunden:

Die elektrolytische Wirkung ist der Stromstärke proportional. — Durch denselben Strom werden in gleichen Zeiten chemisch gleichwertige Mengen zersetzt.

Beispiel. Derselbe Strom, welcher aus  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Versuch a) 2H ausscheidet, scheidet aus  $\text{ZnSO}_4$ , in welcher Verbindung 2H durch 1Zn vertreten ist, in derselben Zeit 1Zn aus. Aus  $\text{CuSO}_4$  würde er 1Cu ausscheiden. Oder, da 1, 65,2 und 63,5 die Verbindungsgewichte für H, Zn und Cu sind, so würden durch denselben Strom in der gleichen Zeit 2 Gewichtsteile H, 65,2 Zn und 63,5 Cu ausgeschieden werden.

#### Anwendungen der Elektrolyse.

1. Auf dem ersten elektrolytischen Gesetze beruht die *Messung der Stromstärke durch Elektrolyse*. — *Zersetzungsapparate, welche eine genaue Bestimmung der Menge des elektrolytisch abgeschiedenen Stoffes zulassen, heißen Voltameter*. Das gebräuchlichste derselben ist das Knallgasvoltameter (von ähnlicher Einrichtung wie Fig. 494), mittelst dessen die Stromstärke durch die in einer bestimmten Zeit entwickelte Menge von Knallgas gemessen wird. Ein Strom von 1 Ampère entwickelt in 1 Minute 10,44 ccm Knallgas (§ 138). Man kann aber ebenso gut auch aus der Menge von ausgeschiedenem Kupfer oder Silber die Stromstärke bestimmen (Kupfer- und Silbervoltameter).

Im allgemeinen pflegt man jedoch zu Messungen der Stromstärke die magnetische Wirkung des Stromes vorzuziehen (Tangentenboussole, § 136).

2. Die Elektrolyse findet ferner Anwendung bei der *Herstellung eines metallischen Überzuges an irgend welchen Gegenständen (Galvanostegie)*, und bei der eigent-

lichen **Galvanoplastik**, d. h. der Kunst, von Gegenständen beliebiger Form Abdrücke in Metall zu erhalten.

Metallene Gegenstände, welche vergoldet, versilbert, vernickelt oder verzinkt werden sollen, brauchen nur sorgfältig gereinigt zu werden, um eine leitende Oberfläche zu erhalten, während alle anderen Gegenstände zunächst durch Bepinseln mit fein geschlämmtem Graphit auf ihrer Oberfläche leitend gemacht werden müssen. — Zum Zwecke der galv. Nachbildung eines Gegenstandes (Holzschnitt, Büste, Münze oder dergl.) stellt man zunächst eine sogen. Matrize her, d. h. einen Abdruck oder Abgufs des Gegenstandes in Wachs, Guttapercha, Gips oder dergl., überzieht die Matrize mit einem leitenden Überzug und setzt sie der Einwirkung des Stromes aus.

Der galv. Niederschlag kann entweder im Elemente selbst oder außerhalb desselben in einem besonderen Gefäße bewirkt werden. Der Thoncyliner eines galvanoplastischen Elementes (A in Fig. 496), welcher auch durch ein Glasgefäß mit durchlässigem Boden (Tierblase, Pergamentpapier) ersetzt werden kann, enthält das Zink in verdünnter Schwefelsäure; unter dem Cylinder wird der betreffende Gegenstand

Fig. 496.

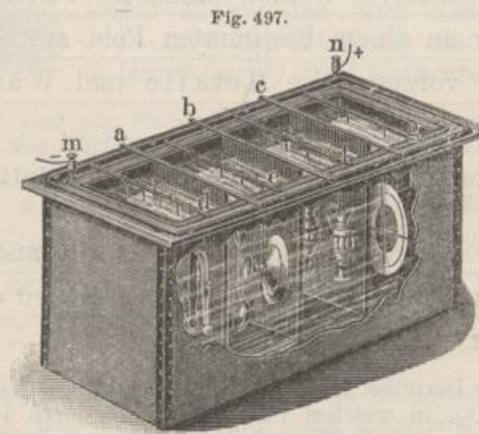
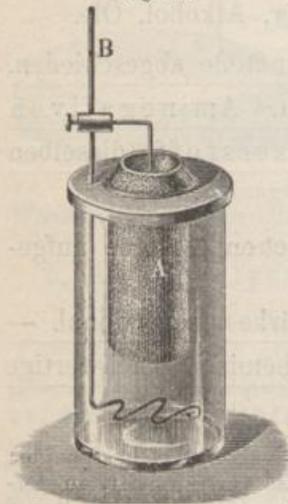


Fig. 497.

am Leitungsdrahte (B) befestigt und in die Metalllösung (sogen. „Bad“) eingetaucht. — Fig. 497 stellt einen

Apparat der zweiten Art dar. Die Gegenstände werden in demselben an Drähten so aufgehängt, daß sie

sämtlich mit dem neg. Pole der Batterie leitend verbunden sind. Damit die Metalllösung ihre ursprüngliche Beschaffenheit möglichst lange behält, bestehen die den Gegenständen gegenüber hängenden und mit dem pos. Pole verbundenen Platten aus dem gleichen Metalle, welches in der Flüssigkeit aufgelöst ist.

Die Galvanoplastik wurde 1839 von *Jacobi in Petersburg* und fast gleichzeitig von *Spencer in Liverpool* erfunden.

Bem. Zur Erzeugung der Ströme werden vielfach Dynamomaschinen und zwar Gleichstrommaschinen (§ 143) verwendet.

3. Eine wichtige Anwendung hat die Elektrolyse neuerdings in der Hüttenindustrie gefunden zur *Ausscheidung von reinen Metallen* aus ihren chemischen Verbindungen (**galv. Metallurgie**). Auf diese Weise wird besonders Kupfer, Magnesium und Aluminium gewonnen.

**Polarisation.** Wird bei der Wasserersetzung der galv. Strom unterbrochen und außerhalb der Flüssigkeit eine leitende Verbindung zwischen den beiden Platinplatten hergestellt, so zeigt ein in den Schließungsbogen eingeschaltetes Galvanoskop einen Strom an, welcher dem ursprüng-

lichen Strome entgegengesetzt gerichtet ist. Derselbe dauert solange an, bis die beiden an den Platinplatten angesammelten Gase wieder in ihre chemische Verbindung (Wasser) übergegangen sind. Während dieses Vorganges verhalten sich die Platten des Zersetzungsapparates wie die Pole eines galv. Elementes; man bezeichnet dieselben deshalb als polarisiert und den entstehenden Strom als Polarisationsstrom. Da in jedem Element eine elektrolytische Zersetzung der Flüssigkeit stattfindet und somit ein Polarisationsstrom entsteht, welcher dem Hauptstrom entgegengesetzt wirkt und ihn mithin schwächt, so sucht man durch die Anwendung verschiedener Flüssigkeiten die Polarisation möglichst zu beseitigen (Konstante Elemente, § 136).

Infolge der Polarisation ist auch das Ohmsche Gesetz auf Flüssigkeiten nicht ohne weiteres anwendbar, da bei Bestimmung der Stromstärke aufser der elektromotorischen Kraft und dem Widerstand noch die Polarisation in Betracht zu ziehen ist.

**Akkumulatoren.** Wenn man Bleiplatten polarisiert, indem man sie in verdünnte Schwefelsäure bringt und eine Zeit lang einen Strom hindurchsendet, so geben sie nach Unterbrechung des Stromes beim Verbinden durch einen Leiter selbständig einen Strom ab. Man kann somit aus polarisierten Plattenpaaren Elemente herstellen, welche zur Erzeugung eines Stromes geeignet sind. Elemente dieser Art unterscheiden sich von den übrigen wesentlich dadurch, dafs sie erst durch einen galv. Strom geladen werden müssen. Sie werden daher sekundäre Elemente genannt. Da in denselben E. zu späterer Verwendung gleichsam aufgespeichert werden kann, bezeichnet man sie als Akkumulatoren (Kraftsammler).

Zu Akkumulatoren sind Bleiplatten, welche in verdünnte Schwefelsäure getaucht werden, besonders geeignet. Wird durch einen solchen Akkumulator längere Zeit ein el. Strom geleitet, so entwickelt sich an der pos. Platte Sauerstoff, welcher das Blei teilweise zu Bleiüberoxyd ( $PbO_2$ ), d. h. zu einer mit Sauerstoff übersättigten Bleiverbindung oxydiert, die an der Platte als brauner Überzug haftet; an der neg. Platte hingegen tritt Wasserstoff auf. Da dieser sich wieder mit Sauerstoff zu verbinden strebt, so reinigt er die Platte von allem bereits daran haftendem Oxyd. Um die der pos. Platte anhaftende Schicht zu verstärken und den Akkumulator zu einer Stromquelle von längerer Dauer zu machen, wendet man ein von *Planté* (1879) erfundenes Verfahren der Ladung („Formierung“) an. Ein so behandelter Akkumulator erzeugt, wenn man die Bleiplatten durch einen Leitungsdraht verbindet, noch lange nach seiner Ladung einen Strom, welcher kräftigere Wirkungen hervorzubringen vermag als der ursprüngliche Strom, und solange anhält, bis das ganze Überoxyd seinen überschüssigen Sauerstoff wieder abgegeben und sich auf beiden Platten Bleioxyd (Bleiglätte,  $PbO$ ) gebildet hat. Da die Herstellung eines Akkumulators nach dem *Planté*-Verfahren mehrere Jahre dauert, so werden beide Bleiplatten mit Mennige ( $Pb_2O_4$ ) überzogen. Läßt man dann den Strom hindurchgehen, so wird der Überzug der pos. Platte durch Aufnahme von Sauerstoff zu Bleiüberoxyd ( $PbO_2$ ) oxydiert, der Überzug der neg. Platte hingegen durch Abgabe von Sauerstoff zu Blei in schwammartig aufgelockerter Form („Bleischwamm“) reduziert.

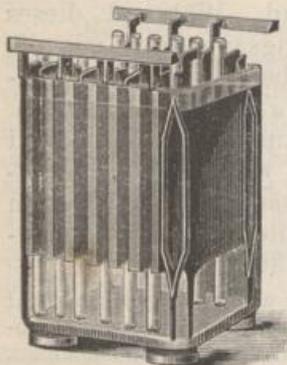
Dieses Verfahren wurde von *Faure* erfunden, ist jedoch neuerdings noch verbessert worden, z. B. durch das *Tudor*-Verfahren.

Fig. 498\*) (folg. Seite) zeigt einen aus 3 pos. und 4 neg. Platten bestehenden *Tudor*-Akkumulator in Glasgefäß. Die pos. Platten sowohl als die neg. Platten sind durch

\*) Das zur Herstellung gebrauchte Cliché wurde von der Akkumulatorenfabrik Hagen in Westf., welche die *Tudor*-Akkumulatoren anfertigt, freundlichst zur Verfügung gestellt.

eine Bleileiste verbunden und werden durch die zwischen ihnen befindlichen Glasröhren in den geeigneten Abständen erhalten.

Fig. 498.



Die Akkumulatoren haben bereits zu verschiedenen Zwecken wichtige Anwendung gefunden (bei der el. Beleuchtung, Galvanoplastik, Telegraphie), insbesondere sind sie das einzige Mittel zum bequemen Transport el. Kraft ohne Leitung (el. Eisenbahn).

**Übungsstoff.** 1. Zweck der Metallplatten an den Poldrähnen bei Versuch a und b? — 2. Die Röhre (Fig. 495) sei mit einer durch Lackmus gefärbten Kochsalzlösung gefüllt. Welche Vorgänge werden dann durch den Strom veranlaßt? — 3. Stellt man einen Zinkstab in eine Lösung von Bleizucker (1 Teil Bleizucker oder essigsaures Bleioxyd, 1 Teil Essigsäure und ungefähr 40 Teile W.), so scheidet sich Blei in Blattform ab (Blei- oder Saturnusbaum). Die erste Ausscheidung des Bleies wird durch die größere chemische Verwandtschaft des Zinks bewirkt. Wie läßt sich der Vorgang weiter erklären? — 4. Erkläre die Ersch., daß sich auf blankem Eisen Kupfer niederschlägt, wenn man es in eine Lösung von Kupfervitriol hält. — 5. Die Abbildungen dieses Buches sind mittelst Kupferplatten (Clichés) gedruckt, welche nach Holzschnitten auf galv. Wege hergestellt werden. Welchen Vorteil bietet dieses Verfahren dem früheren Verfahren gegenüber, bei welchem man die Holzschnitte selbst zum Druck benutzte? — 6. Die beim Aufziehen einer Uhr geleistete mechanische Arbeit ist als Spannkraft gleichsam aufgespeichert und kommt allmählich wieder zur Wirkung. Vergl. diese Wirkung mit der eines Akkumulators! — 7. Inwiefern haben die Akkumulatoren einer el. Beleuchtungsanlage vergleichsweise dieselbe Aufgabe wie das Gasometer einer Gasanstalt oder das Reservoir einer Wasserleitung?

#### b. Wirkungen auferhalb der Strombahn.

### § 140. Elektromagnetismus. Elektrodynamik. Ampères Theorie.

**1. Magnetische Wirkungen.** Die magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes sind, wie aus früheren Versuchen hervorgeht (§ 134, b und c.), zweifacher Art: 1. Eine Magnetnadel wird von ihrer Richtung abgelenkt; 2. ein Eisenstab, welchen der Strom in Windungen umkreist, wird magnetisiert.

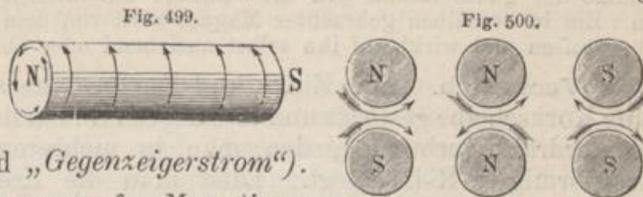
*Der durch den el. Strom erregte Magnetismus wird Elektromagnetismus genannt. Ein durch den Strom magnetisierter Eisenstab heißt Elektromagnet.*

Die wichtige Anwendung, welche die Ablenkung der Magnetnadel in den Apparaten zur Messung der Stromstärke findet, wurde in § 136 erörtert. Mit Hilfe der *Ampèreschen Regel (Schwimmerregel)*, welche die Richtung der Ablenkung angiebt, lassen sich die Pole eines durch den el. Strom magnetisierten Eisenstabes in folgender Weise bestimmen:

Denkt man sich in den Drahtwindungen in der Richtung des + Stromes schwimmend, das Gesicht dem Magnetstabe zugewendet, so ist das zur Linken liegende Ende des Stabes ein Nordpol (Fig. 499, folg. Seite).

Der Südpol wird demnach vom  $+$  Strom in einer Richtung umkreist, die der des

Uhrzeigers entspricht (Fig. 500), der Nordpol dagegen in entgegengesetzter Richtung („Zeigerstrom“ und „Gegenzeigerstrom“).



Der durch el. Ströme hervorgerufene Magnetismus übertrifft an Stärke bei weitem den durch die kräftigsten Stahlmagnete erregten. Um einen Stahlstab durch den el. Strom möglichst stark magnetisch zu machen, schiebt man ihn in einer mit isoliertem Kupferdraht umwickelten Holzspule, in deren Windungen der Strom kreist, wiederholt hin und her und unterbricht schließlich den Strom, wenn der Stab in der Mitte liegt, oder man magnetisiert den Stab durch den einfachen Strich mittelst eines starken Elektromagnets. Hufeisenförmige Stahlstäbe lassen sich auch dadurch stark magnetisieren, daß man ihre beiden Enden mit den Magnetpolen eines ebenso gestalteten Elektromagnets, in dessen Drahtwindungen ein kräftiger Strom fließt, auf kurze Zeit in Berührung bringt und sie erst nach Unterbrechung des Stromes wieder entfernt.

Die magnetisierende Wirkung des el. Stromes wird erklärlich, wenn man sich vorstellt, daß die Massenteilchen (Moleküle) des gewöhnlichen Eisens bereits Magnete bilden, welche indes unregelmäßig gelagert sind und erst durch den Strom eine bestimmte Richtung erhalten. Sie werden nach der Ampèreschen Regel so gedreht, daß sich ihre Achsen senkrecht zur Ebene der Drahtwindungen, also parallel zur Achse des Eisenstabes richten und zwar alle Nordpole nach links (vergl. auch Fig. 473). Wenn sämtliche Molekularmagnete diese Richtung angenommen haben, so ist die „Sättigung“ erreicht, d. h. der Magnetismus läßt sich nicht weiter steigern. So lange der Eisenkern noch weit von seinem Sättigungspunkte entfernt ist, ist die Stärke des Magnetismus der Anzahl der Drahtwindungen und der Stromstärke proportional; dagegen ist dieselbe von der Dicke und dem Stoffe des Leitungsdrahtes überhaupt unabhängig. Um einen Eisenkern bis zur Sättigung zu magnetisieren, hat der Strom eine gewisse, allerdings nur sehr kurze Zeit nötig.

In weichem Eisen verschwindet der Magnetismus fast ganz wieder, sobald der Strom zu wirken aufhört, ähnlich wie beim Annähern und Entfernen eines Magnetpoles. Stahlstäbe behalten nach der Unterbrechung des Stromes einen stärkeren Magnetismus. Diese Verschiedenheit, die Eisen und Stahl beim Magnetisieren zeigen (*Koercitiekraft*), läßt sich auf den festeren Zusammenhang der Moleküle des Stahles zurückführen.

Mit dem Magnetisieren und Entmagnetisieren findet im weichen Eisen wie im Stahl eine Wärmeentwicklung statt, die man sich durch eine mit der Drehung der Moleküle verbundene innere Reibung erklären kann; sie ist unmerklich, wenn der Strom nur einmal geschlossen wird, steigert sich aber bei rascher Wiederholung dieses Vorganges so bedeutend, daß schließlich der Eisenkern sich stark erhitzt. Die Wirkung der el. Maschinen wird durch diesen Umstand sehr beeinträchtigt (§ 143).

#### Magnetisches Feld eines Stromes. Solenoid.

**Versuch a.** Einen senkrecht gehaltenen Draht, durch den man einen starken Strom leitet, steckt man durch ein horizontal liegendes Kartenblatt, auf welches man feine Eisenfeilspäne siebt. Dieselben werden durch den Einfluß des Stromes zu kleinen Elektromagneten und ordnen sich ringförmig um den Draht.

Der Strom erzeugt somit in seiner Umgebung ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien den Stromleiter ringförmig umschließen.

Biegt man den Schließungsdraht einer Batterie zu einer Schlinge um, so nimmt der ganze Raum, den die Schlinge umschließt, magnetische Eigenschaften an. Ein in denselben gebrachter Magnet wird von dem Stromkreis angezogen oder abgestoßen und wirkt auf ihn selbst anziehend oder abstoßend.

**Versuch b.** Eine Zink- und Kupferplatte werden senkrecht durch eine Korkscheibe gesteckt und ihre oberen Enden durch einen umspinnenen Kupferdraht verbunden, den man in mehreren Windungen zu einer kreisförmigen Rolle biegt. Läßt man die Korkplatte auf verdünnter Schwefelsäure schwimmen, so wird bei Annäherung eines Magnetpoles der Schließungsbogen entweder angezogen oder abgestoßen (*De la Rives Schwimmer*).

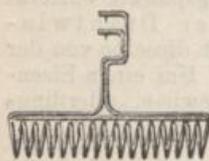
Eine in Form einer Spirale gewundene Drahtrolle, welche von einem Strom durchflossen wird, verhält sich wie ein Magnet.

Die magnetischen Wirkungen einer solchen Spirale, die man ein *Solenoid*<sup>1)</sup> nennt, sind weniger kräftig, wie die eines Elektromagnets.

Ein Eisenstab wird bei der Annäherung an ein Solenoid ein Elektromagnet und zwar wird er in die Spirale hineingezogen, da sein genähertes Ende den ungleichnamigen Magnetismus annimmt. Diese Erscheinungen sind leicht verständlich, wenn man sich vorstellt, daß das Solenoid von gleich gerichteten kreisförmigen Strömen durchflossen wird, welche dieselbe Wirkung haben müssen, wie ebenso viele kleine gleich gerichtete Magnete.

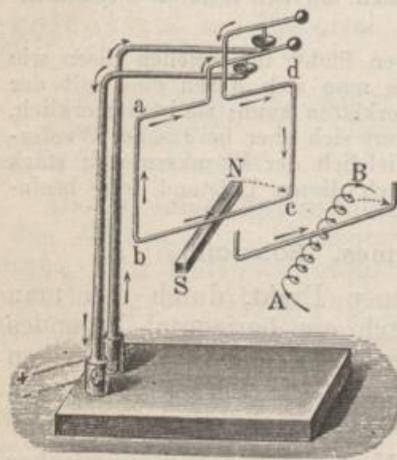
Die Übereinstimmung zwischen einem Solenoid und einem Magnet

Fig. 501.



tritt noch deutlicher hervor, wenn man dasselbe wie eine Magnetnadel frei beweglich aufhängt (Fig. 501) und einen kräftigen Strom hindurchfließen läßt; dann stellt sich der Schraubendraht unter dem Einfluß des Erdmagnetismus in die NS.-Richtung, wobei er nach dem durch Fig. 499 veranschaulichten Gesetze polarisiert erscheint, und wird von einem genäherten Magnet angezogen oder abgestoßen.

Fig. 502.



Zur Aufhängung der Solenoide und anderer kreisförmig oder rechtwinklig gebogener Stromleiter bedient man sich der *Ampèreschen Gestelle* (Fig. 502): die Stromleiter stehen auf 2 Stahlspitzen in stählernen und mit Quecksilber gefüllten Näpfchen, welche von Messingsäulen getragen werden, die mit der Batterie leitend verbunden sind.

**Versuch c.** Bringt man einen Magnet in die Nähe eines vom Strome durchflossenen Drahtvierecks, so stellt sich letzteres in eine bestimmte Lage und zwar immer so, daß seine Ebene senkrecht zur Achse des Magnets gerichtet ist. Der drehbare Stromleiter wird also durch die Einwirkung eines Magnets ebenso abgelenkt, wie eine Magnetnadel durch einen Stromkreis.

<sup>1)</sup> σωλήν (sölēn), Röhre.

In Fig. 502 ist die Richtung des  $+$  Stromes durch Pfeile bezeichnet; die punktierten Linien geben die Bewegung des Drahtvierecks an. Wird der Magnet (SN) durch ein Solenoid (AB) ersetzt, so erfolgt ebenfalls eine Drehung des Stromleiters.

**2. Elektrodynamische Wirkungen.** Da ein Solenoid sich ganz wie ein Magnet verhält, so liegt die Vermutung nahe, daß auch zwei Solenoide in Bezug auf Anziehung und Abstossung aufeinander einwirken müssen wie zwei Magnete. Diese Vermutung wurde von *Ampère* (1820) durch Experimente bestätigt. Er stellte fest, daß überhaupt jeder galv. Strom auf einen benachbarten Strom anziehend oder abstossend einwirkt und führte für die Lehre von den Wechselwirkungen galv. Ströme untereinander die Bezeichnung **Elektrodynamik** ein.

*Ampère* entdeckte folgende Gesetze:

1. Parallele Ströme ziehen sich an, wenn sie gleich gerichtet, sie stoßen sich ab, wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind.

Dieses Gesetz gilt auch, wenn die parallelen Stromleiter Teile eines und desselben Stromkreises sind, z. B. Windungen einer Spirale (Übungsstoff, Fr. 7).

2. Ströme, die sich unter einem Winkel kreuzen, streben sich so zu stellen, daß sie parallel und gleich gerichtet sind.

Zwischen Strömen, die gleichzeitig nach der Kreuzungsstelle hin- oder von ihr wegfließen, findet demnach ebenfalls Anziehung statt (Fig. 503); zwischen entgegengesetzt gerichteten dagegen Abstossung.

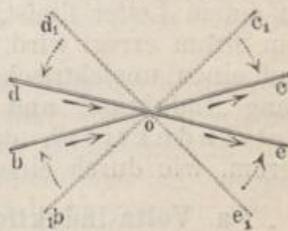
Durch die Übereinstimmung zwischen dem Verhalten eines Solenoids und dem eines Magnets wurde *Ampère* zu einer **Theorie des Magnetismus** geführt. Er erklärt die magnetischen Wirkungen durch die elektrodynamischen Wirkungen von Strömen, die im Innern der Körper stattfinden (**Molekularströme**).

*Ampère* stellt sich einen Magnet als einen Körper vor, dessen Moleküle von el. Strömen umflossen werden; aus der gegenseitigen Einwirkung dieser Molekularströme erklärt er alle magnetischen Erscheinungen. Während im unmagnetischen Eisen die Moleküle regellos durcheinanderliegen und die Molekularströme sich deshalb in ihren Wirkungen nach außen gegenseitig aufheben, erhalten sie durch das Magnetisieren eine parallele Lage und gleiche Richtung; ihre Ebenen stehen dann zur Achse des Magnets senkrecht und sie bewegen sich in denselben bei Betrachtung des Südpols in der Uhrzeigerrichtung. (Der Einfachheit wegen kann man sich einen einzigen Strom als Mittelkraft denken, Fig. 499 und 500).

Die Ampèresche Theorie bietet nicht nur eine einfache Erklärung der gegenseitigen Einwirkung von Strömen und Magneten, sondern auch einen Ausgangspunkt für die Lehre von der Einheit der Naturkräfte (§ 147).

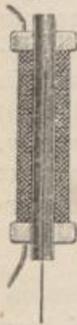
**Übungsstoff.** 1. Wie läßt sich aus der Richtung, in der eine Magnetnadel durch den Strom abgelenkt wird, sowie aus der Lage der Pole eines Elektromagnets ein Rückschluss auf die Richtung des Stromes machen, welcher die Wirkung hervorrief? — 2. Hält man unter ein Blatt Papier den Schließungsdraht einer galv. Batterie und streut da, wo der Draht liegt, Eisenfeilspäne auf das Papier, so richten sich diese quer zum Drahte. Erkl.! — 3. Wird eine Glasröhre mit um-

Fig. 503.



sponnenem Kupferdraht bewickelt (Fig. 504) und durch letzteren ein Strom geleitet, so vermag ein kurzer Eisendraht frei in der Röhre zu schweben. Wie wirkt der Strom auf das Eisenein? (Prinzip der in der Elektrotechnik gebräuchlichen Messapparate

Fig. 504.

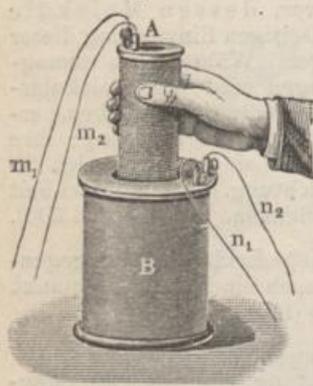


für die Stromstärke: *Ampèremeter*). — 4. Warum läßt sich die Stärke eines Elektromagnets nicht über eine gewisse Grenze hinaus steigern? — 5. Inwiefern unterscheiden sich „magnetische Stärke“ und „Tragkraft“ eines Elektromagnets? — 6. Wie erklärt sich die Ersch., daß an einem kupfernen, in Eisenfeilspäne gehaltenen Draht die Späne anhaften, so lange man einen Strom durch den Draht leitet? (Versuch von *Arago*; vergl. Versuch a.) — 7. Eine Spirale aus dünnem Kupferdraht sei mit einem Ende an einem metallenen Ständer so aufgehängt, daß das andere Ende in ein mit Qu. gefülltes Näpfchen taucht. Wenn man dann die Poldrähte einer galv. Batterie mit dem Ständer und dem Näpfchen verbindet, so zieht sich die Spirale zunächst zusammen; sobald das untere Ende nicht mehr eintaucht, dehnt sie sich wieder aus, darauf zieht sie sich abermals zusammen u. s. w. Wie erklärt sich diese Ersch.? (*Rogets Spirale*.) — 8. Welche Erschn. treten ein, wenn man eine Deklinationsnadel über ein Solenoid der Länge nach fortbewegt? — 9. Erkläre die einzelnen magnetischen Erschn. durch die Ampèresche Theorie! — 10. In welcher Richtung muß nach der Ampèreschen Theorie die Erde von el. Strömen umkreist werden?

**§ 141. Induktion.** Die Induktionswirkungen des galv. Stromes wurden von *Faraday* (1831) entdeckt. Er ging bei seinen Folgerungen von den Erscheinungen der el. Influenz aus und fand durch eine Reihe scharfsinniger Versuche, daß durch einen Strom, der in einem Leiter fließt, in einem anderen benachbarten Leiter ebenfalls ein Strom erregt wird, ebenso wie ein el. geladener Körper influenzierend auf einen unelektrischen Leiter einwirkt. *Faraday* nannte diesen Vorgang „Induktion“ und unterschied „Volta-Induktion“ und „Magnet-Induktion“, da sich Induktionswirkungen sowohl durch einen Strom, wie durch einen Magnet hervorbringen lassen.

**a. Volta-Induktion. Versuch.** 1) *Annähern und Entfernen des Stromes.* Ein zum Nachweis geeigneter Apparat besteht aus 2 Holzspulen (Fig. 505), von denen die engere (A) mit einem ziemlich dicken, die weitere (B) mit einem sehr dünnen und wenigstens 100 m langen isolierten Kupferdraht umwickelt ist; die Enden des dünnen Drahtes ( $n_1$  und  $n_2$ ) werden mit einem sehr empfindlichen Galvanoskope, die des dicken Drahtes ( $m_1$  und  $m_2$ ) mit den Polen eines galv. Elementes leitend verbunden. Schiebt man nun die vom Strom umflossene Spule A rasch in die Spule B, so erhält man einen Ausschlag der Nadel des Galvanoskopes, welcher aber nur sehr kurze Zeit andauert. Zieht man darauf die Spule A wieder heraus, so entsteht abermals ein Ausschlag, aber nach der entgegengesetzten Seite. 2) *Schließens und Öffnen des Stromes.* Die angegebene Wirkung erfolgt auch, wenn man den Strom des Elementes schließt und unterbricht, während die Spulen ineinander stecken.

Fig. 505.



Ausschlag, aber nach der entgegengesetzten Seite. 2) *Schließens und Öffnen des Stromes.* Die angegebene Wirkung erfolgt auch, wenn man den Strom des Elementes schließt und unterbricht, während die Spulen ineinander stecken.

Wird ein in sich geschlossener Leiter einem el. Strome genähert oder von ihm entfernt, oder wird ohne Änderung der Lage des Leiters der Strom geschlossen oder geöffnet, so entsteht im Leiter ein Strom von kurzer Dauer: **Volta-Induktion.**

Induktionsströme, welche durch *Öffnen* und *Schließen* des Hauptstromes hervorgerufen werden, sind stets von unmeßbar kurzer Dauer, während ihre Dauer bei *Annäherung* und *Entfernung* des Leiters von der Dauer dieser Bewegung abhängig ist. Auch durch bloße *Veränderung der Stärke* des Hauptstromes werden in einem benachbarten Leiter Induktionsströme erzeugt, deren Stärke und Dauer von der Größe jener Veränderungen abhängt.

An der Ablenkung der Galvanometernadel erkennt man, daß der bei Annäherung der Spule oder beim Schließen oder Verstärken des Hauptstromes entstehende Induktionsstrom eine dem Hauptstrom entgegengesetzte Richtung hat, während der beim Entfernen der Spule oder beim Öffnen oder Schwächen des Stromes entstehende mit dem Hauptstrom gleich gerichtet ist.

Um durch schnelle Unterbrechung und Schließung des Hauptstromes Induktionsströme in rascher Aufeinanderfolge hervorzubringen, bedient man sich besonderer Unterbrechungsvorrichtungen, z. B. des *Wagnerschen Hammers* (Seite 374).

Durch geeignete Versuche läßt sich nachweisen, daß auch in den Drahtwindungen des Hauptstromes selbst beim Schließen und Öffnen desselben Induktionsströme, sogen. *Extraströme*, entstehen, indem jede Windung auf die benachbarten Windungen induzierend einwirkt. Da der Schließungs-*extra*strom dem Hauptstrome entgegengesetzt, der Öffnungs-*extra*strom ihm aber gleich gerichtet ist, so muß ersterer den Hauptstrom schwächen, letzterer ihn dagegen verstärken. Die Verstärkung giebt sich durch den größeren Öffnungsfunken zu erkennen (bei f, Fig. 506; siehe ferner Frage 7).

**b. Magnet-Induktion. Versuch.** Schiebt man statt der Drahtrolle (A) einen Stabmagnet in die Induktionsspule (B) und zieht ihn wieder heraus, oder nähert man den Magnetpol dem einen Ende eines in die Spule gesteckten Eisenkerns bis zur Berührung und entfernt ihn wieder, so erhält man Wirkungen, wie die durch den galv. Strom hervorgebrachten.

Ein Magnet vermag wie ein el. Strom in einem geschlossenen Elektrizitätsleiter Induktionsströme hervorzurufen: **Magnet-Induktion.**

Jede Änderung im Zustande eines magnetischen Feldes, gleichviel ob dasselbe durch eine vom Strom durchflossene Drahtrolle oder durch einen Magnet erzeugt wird, ruft nach diesen Erscheinungen Induktionsströme hervor. Durch Magnete werden Ströme induziert nicht nur bei Bewegung des Magnets, sondern auch bei Bewegung des geschlossenen Leiters im magnetischen Felde.

Die durch Magnetinduktion, insbesondere durch Bewegung eines Leiters im magnetischen Felde erzeugten Ströme haben bei der Konstruktion der magnetoelektrischen Maschinen (§ 143) eine äußerst wichtige Anwendung gefunden. Da nach der *Ampèreschen Theorie* ein Magnet von gleich gerichteten Molekularströmen umkreist wird und sich also wie eine von einem Strome durchflossene Drahtspule verhalten muß, so ergibt sich aus der Richtung dieser Molekularströme sofort die der Induktionsströme: bei Annäherung eines Südpoles haben die Induktionsströme die der Uhrzeigerrichtung entgegengesetzte Richtung, bei Annäherung eines Nordpols dagegen die gleiche Richtung. (Bei Entfernung eines Südpoles oder eines Nordpols ändern sich die Stromrichtungen.)

Indem man das *Ampèresche Gesetz* über die gegenseitige Einwirkung paralleler Ströme von gleicher oder entgegengesetzter Richtung zu Hilfe nimmt, läßt sich eine einfache Regel über die Richtung der Induktionsströme in diesen verschiedenen Fällen in folgender Form aussprechen:

Die durch Bewegung von Stromleitern oder Magnetpolen erzeugten Induktionsströme haben stets eine solche Richtung, daß die elektrodynamischen Anziehungs- oder Abstofsungskräfte auf die Bewegung hemmend einwirken: **Gesetz von Lenz** (1834).

Außer dem *Lenzschen Gesetz* dient zur Bestimmung der Richtung der Induktionsströme auch die von *Faraday* angegebene Regel: Man denkt sich mit den Kraftlinien schwimmend, mit dem Gesicht nach der Bewegung des Leiters gewendet, so fließt der Induktionstrom nach rechts.

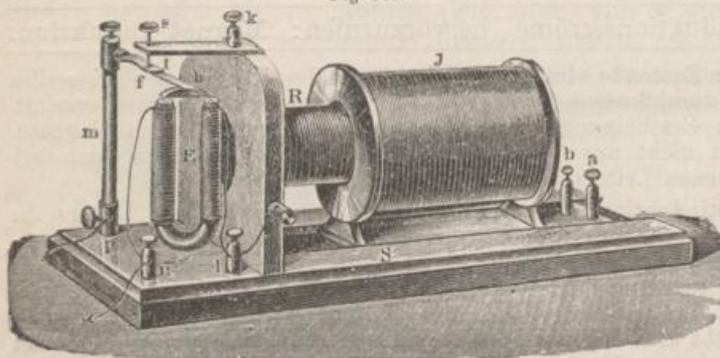
**Wirkungen der Induktionsströme.** Durch Induktionsströme lassen sich nicht nur alle Wirkungen der Batterieströme, sondern auch, da sie eine weit größere Spannung als die letzteren haben, die Erscheinungen der Reibungs-E. hervorrufen. Induktionsströme vereinigen überhaupt die Eigenschaften beider Elektrizitäten in sich und zeichnen sich namentlich durch physiologische und mechanische, sowie durch Licht- und Wärmewirkungen aus.

Die physiologischen Wirkungen der Induktionsströme sind so kräftig, daß sie leicht zum Nachweis der Induktionselektricität benutzt werden können. Befestigt man z. B. an den Drahtenden der Induktionsspule metallene Handgriffe, so empfindet man bei Berührung Zuckungen in den Handgelenken, welche beim Öffnen des Stromes (infolge des Extrastromes) am stärksten und überhaupt um so kräftiger sind, je schneller die Stromunterbrechungen aufeinanderfolgen.

Ein gleichmäßig andauernder Batteriestrom von mäfsiger Stärke wirkt auf unsere Nerven nicht merklich ein, so daß er nur im Augenblicke des Entstehens oder Verschwindens oder bei einer Veränderung der Stromstärke empfunden wird. Die Induktionsströme sind an sich von sehr kurzer Dauer und da sie durch geeignete Stromunterbrecher in schneller Aufeinanderfolge hervorgerufen werden können, wirken sie sehr stark auf die Nerven ein. Es erhöht die Wirkung, wenn in der Höhlung der Hauptspule ein Stab aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel isolierter (gefirnifster) Eisendrähte steckt. Im Augenblicke des Schließens nämlich wird das Eisen magnetisch und wirkt — wie aus den Versuchen unter b hervorgeht — ebenso wie der Hauptstrom. Beim Öffnen des Hauptstromes verschwindet mit diesem auch der Magnetismus des Eisens wieder.

Wegen ihrer Einwirkung auf die Nerven werden die Induktionsströme zu

Fig. 506.



Heilzwecken verwendet. Die Induktionsapparate, deren man sich für diese Zwecke gewöhnlich bedient (*Schlittenapparat von Du Bois-Reymond*, Fig. 506), sind meist so eingerichtet, daß die Induktionsspule (J) zur Regulierung der Stärke des Induktionsstromes über die Hauptspule (R) hinweggeschoben werden kann. Zum

schnellen Schließen und Öffnen des Hauptstromes dient ein *Selbstunterbrecher (Wagnerscher Hammer)*. Dieser besteht aus einem Elektromagnet (E), dessen Anker an einer dünnen metallenen Feder befestigt ist, welche gegen eine mit der Hauptspule leitend verbundene Schraube stößt. Sobald nun der bei n eintretende Strom durch die Windungen der Hauptspule hindurchfließt, wird der Anker vom Elektromagnet angezogen. Dadurch wird der Strom bei f unterbrochen, die Feder schlägt wieder zurück, schließt den Strom abermals u. s. w.

Kräftigere Wirkungen geben die Induktionsapparate mit Kondensator (*Ruhmkorffsche Funkeninduktoren*). Bei denselben haben die Spulen eine feste Lage und der beim Unterbrechen des Hauptstromes entstehende Extrastrom wird in einen Kondensator geleitet, der nach Art einer Franklinschen Tafel eingerichtet ist und sich jedesmal beim Schließen des Hauptstromes entladet. (Die eine Belegung des Kondensators ist mit  $k$ , die andere etwa mit  $p$ , Fig. 501, leitend zu verbinden.) Die Induktionsrolle wird aus sehr vielen Windungen dünnen Drahtes hergestellt und die Leitung zwischen den Drahtenden durch eine Luftstrecke unterbrochen; die in dem Drahte fließenden entgegengesetzten Elektricitäten erreichen dadurch eine so hohe Spannung, dafs sie den Zwischenraum in Form eines Induktionsfunken überspringen. Apparate dieser Art mit einem etwa 60 km langen Induktionsdrahte geben Funken bis zu  $\frac{1}{2}$  m Länge. Ebenso lassen sich durch Funkeninduktoren alle anderen Erscheinungen, zu denen eine grofse Spannung der E. gehört, in überraschender Weise ausführen, z. B. werden Nichtleiter (Glasplatten, Papier) durchbohrt, leicht brennbare Gegenstände (trockenes Holz, Äther, Leuchtgas) entzündet, die Luft wird unter starker Ozonbildung verändert, wenn der Induktionsfunke hindurchgeht. Besonders auffällig sind die prachtvollen Lichterscheinungen, die der Induktionsstrom in verdünnter Luft oder in Gasen erzeugt, wenn er durch die *Geißlerschen Röhren* (Glasröhren mit eingeschmolzenen Platindrähten) geleitet wird. Indes sind diese merkwürdigen Erscheinungen (Verschiedenheit der Lichthülle am  $+$  und  $-$  Pol, eigentümliche Schichtungen, Einfluß eines genäherten Magnets) noch nicht genügend erklärt.

**Übungstoff.** 1. Warum können zu Induktionsspulen dünnere Drähte benutzt werden, als zu den Hauptspulen? — 2. Welchen Vorteil gewährt dies für die Erzeugung starker Induktionsströme? — 3. Nach der Stärke der physiologischen Wirkung läfst sich unter sonst gleichen Umständen die Dauer der Induktionsströme ungefähr beurteilen; inwiefern? — 4. Wie gelangt der bei  $p$  (Fig. 501) in den Induktionsapparat eintretende galv. Strom nach  $n$ ? — 5. Wie erklärt sich die Stromunterbrechung? — 6. Ist bei einem Induktionsapparate ohne Kondensator die Induktionsspule nicht verschiebbar, so wird das in der Hauptspule steckende Eisen drahtbündel mit einer verschiebbaren Messinghülse umgeben; w.? — 7. Wenn man die Enden der Hauptspirale  $R$ , Fig. 501 (etwa  $k$  und  $l$ ), durch einen Draht verbindet (Nebenschließung), so werden die Funken bei  $f$  bedeutend schwächer. Erkl.! — 8. Inwiefern können die Induktionswirkungen zwischen benachbarten Leitungsdrähten beim Telegraphieren und Telephonieren (§ 142) Störungen im Betriebe veranlassen?

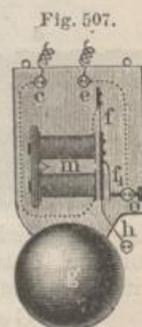
## Technische Anwendung des Elektromagnetismus und der Induktion.

### § 142. Elektrische Klingel und Uhr. Telegraph. Telephon und Mikrophon.

1) **Elektrische Klingel.** Um durch den galv. Strom einfache Glockensignale zu geben, benutzt man den Selbstunterbrecher (Fig. 507). Vor dem Elektromagnet ( $m$ ) desselben ist an einer elastischen Feder ( $f$ ) ein Anker befestigt, der den Stromschluß herstellt, indem er mit dem federnden Streifen  $f_1$  die Schraube  $o$  berührt. (Die Drähte der Klemmen  $c$  und  $e$  führen zur Batterie.)

Indem der Anker vom Elektromagnet angezogen wird und der Hammer  $h$  an die Glocke schlägt, ist der Strom unterbrochen, da die auf dem Anker befestigte Feder  $f_1$  dann die Schraube  $o$  nicht mehr berührt. Der Anker schnell zurück, berührt die Feder wieder, schließt dadurch von neuem den Strom und wird infolgedessen abermals angezogen. Hierdurch wird der Strom wieder unterbrochen u. s. w.

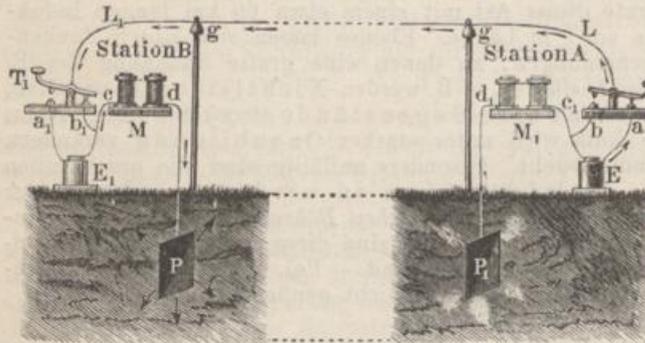
**Elektrische Uhren** sind Zeigerwerke, die durch den galv. Strom in übereinstimmendem Gange mit einer Normaluhr (Pendeluhr) gehalten werden. Man



erreicht dies dadurch, daß die Normaluhr etwa in jeder Minute einmal einen Stromleiter schließt und der Stromschluß durch einen Elektromagnet auf einen Anker einwirkt, wodurch ein Zahnrad um einen Zahn fortbewegt wird. Die Bewegung des Zahnrades rückt den Minutenzeiger, dessen Bewegung sich durch ein Räderwerk auf den Stundenzeiger überträgt.

2) **Telegraph.** Die magnetische Wirkung des galvanischen Stromes findet ihre wichtigste Anwendung in der **Telegraphie**. Jeder Telegraph

Fig. 508.



(Fig. 508) besteht im wesentlichen aus 4 Teilen: 1) dem *Stromerregger*, 2) der *Leitung*, welche die Aufgabestation mit der Empfangsstation in der Weise verbindet, daß der Strom beliebig geschlossen und unterbrochen werden kann, 3) dem *Zeichengeber*, 4) d. *Zeichenempfänger*.

In Fig. 508 sind durch E und E<sub>1</sub> zwei Elemente dargestellt, welche die den Strom erzeugenden Batterien der Stationen A und B andeuten; P und P<sub>1</sub> stellen zwei mit den Batterien verbundene und in den Boden eingegrabene Metallplatten dar, T und T<sub>1</sub> die Zeichengeber, M und M<sub>1</sub> die Zeichenempfänger, L und L<sub>1</sub> die Drahtleitung; die Pfeile endlich geben die Stromrichtung für den Fall an, daß von A nach B telegraphiert wird.

**Der Stromerregger.** Zur Erzeugung des Stromes werden Batterien von sehr konstanten Elementen angewandt und zwar entweder die Meidinger-Krügerschen Kupferelemente (Zinkcylinder in einer Lösung von Zinkvitriol und eine Kupfer- oder Bleiplatte in Kupfervitriol) oder Zinkkohlenelemente (Zink und Kohle mit Salmiakfüllung). Versuche, die man in den letzten Jahren angestellt hat, haben ergeben, daß auch Akkumulatoren sich mit Vorteil für den telegraphischen Betrieb verwenden lassen. Die Zahl der zu einer bestimmten Leitung erforderlichen Elemente oder Akkumulatorzellen richtet sich hauptsächlich nach der Länge der Leitung; man rechnet durchschnittlich für je 5 km Leitung 1 Element und für den Betrieb eines Morseapparates 9 Elemente.

**Die Leitung** besteht aus verzinktem Eisendraht oder aus Kupfer- (Bronce-) draht. Zur Isolierung des Drahtes dienen bei oberirdischen Leitungen gewöhnlich Glocken aus Porzellan

Fig. 509.

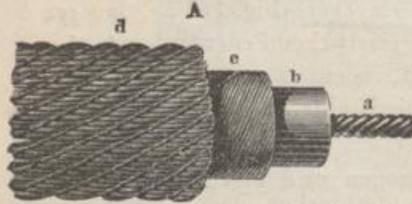
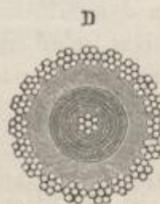


Fig. 510.



gewöhnlich Glocken aus Porzellan (g, Fig. 508), bei unterirdischen und unterseeischen Leitungen Hüllen aus Guttapercha und geteertem Hanf, die zum Schutz gegen äußere Beschädigungen mit Stahldrähten umgeben sind (Fig. 509 und 510). Zwischen zwei Stationen ist nur ein Leitungsdraht erforderlich; eine eigentliche Rückleitung des Stromes ist überflüssig, da es genügt, den anderen Pol der Batterie mit einer großen, in die feuchte Erde versenkten Kupferplatte leitend zu verbinden.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der galv. Strom in den Telegraphendrähten sich fortpflanzt, ist der geringen Spannung der Berührungs-E. entsprechend bedeutend geringer als die, welche man für den Entladungsstrom der Rei-

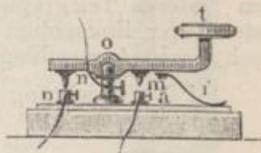
bungs-E. gefunden hat; bei längeren Leitungen verfließt sogar eine merkliche Zeit, ehe sie vom Strom durchlaufen werden. Man nennt diese Zeit die **Ladungszeit** und hat gefunden, daß sie dem Quadrat der Drahtlänge direkt proportional ist, d. h. daß z. B. in einem 3mal so langen Draht der Strom erst nach einer 9mal so langen Zeit seine Wirkung äußert. Da die Ladungszeit außerdem vom Stoff, von der Form und Dicke des Drahtes abhängig ist, so kann die Geschwindigkeit des galv. Stromes immer nur bedingungsweise angegeben werden (etwa 25 000 km in der Sek.).

Man unterscheidet *Druck-, Zeiger- und Nadel-Telegraphen*. Bei den ersteren wird die elektromagnetische Wirkung auf weiches Eisen, bei dem Nadel-Telegraphen die Ablenkung der Magnetnadel durch den el. Strom angewandt. Der gebräuchlichste Telegraph ist der

#### Morsesche Zeichendruck-Telegraph.

a. Der Zeichengeber (Fig. 511) bildet einen zweiarmigen metallenen *Hebel*, Taster oder Schlüssel genannt, der so in die Leitung eingeschaltet wird, daß der Strom durch einen Druck auf den Knopf (t) des einen Hebelarmes geschlossen werden kann. Eine unter diesem Arme angebrachte Feder (f) bringt den Hebel, sobald der Druck aufhört, wieder in seine anfängliche Lage zurück.

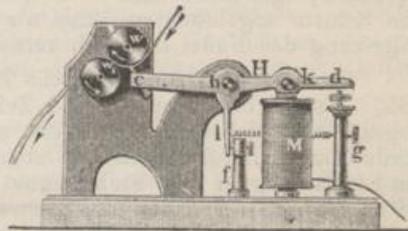
Fig. 511.



Befindet sich der Taster in seiner Ruhelage (vergl. Fig. 508, Station B), so ist die Batterie aus der Linienleitung ausgeschaltet und diese nur mit dem Zeichenempfänger und der Erdleitung beider Stationen verbunden; von dieser Station geht also kein Strom durch die Linie. Um die Batterie in die Leitung einzuschalten, braucht nur der Taster niedergedrückt zu werden (Station A), wodurch der Stromschluß hergestellt wird. Man nennt dies das Telegraphieren mit *Arbeitsstrom*, während beim Telegraphieren mit *Ruhestrom* für gewöhnlich ein Strom durch die Linie geht und das Zeichengeben in einer Unterbrechung desselben besteht.

b. Der Zeichenempfänger (Fig. 512) besteht 1) aus einem *Hebel* (H), dessen einer Arm mit einem eisernen Anker (k) und dessen anderer Arm mit einem Stahlstifte (c) versehen ist, 2) aus einem *Elektromagnet* (M) und 3) aus zwei durch ein Uhrwerk bewegten *Walzen*, zwischen denen ein Papierstreifen liegt, der mit gleichförmiger Geschwindigkeit langsam fortgeschoben wird. Sobald der Strom die beiden Eisenkerne des Elektromagnets (M) umkreist, wird der Anker angezogen und der Stift prägt eine Vertiefung in den Papierstreifen. Wird der Strom unterbrochen, so zieht eine (den Seitenarm l des Hebels mit der Säule g verbindende) Spiralfeder den Hebel wieder zurück. Je nachdem nun der Druck auf den Taster sofort wieder aufhört oder kurze Zeit andauert, entsteht auf dem Papierstreifen ein Punkt oder ein Strich. Aus Punkten und Strichen ist das ganze Alphabet zusammengesetzt. Beispiel:

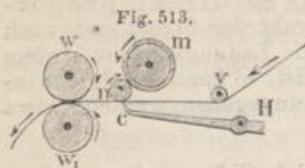
Fig. 512.



B i t t e u m A n t w o r t

.....

In neuerer Zeit hat man die Zeichenempfänger des Morseschen Telegraphen so eingerichtet, daß statt der Eindrücke farbige Zeichen auf dem Papierstreifen entstehen. Zu diesem Zwecke sind die drei Walzen *m*, *n* und *v* (Fig. 513) angebracht. Erstere ist mit einem Filzstreifen überzogen, welcher mit Farbstoff getränkt wird. Dadurch nimmt die anliegende Walze ebenfalls Farbstoff an, sodafs es nur eines geringen Druckes durch den Hebel (*H*) bedarf, um auf dem zwischen *n* und dem Stifte *c* des Hebels sich fortbewegenden Papierstreifen farbige Punkte und Striche hervorzurufen. Derartige Apparate („Farbschreiber“) sind in der deutschen Reichstelegraphie jetzt eingeführt.



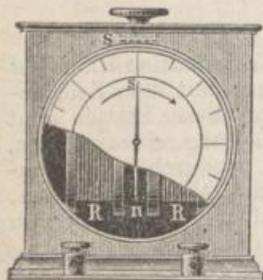
#### Zeiger- und Nadeltelegraph.

Bei den Zeigertelegraphen wird durch den Strom ein Zeiger gehemmt, der sich vor einem Zifferblatt, auf dem die Buchstaben des Alphabets und die Zahlen stehen, gleichmäfsig dreht.

Die Zeigertelegraphen stecken in der Schnelligkeit der Zeichengebung hinter den anderen Telegraphen sehr zurück. Da sie durch die Fernsprechapparate auch betreffs der Einfachheit des Gebrauchs weit übertroffen werden, so finden sie nur noch wenig Anwendung.

Die Einrichtung der Nadeltelegraphen beruht auf der Ablenkung der Magnetnadel durch den galv. Strom. Der Zeichenempfänger bildet einen Multiplikator mit senkrechter Nadel, welche die Zeichen durch Ausschläge anzeigt (Fig. 514). Um Ausschläge nach rechts und links bewirken zu können, ist der Zeichengeber als Stromwender eingerichtet.

Fig. 514.



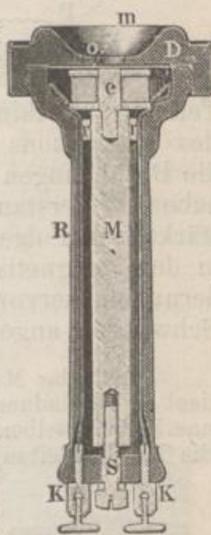
Spalt versehener Schirm aufgestellt, durch den von einer Lampe ein Lichtstreifen auf den Spiegel fällt. Das vom Spiegel zurückgeworfene Licht ist auf einer über dem Schirm angebrachten Skala als helle Linie sichtbar, die durch die geringste Ablenkung der Nadel merklich verschoben wird (*Thomsons Spiegelgalvanometer*).

Der erste elektromagnetische Telegraph ist in Göttingen von *Gauß* und *Weber* (1833) eingerichtet worden. Als Zeichengeber diente ein Stahl- und ein Elektromagnet, als Zeichenempfänger ein wagrecht aufgehängter Magnetstab. Letzterer wurde durch Induktionsströme abgelenkt, die man dadurch erzeugte, daß man den Elektromagnet dem Stahlmagnet näherte und ihn wieder entfernte. Die beiden Leitungsdrähte verbanden die Sternwarte und das physikalische Kabinett der Universität. — 1837 machte *Steinheil* in München die Entdeckung, daß die eine der beiden Drahtleitungen durch die Erdleitung ersetzt werden kann. Von *Steinheil* wie auch von *Wheatstone* (spr. Uihstohn) sind (1837) die ersten für den praktischen Gebrauch geeigneten Nadeltelegraphen hergestellt worden. Letzterer erfand 1840 auch den Zeigertelegraphen. — Von 1837 bis 1844 wurde von *Morse* in Newyork der Zeichendruck-Telegraph und ungefähr 20 Jahre später von *Hughes* (spr. Juhs) der Typendruck-Telegraph erfunden. Letzterer giebt die Zeichen gleich in gewöhnlicher Druckschrift wieder. Der Typendrucktelegraph, der nur auf den Hauptlinien des deutschen Reiches in Gebrauch ist, sowie andere für den Telegraphendienst wichtige Erfindungen können hier nicht näher beschrieben werden. Solche Erfindungen sind: das Relais, das durch den Farbschreiber für kürzere Leitungen entbehrlich geworden ist (vergl. Übungsstoff, Frage 6); die automatischen Übertrager, die selbstthätig die Depesche auf einen Papierstreifen übertragen; die Methoden des Doppelsprechens und Gegensprechens, mittelst

deren man auf einem Drahte mehrere Depeschen gleichzeitig befördern kann u. s. w. Um die Entwicklung der Telegraphie namentlich auch der unterseeischen, haben sich die Gebrüder Siemens (*Werner Siemens*, † 1892 in Berlin, *William Siemens*, † 1883 in London) große Verdienste erworben. Die erste Kabellegung zwischen Europa und Amerika wurde 1866 glücklich ausgeführt (ein 1857 gelegtes Kabel zerrifs).

3) **Telephon und Mikrophon.** Das *Telephon von Bell* (1876) besteht aus einem Stahlmagnet (M, Fig. 515), der in einer mit trichterförmigem Mundstück versehenen Hülse von Holz oder Hartgummi steckt. Auf das vordere Ende des Magnets ist eine Induktionsrolle geschoben und nahe vor demselben ist eine dünne elastische Platte (m) von weichem Eisen befestigt, die in Schwingungen gerät, sobald man in das Mundstück hineinspricht. Zeichengeber und Zeichenempfänger haben dieselbe Einrichtung und sind durch Leitungsdrähte miteinander verbunden. Die Schwingungen der Platte des Zeichengebers bringen Änderungen in dem Zustande des magn. Feldes hervor, die in den Drahtwindungen der Rolle Induktionsströme erzeugen. Diese pflanzen sich bis zum Empfangstelephone fort und bewirken hier umgekehrt, indem sie den Magnetpol umkreisen, entsprechende Änderungen in dem magn. Zustande desselben, durch welche wieder die zugehörige Eisenplatte in die gleichen Schwingungen versetzt wird. Auf diese Weise werden im Telephone der Empfangsstation die Töne hörbar, die in das Telephon der Aufgabestation gesprochen wurden.

Fig. 515.



Aufgabestation

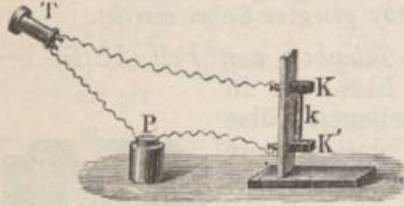
Das *Bellsche Telephon* muß beim Sprechen nahe vor den Mund und beim Hören dicht an das Ohr gehalten werden. Da die Deutlichkeit der gehörten Worte außerdem von der Aussprache und Betonung sehr abhängig ist, hat *Siemens* eine Verbesserung dadurch angestrebt, daß er statt des einfachen Stabmagnets einen Hufeisenmagnet mit mehreren Induktionsrollen und größerer Polfläche anwendete. Bei dieser Einrichtung sind Worte, die in gewöhnlicher Stärke gesprochen werden, auch in einiger Entfernung vom Schalltrichter noch deutlich zu verstehen. Das Anrufen zum Sprechen geschieht gewöhnlich durch Glockensignale, die mittelst einer el. Klingel gegeben werden.

Durch das Telephon ist ein direkter sprachlicher Verkehr auf weite Entfernungen in einfachster Weise ermöglicht. Die ersten erfolgreichen Versuche, einen Schall auf elektrischem Wege zu übertragen, wurden bereits 1861 von *Reis* angestellt; mittelst des von ihm erfundenen Telephons konnten indes nur musikalische Töne und einzelne Worte übertragen werden. Die vollständige Verwirklichung der Idee von *Reis* gelang durch das von *Bell* (1876) erfundene Telephon. Aber erst durch die Verbindung des Telephons mit dem Mikrophon ist es möglich geworden, auf sehr weite Entfernungen hin deutlich zu sprechen.

Das **Mikrophon** ist eine Vorrichtung, durch die mit Hülfe des galv. Stromes Töne und Worte und auch sehr leise, an und für sich vollständig unhörbare Geräusche so verstärkt werden können, daß sie durch ein in die Stromleitung eingeschaltetes Telephon auf große Entfernung hin deutlich hörbar sind. Das Mikrophon wurde erfunden von *Hughes* (1878) und besteht aus einem kleinen, senkrecht stehenden Resonanzboden (Fig. 516, folg. Seite), auf dem zwei Stäbchen (K und K<sub>1</sub>) von harter Kohle befestigt sind; zwischen diesen ist ein an beiden Enden

zugespitztes Kohlenstäbchen (k) lose aufgestellt. Auf der Rückseite des Resonanzbodens sind zwei Klemmschrauben angebracht und mit jenen beiden Kohlenstäbchen leitend verbunden.

Fig. 516.



In die Leitung wird eine galv. Batterie (P) und ein Telephon (T) eingeschaltet. Spricht man nun leise gegen den Apparat, streicht mit einem feinen Haarpinsel über den Resonanzboden oder legt eine aufgezugene Taschenuhr darauf u. s. w., so sind selbst diese ganz schwachen Geräusche durch das Telephon weithin hörbar und werden sogar noch verstärkt. — Die Wirkung des Mikrophons erklärt sich daraus, daß durch die Schallwellungen die Berührungen der Kohlenstäbchen sich ändern. Diese Veränderungen haben Widerstandsänderungen, mithin auch Änderungen in der Stromstärke zur Folge. Durch die Änderung der Stromstärke aber werden in dem magnetischen Zustande des Telephonmagnets entsprechende Änderungen hervorgerufen, wodurch die Eisenplatte des Telephons zum Schwingen angeregt wird.

Auch das Mikrophon ist neuerdings noch mehrfach verbessert worden und dient in Verbindung mit dem verbesserten Telephon dem Fernsprechverkehr sowohl innerhalb derselben Stadt als auch auf Entfernungen von Hunderten von Kilometern (die Telephonleitung Newyork-Chicago ist über 1500 km lang). Bei der in Fig. 517

Fig. 517.

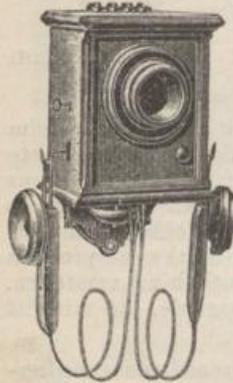
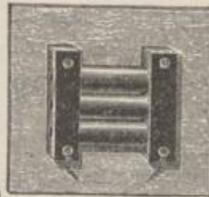


Fig. 518.



dargestellten Einrichtung ist das Mikrophon in ein Gehäuse eingeschlossen, dessen vordere Wand den Schalltrichter enthält. Dicht hinter dem Schalltrichter liegt die den Resonanzboden bildende dünne Platte mit den zugehörigen Kohlenstäbchen (Fig. 518). Von den beiden nur zum Hören dienenden Telephonen wird für den Ortsverkehr nur eins benutzt, während für sehr große Entfernungen beide zugleich angewandt werden. Unter dem Gehäuse ist die Signalglocke angebracht. — Die angeschlossenen Geschäftshäuser einer Stadt sind mit einer Centralstation leitend verbunden. Dieser wird zunächst durch Angabe einer bestimmten Nummer mitgeteilt, mit wem man sprechen will. Ist dies geschehen, so werden auf der Centralstation durch eine mechanische Vorrichtung („Klappenschrank“) die nach den beiden Geschäftshäusern führenden Drähte miteinander in leitende Verbindung gebracht.

**Übungstoff.** 1. Welche wichtigen Entdeckungen mußten vorangehen, ehe die jetzt gebräuchlichen el. Telegraphen erfunden werden konnten, und welche waren für den von Gauß und Weber eingerichteten Telegraphen besonders wichtig? — 2. Geib den Lauf des el. Stromes an für den Fall, daß von Station B (Fig. 508) nach Station A telegraphiert würde. — 3. Da im Eisenkern eines Elektromagnets beim Öffnen des Stromes stets etwas Magnetismus zurückbleibt, so würde es störend wirken, wenn der Anker des Zeichenempfängers beim Telegraphieren die Eisenkerne berührte. Wodurch wird dies nach Fig. 512 verhütet? — 4. Zweck der beiden wagerechten Schrauben in den Säulen f und g? — 5. Welche Vorzüge hat der Schreibtelegraph vor dem Nadel- oder Zeigertelegraphen? — 6. Bei langen Leitungen ist zum Betriebe eines Morseschen Stiftschreibers auf der Empfangsstation ein Relais nötig, d. h. eine Vorrichtung, die aus einem äußerst leicht bewegbaren Hebel besteht, der, sobald der Strom der sogen. Linienbatterie wirkt, durch einen Elektromagnet angezogen wird und eine kleine Lokalbatterie schließt; der

Strom der letzteren setzt dann den Zeichenempfänger in Thätigkeit. Warum ist bei den Farbschreibern das Relais entbehrlich? — 7. Wie ist es zu erklären, daß ein unterseeisches Kabel ähnlich wie eine Leydener Flasche als Kondensator wirken kann, und weshalb wird die dadurch bewirkte Verzögerung des Signals bei Anwendung schwacher Ströme geringer sein? — 8. Inwiefern findet beim Telephon eine Umkehrung von Ursache und Wirkung statt? — 9. Durch welche Eigenschaften der Kohle ist es zu erklären, daß sie sich von allen Leitern am besten zur Herstellung des Mikrophons eignet?

**§ 143. Magnetelektrische und Dynamo-Maschinen. El. Kraftübertragung.** Faradays Entdeckung, daß in einem geschlossenen Stromkreise ein el. Strom entsteht, wenn sich der Stromkreis in einem magnetischen Felde bewegt, bildete den Ausgangspunkt zur Erfindung von Vorrichtungen, mittelst deren man kräftige Ströme durch mechanische Arbeit erzeugen kann. Man nennt dieselben elektrische Maschinen und unterscheidet magnetelektrische und dynamoelektrische Maschinen.

**a. Magnetelektrische Maschinen.** Eine der ältesten und einfachsten ist der *magnetelektrische Induktionsapparat von Stöhrer* (Fig. 519). Er besteht aus einem kräftigen Hufeisenmagnet, vor dessen Polen ein Anker in schnelle Umdrehung versetzt wird. Jeder der beiden Eisenkerne des Ankers ist von einer Induktionsrolle (C und D) umgeben; in den Windungen dieser Rollen entstehen Ströme von entgegengesetzter Richtung, wenn die Eisenkerne bei der Drehung vor den Polen des Magnets ihre Pole wechseln. Die Ströme werden durch Drähte in die beiden Handgriffe (P und Q) weiter geleitet und durch einen Stromwender (F) oder Kommutator in solche von gleicher Richtung verwandelt.

Bem. Die Beschreibung des Stromwenders soll obgegangen werden, da die magnetelektrischen Maschinen mit Stromwender keine Bedeutung mehr haben.

Um die Stärke der induzierten Ströme zu steigern, wendete man mehrere Magnete und Induktorrollen an und versetzte die letzteren durch Dampfkraft in sehr schnelle Umdrehung (Maschinen zur Erzeugung von el. Licht auf Leuchttürmen).

Eine wirksamere Konstruktion erfand *Werner Siemens*, indem er dem Anker eine zweckmäßigere Form gab. Der von ihm benutzte Anker war walzenförmig und der Länge nach zur Aufnahme der zahlreichen Windungen des Induktionsdrahtes mit zwei Ausschnitten versehen: **Doppel-T-Anker** (Fig. 520). Da er sich zwischen halbkreisförmig ausgeschnittenen Magnetpolen dreht, so bleiben bei der Drehung die Drahtwindungen den Polen immer sehr nahe, wodurch die Induktion wesentlich wirksamer wird. Auch bei diesen Maschinen, die für manche Zwecke jetzt noch in Gebrauch sind (Läutwerke bei Eisenbahnen), konnten durch einen Stromwender die Wechselströme in gleich gerichtete verwandelt werden. Da jedoch die Anwendung des Stromwenders mit einem Verlust an Stromstärke verbunden ist, so war die Erfindung von Maschinen, die unmittelbar gleich gerichtete Ströme geben, ein wesentlicher Fortschritt. Fig. 521 (folg. Seite) giebt die äußere Ansicht einer solchen, der *magnetelektrischen Maschine von Gramme*.

Fig. 519.

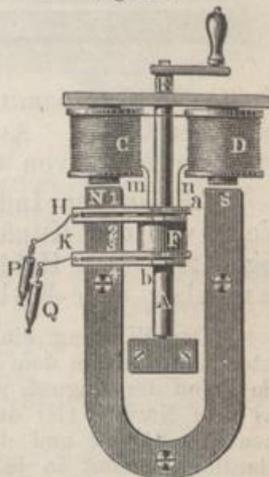
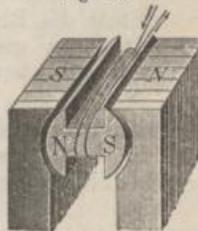
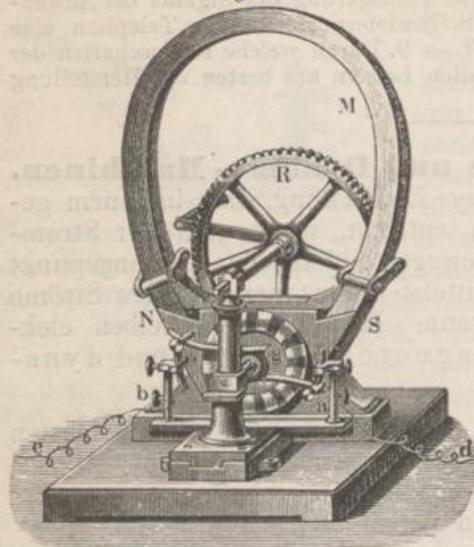


Fig. 520.



Zwischen den Polen S und N eines kräftigen Hufeisenmagnets dreht sich ein eiserner Ring, der senkrecht zu seiner Ebene auf einer

Fig. 521.



Welle (W in Fig. 523) befestigt ist. Der Ring ist so mit isoliertem Kupferdraht umwickelt, daß die Drahtwindungen etwa 30 oder mehr sehr nahe nebeneinander liegende Induktionsrollen bilden. Die benachbarten Drahtenden je zweier Induktionsrollen sind aneinander gelötet; somit bilden die Drahtspiralen zusammen gleichsam eine einzige Spirale. Von jeder Lötstelle führt ein speichenartig gerichteter kurzer Leitungsdraht (Strahlstück) bis nahe an die Welle. Hier sind sämtliche Drähte rechtwinklig umgebogen und mit Kupferstreifen verbunden; diese sind voneinander und von der Welle isoliert und an letzterer befestigt (vergl. Fig. 524). Die

Streifen bilden somit einen Hohlzylinder, aus dem die Welle beiderseits hervorragt. Auf dem Hohlzylinder schleifen Drahtbürsten, die etwa gleichweit von den Polen des Magnets entfernt sind.

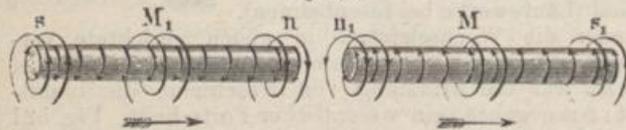
Alle in den Induktionsrollen erzeugten Ströme werden auf diese Weise von den Kupferstreifen gesammelt und durch die Schleifbürsten abgeleitet. Den Hohlzylinder nennt man aus diesem Grunde Stromsammel- oder Kollektor (vielfach auch Stromwender).

Die Wirkung einer *Grammeschen Maschine* wird verständlich, wenn man untersucht, was in dem Ringe und in den Drahtwindungen vorgeht, die zwischen den Polen des Magnets rotieren. Der Ring besteht aus weichem Eisen, mithin wird das dem Nordpol (N) des Magnets zunächst liegende Stück des Ringes durch Induzenz ein Südpol und das dem Südpol (S) zunächst liegende Stück ein Nordpol. Allerdings kommt in jedem Augenblick ein anderer Teil des Ringes in die Nähe der Pole; da aber die Eisenteilchen ihren Magnetismus sofort wieder verlieren, wenn sie sich von den Polen entfernen und die im Ring entstandenen Magnetpole an derselben Stelle bleiben, so würde die Wirkung ganz dieselbe sein, wenn der Ring überhaupt stillstände und nur die Drahtwindungen um denselben herumläufen.

Statt des Ringes kann man sich mithin auch zwei halbkreisförmig gebogene und mit ihren gleichnamigen Polen aneinanderstossende Magnete denken, über welche die Drahtspulen hinweggleiten.

Schiebt man eine Spule über einen Magnetstab hinweg, so entstehen in derselben Induktionsströme, deren Richtung sich nach dem *Lenzschen Gesetz* (§ 140) bestimmen läßt. In dem Teile des Ringes, der S zunächst liegt (Fig. 523), stoßen die Nordpole der beiden Ringmagnete aneinander. Denkt man sich nun zwei Stabmagnete mit ihren

Fig. 522.



allen Molekularströmen des Magnets M. Die Molekularströme des Magnets M<sub>1</sub> rufen

Nordpolen (n und n<sub>1</sub>) zusammenstossend (Fig. 522), so entfernt sich die in der Richtung des Pfeiles über den Nordpolen fortbewegte Spule von allen Molekularströmen des Magnets M<sub>1</sub> und nähert sich

mithin gleich gerichtete und die des Magnets  $M$  entgegengesetzt gerichtete Induktionsströme hervor; da aber die Molekularströme der Magnetpole selbst einander entgegengesetzt gerichtet sind, weil gleichnamige Pole zusammenstoßen, so müssen die in der Spule durch die Einwirkung beider Pole erzeugten Induktionsströme gleich gerichtet sein. Es tritt demnach in der Spule kein Stromwechsel ein, wenn sie über den Doppelpol hinweggleitet. Geht die Spule über den Doppelpol hinaus und nähert sich der Mitte des Magnets  $M$ , so wird der Induktionsstrom zunächst schwächer, weil der kleinere Teil der Molekularströme des Magnets  $M$  jetzt in entgegengesetztem Sinne wirkt. Ist die Spule in der Mitte des Magnets angekommen, so heben sich die Wirkungen der Molekularströme beider Pole auf, es ist also gar kein Induktionsstrom vorhanden; erst nach dem Überschreiten der Indifferenzzone erzeugt der jetzt überwiegende Einfluß des Südmagnetismus wieder einen Induktionsstrom, der aber eine dem vorigen entgegengesetzte Richtung hat.

Dies gilt ebensowohl für die Stabmagnete  $M_1$  und  $M_2$ , wie für den Ring (Fig. 523). In jeder der beiden Ringhälften werden die Spulen von Strömen durchlaufen, welche den Kern in gleichem Sinne umkreisen. Der Stromwechsel erfolgt in der Indifferenzzone (in  $M$  und  $M_1$ ), wo die Stromstärke gleich Null ist; in der Nähe der Pole dagegen erreichen die Ströme ihre größte Stärke.

Dieselben Vorgänge, welche in einer Spule nach und nach stattfinden, müssen in den zahlreichen Spulen des Ringes der Grammeschen Maschine gleichzeitig stattfinden, da ohne Unterbrechung die Spulen alle Lagen gegen die Pole einnehmen und demnach auch die einzelnen gleich gerichteten Ströme in beiden Hälften des Ringes so schnell aufeinander folgen, daß sie einen stetig fließenden Strom ergeben. (Daß an der Ableitungsstelle Stromunterbrechungen nicht eintreten können, erklärt sich daraus, daß die Drahtbürste das folgende Strahlstück schon berührt, ehe sie das vorhergehende verlassen hat.)

Erklärt sich somit die Stetigkeit der Ströme aus der großen Anzahl der Spulen, so beruht andererseits die Unveränderlichkeit der Stromrichtung auf dem Umstande, daß alle Ströme zwischen zwei Indifferenzzonen die gleiche Richtung haben und in jeder Ringhälfte die gleichartigen Ströme nach derselben Indifferenzzone hinfließen, wo sie abgeleitet werden (vergl. Fig. 524).

Im Ring fließen somit die beiden Elektrizitäten einander entgegen und die Spulen verhalten sich wie die Elemente einer galvanischen Batterie. Man faßt jedoch nur die positive Elektrizität ins Auge, welche in  $M$  abgeleitet und durch den äußeren Schließungskreis nach  $M_1$  zurückgeführt wird.

Der wesentliche Bestandteil der *Grammeschen Maschine*, der Ringinduktor, wurde von *Pacinotti* (1860) erfunden, aber erst durch *Gramme*, der ihn (1871) selbständig wieder erfand, erfolgreich angewendet.

Um gewisse Nachteile zu vermeiden, welche mit der Anwendung des Ringinduktors verbunden sind, ist derselbe mehrfach abgeändert worden. Einer der hauptsächlichsten Übelstände ist die starke Erhitzung des Ringkernes, die dadurch veranlaßt wird, daß derselbe bei der Rotation seine Pole schnell wechselt (vergl. S. 369). Von den verschiedenen Konstruktionen, mittelst deren man diesen Mangel zu beseitigen suchte, ist der sogen. *Trommelinduktor* besonders wichtig geworden (erfunden von *Hefner-Alteneck*). Bei den *Siemensschen* Maschinen mit Trommelinduktor ist der festliegende cylindrische Anker mit einem rotierenden Blechmantel (Trommel) umgeben, über den der Induktionsdraht parallel zur Längsachse läuft; ferner sind die magnetischen Felder dadurch stark vergrößert, daß man die zahlreichen, zu beiden Seiten der Trommel angebrachten Magnete mit bogenförmigen Polen ver-

Fig. 523.

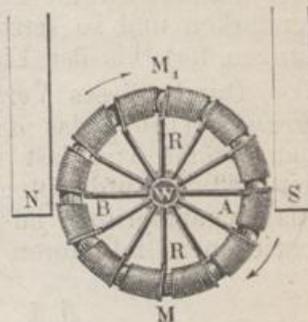
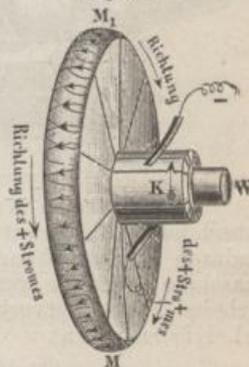


Fig. 524.



sieht, welche die Trommel in mehr als  $\frac{3}{4}$  ihres Umfanges umfassen. Wie bei der Grammeschen Maschine, so werden auch hier die Einzelströme durch Strahlstücke einem Stromsammler zugeführt und von da mittelst der Drahtbesen weiter geleitet.

**b. Dynamoelektrische Maschinen (Dynamomaschinen).** Bei den dynamoelektrischen Maschinen werden statt der Stabmagnete Elektromagnete verwendet, wodurch eine bedeutend grössere Stromstärke erzielt werden kann.

**Das Dynamoprincip.** In einem Eisenstück, welches einmal magnetisch gewesen, bleibt stets etwas Magnetismus zurück. Dieser magnetische Rückstand dient dazu, einen schwachen Induktionsstrom hervorzurufen, der nun zunächst um den Eisenkern geleitet wird und den Magnetismus desselben verstärkt. Der verstärkte Magnetismus ruft aber stärkere Ströme hervor, die nun ihrerseits wieder den Magnetismus verstärken und so setzt sich diese gegenseitige Multiplikation der Wirkungen fort, bis der Eisenkern bis zur Sättigung magnetisiert ist.

Durch dieses Verfahren, das von seinem Entdecker *Werner von Siemens* (1867) das *dynamoelektrische Prinzip* genannt wurde, kann man Ströme von fast unbegrenzter Stärke erzeugen. Deshalb werden seit seiner Entdeckung alle Maschinen nach diesem Prinzip gebaut. Das Dynamoprincip läßt sich in Verbindung mit jedem der vorher beschriebenen Induktoren (*Doppel-T-Anker*, *Grammescher Ring*, *Hefnersche Trommel*) anwenden.

Fig. 525.

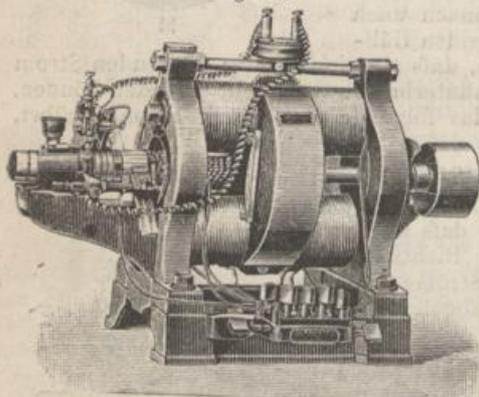
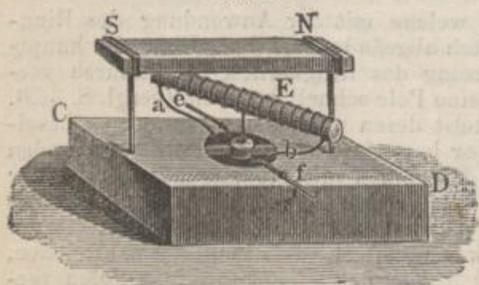


Fig. 525 zeigt eine für den Handbetrieb gebaute Dynamomaschine einer neueren, von *Fraas* erfundenen Konstruktion. Der Induktor (sogen. Flachring) ist durch eine Schutzplatte verdeckt und wird durch die wagrecht liegende Welle zwischen den vier Polschuhen zweier Elektromagnete in rasche Umdrehung versetzt. Der Stromsammler mit den Schleifbürsten befindet sich links an der Welle, wo auch die Ableitungsdrähte sichtbar sind. Die übrigen Drahtleitungen und die im vorderen Teile des Fußgestelles sichtbaren Metallstüpsel vermitteln verschiedene Umschaltungen und die Einschaltung von Widerständen.

**Elektrische Kraftübertragung.** Leitet man den Strom einer Dynamomaschine in die Drahtspulen des Ankers einer zweiten Maschine, so wird der Anker dadurch in Umdrehung versetzt. Durch die drehende Bewegung kann eine Arbeitsmaschine betrieben werden. Die Elektrizität ist somit die bewegende Kraft, die eine Arbeitsleistung hervorbringt, z. B. durch Drehung der Räder eines Eisenbahnwagens (el. Eisenbahn).

Fig. 526.



Apparate, die durch den el. Strom in Bewegung versetzt werden, heißen el. Motoren oder elektromagnetische Maschinen. Ihr Prinzip wird veranschaulicht durch eine nach Fig. 526 konstruierte Vorrichtung: *elektromagnetische Maschine von Ritchie* (1833). Über einem leicht drehbar unterstützten Elektromagnet (E), dessen Drahtenden in Quecksilber eintauchen, ist ein Stahlmagnet angebracht. Die im Fusse des Apparates hergestellte Höhlung, die das Qu. enthält, ist durch eine niedrige, dem Stabmagnet parallele

Scheidewand so in 2 Hälften geteilt, daß das Qu. über der Scheidewand getrennt ist und letztere von den Drahtenden bei der Drehung nicht berührt wird. Leitet man nun einen Strom in das Qu., so wird der Eisenstab magnetisch und bei der angegebenen Stellung durch den Stahlmagnet in Drehung versetzt, wobei er infolge seiner Trägheit die Scheidewand überschreitet. Ist letzteres erfolgt, so kehrt sich die Polarität des Stabes um. Die vorher angezogenen Pole werden dadurch wieder abgestoßen und der Stab setzt seine Drehung andauernd fort. Größere Elektromotoren haben statt der mit Quecksilber gefüllten Schale einen Stromwender, der aus einem in zwei isolierte Hälften geteilten Messingring besteht; an gegenüberliegenden Punkten desselben schleifen zwei Metallfedern.

Im Jahre 1839 trieb *Jacobi* auf der Newa ein Boot durch einen Elektromotor, der durch einen Strom von 64 Groveelementen in Bewegung gesetzt wurde. Der Betrieb von Elektromotoren durch Batterieströme ist indes viel zu kostspielig, als daß man im großen eine Anwendung davon machen könnte. Erst durch die Erfindung der Dynamomaschinen wurde es möglich, starke el. Ströme so billig zu erzeugen, daß sie zur Leistung einer Arbeit und auch zur Übertragung einer mechanischen Arbeitskraft nach einem entfernten Orte hin dienen können. Herin liegt das *Prinzip der el. Kraftübertragung*, nach dem z. B. Wasserkraft zunächst dazu benutzt werden kann, mittelst einer Turbine eine Dynamomaschine zu treiben; die Ströme werden dann durch Drähte nach einem an einem anderen Orte aufgestellten el. Motor geleitet und leisten durch dessen Betrieb eine Arbeit.

Die Leitung starker Ströme auf große Entfernungen bot jedoch bis in die neueste Zeit scheinbar unüberwindliche Schwierigkeiten und ist schon wegen der hohen Kosten unausführbar, die durch die erforderlichen dicken Leitungsdrähte verursacht werden würden. Wie nun aber bei fließendem Wasser eine kleine Wassermenge mit großem Gefälle dieselbe Arbeit leisten kann, wie eine große Wassermenge mit geringem Gefälle, so kann auch ein schwacher el. Strom von hoher Spannung statt eines starken Stromes von kleiner Spannung verwendet werden. Nachdem man Methoden eronnen hatte, die starken Ströme von geringer Spannung in Ströme von geringer Stärke, aber hoher Spannung umzuformen, wurde es möglich, diese hochgespannten Ströme auf weite Strecken fortzuleiten. Die Umformung geschieht durch die sogen. *Transformatoren*, welche dem Prinzip nach ebenso wirken, wie die Induktionsapparate. Ströme von hoher Spannung lassen sich durch dünne, genügend isolierte Kupferdrähte fortleiten und an der Verbrauchsstelle wieder in starke Ströme von geringer Spannung transformieren.

Zur Kraftübertragung mittelst hochgespannter Ströme eignen sich besonders die Wechselstrommaschinen. Durch geeignete Einrichtungen (sogen. *Drehstrommotoren*) gelang es (1891), die Kraftübertragung von Lauffen am Neckar nach Frankfurt a. M. (auf eine Entfernung von 175 km) auszuführen. Die Wasserkraft, die sich in Lauffen in el. Energie umsetzte, lieferte in Frankfurt el. Strom zur Beleuchtung des Ausstellungsplatzes und setzte eine Pumpe in Bewegung, die einen Wasserfall von 10 m Höhe hervorbrachte.

Da mit der Kraftübertragung zugleich eine **Kraftverteilung** verbunden werden kann, so ermöglicht sie nicht nur die Nutzbarmachung von Naturkräften im großen, sondern auch deren Verwertung für den Maschinenbetrieb im Kleingewerbe (el. Kraftübertragung und Kraftverteilung in Berlin, Breslau u. a. O.).

**Übungsstoff.** 1. Vergl. die Dauer der zwischen den folgenden Entdeckungen liegenden Zeiträume miteinander: a. Nachweis der Anwendbarkeit der Dampfspannung zum Maschinenbetriebe und wirkliche Anwendung derselben, b. Entdeckung, daß Bernstein durch Reiben el. wird, und Erfindung der Influenzmaschinen, c. Entdeckung der Berührungs-E. und Anwendung derselben in der Telegraphie, d. Entdeckung der Induktionsströme und Erzeugung derselben durch Dynamomaschinen. — 2. Inwiefern geht bereits aus den einfachsten Versuchen über Induktionsströme (§ 141) hervor, daß zur Erzeugung solcher Ströme mechanische Arbeit erforderlich ist? — 3. Inwiefern ist durch die Anwendung der Dampfkraft überall die Möglichkeit gegeben, die el. Kraft im Großbetriebe auszunutzen? — 4. Welchen Einfluß muß a. die Zahl der Windungen des Induktionsdrahtes, b. die Zahl der Umläufe des Induktors, c. die Größe des magnetischen Feldes auf die Strom-

stärke einer el. Maschine ausüben? — 5. Bei welchen el. Maschinen ist die Intensität des magn. Feldes eine konstante Gröfse und bei welchen nicht? Grund? — 6. Bei welchen dieser Maschinen muß sich hiernach eine Änderung in der Umdrehungsgeschw. am leichtesten bemerklich machen? — 7. Der Ringanker der Grammeschen Maschine wirkt am kräftigsten, wenn er aus zahlreichen ausgeglühten Eisendrähten zusammengesetzt ist, da in diesen der Magnetismus am schnellsten entsteht und wieder verschwindet. Auf welche Beziehung zwischen den Zustandsänderungen im Ringe und in den Induktionsdrähten läßt sich hieraus schließen? — 8. Entfernt man den Schnurlauf einer Influenzmaschine und verbindet ihre Konduktoren mit den Konduktoren einer anderen, in Thätigkeit versetzten Elektrifiziermaschine, so wird die bewegliche Scheibe der Influenzmaschine in Umdrehung versetzt. (Versuch von *Mascart*.) Erkläre diesen Versuch nach dem Prinzip der el. Kraftübertragung! — 9. Welche Vorteile bietet die Kraftübertragung durch den el. Strom gegenüber derjenigen durch mechanische Hilfsmittel, und inwiefern vollendete ein Teil der mittelst E. von Lauffen nach Frankfurt übertragenen Wasserkraft einen vollständigen Kreislauf?

### Thermo-Elektricität und tierische Elektricität.

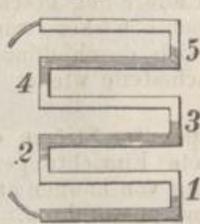
§ 144. Elektrische Ströme lassen sich nicht nur durch chemische Vorgänge und mechanische Arbeit, sondern auch durch Wärme erzeugen. Dies geschieht in der Weise, dafs man zwei Streifen von verschiedenen Metallen an beiden Enden zusammenlötet und eine der beiden Lötstellen erwärmt oder abkühlt. Eine solche Verbindung zweier Metalle heifst ein **Thermoelement** (Fig. 527); mehrere Thermoelemente bilden eine **Thermosäule** (Fig. 528).

**Versuch.** 1) Wird eine der beiden Lötstellen des aus einem

Fig. 527.

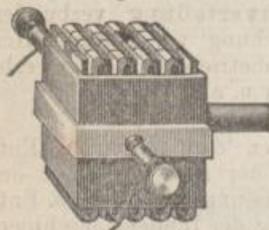


Fig. 528.



einer aus Eisen u. Neusilber zusammengesetzten Thermosäule (Fig. 528)

Fig. 529.



ein Galvanoskop ein, so erhält man beim Erwärmen der geradzahligen oder ungeradzahligen Lötstellen einen um so stärkeren Ausschlag, je größer die Zahl der zugleich erwärmten Lötstellen ist. — Thermosäulen, die aus zahlreichen Antimon- und Wismutstäbchen zusammengesetzt sind (**Thermomultiplikator**, Fig. 529), wirken schon bei äußerst schwacher Erwärmung auf die Nadel eines sehr empfindlichen Galvanoskopes ein.

Die Metalle lassen sich in eine Reihe ordnen, in der bei Verbindung je zweier Metalle zu einem Thermoelement an der wärmeren Lötstelle der positive Strom von dem in der Reihe voranstehenden zu dem folgenden Metalle übergeht. Die wichtigsten Glieder dieser Reihe sind: *Wismut, Nickel, Platin, Blei, Gold, Kupfer, Silber, Zink, Eisen, Antimon*. Für gleiche Temperaturunterschiede ist der Strom um

so stärker, je weiter die Metalle in dieser Reihe voneinander entfernt sind. (Die elektromotorische Kraft eines aus Neusilber und einer Zink-Antimon-Legierung hergestellten Elementes beträgt etwa 0,1 Daniell.)

Die Stärke der Thermostrome ist abhängig 1) von der Natur der Metalle, 2) von der Anzahl der Elemente und 3) von dem Temperaturunterschiede der Berührungsstellen.

Auf das thermoelektrische Verhalten der Metalle übt der Grad der Reinheit und Härte, sowie die Struktur derselben einen Einfluss aus. Ein sehr empfindlicher Multiplikator zeigt schon einen Thermostrom an, wenn der eingeschaltete Draht an einer Stelle etwa durch Hämmern, durch Bildung eines Knotens oder dergl. in seiner Dichtigkeit verändert worden ist und diese Stelle darauf erhitzt wird. — Thermomultiplikatoren lassen sich zu sehr empfindlichen Versuchen über strahlende Wärme anwenden (§ 125).

Die Thermoelektrizität wurde 1821 von *Seebeck* entdeckt, während die umgekehrte Verwandlung von Elektrizität in Wärme schon lange vorher bekannt war. Später zeigte *Peltier* (1834), daß eine Wärmewirkung entsteht, wenn der Strom eines galv. Elementes durch die Berührungsstelle der Metalle geleitet wird; geht der Strom in der Richtung von Wismut zum Antimon, so kühlt sich die Lötstelle ab.

Auch in den Muskeln und Nerven des menschlichen und tierischen Körpers hat man el. Strömungen nachgewiesen, die in engem Zusammenhang mit der Lebensthätigkeit stehen (Untersuchungen von *Du Bois-Reymond*). Einige Fische aus der Familie der Rochen (der Zitterrochen) und aus der Familie der Aale (der Zitteraal) besitzen sogar besondere elektrische Organe, durch welche sie bei bloßer Berührung sehr empfindliche el. Schläge erteilen können.

**Übungsstoff.** 1. Wie wird sich die Magnetnadel (Fig. 527) verhalten, a. wenn man beide Lötstellen zugleich erwärmt, b. wenn man sie zugleich abkühlt? — 2. Wie hat man zu verfahren, um einen möglichst starken Strom zu erhalten? — 3. Leite aus der Spannungsreihe ab, warum Eisen und Nickel, namentlich aber Antimon und Wismut zu Thermoelementen besser geeignet sind, als z. B. Eisen und Kupfer. — 4. Führe nach der Spannungsreihe mehrere Metallverbindungen an und ordne sie nach der Stärke des Stromes, den sie bei gleicher Temperaturveränderung liefern würden. — 5. Welche Richtung hat der + Strom in Fig. 527 und 528 bei einer Erwärmung a. der links, b. der rechts gelegenen Lötstellen an diesen Lötstellen selbst? — 6. Desgl. im Schließungsbogen der Thermosäule (Fig. 528)? — 7. Wie läßt sich bei der angeführten Reihe, wenn man die Anfangsbuchstaben des ersten und letzten Gliedes berücksichtigt, leicht behalten, welche Richtung der + Strom im Schließungsbogen hat? (Vergl. dies mit der auf eine galv. Batterie anwendbaren Regel über die Stromrichtung.) — 8. Neusilber hat einen bedeutend höheren Schmelzpunkt als Wismut oder Antimon. Wismut schmilzt bei +270°, Antimon bei +425° C. Warum ist dies bei der Herstellung einer zur Erzeugung von starken Strömen bestimmten Thermosäule zu berücksichtigen? — 9. Welchen Zweck hat es, die Thermosäulen so einzurichten, daß die ungeradzahigen Lötstellen den geradzahigen gegenüberliegen?

## VIII. Abschnitt.

### Rückblick.

§ 145. **Lebendige Kraft. Spannkraft.** Wird ein Körper in Bewegung versetzt, etwa eine Kugel abgeschossen, ein Eisenbahnzug