

eines elektrischen Stromes hervortreten. Besonders sind die Induktionsströme zur Erzeugung kräftiger, physiologischer Wirkungen geeignet (§§ 334, 345).

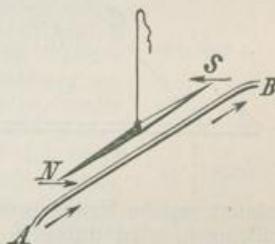
A. Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes.

§ 314. Wir beginnen mit der näheren Betrachtung der magnetischen Wirkungen des Stromes, weil dieselben das beste Hilfsmittel zur Messung der Stromstärke und zur Untersuchung der Gesetze, welchen die Entstehung elektrischer Ströme unterworfen ist, darbieten.

a. Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom. Messung und allgemeine Gesetze der Stromstärke.

§ 315. Ablenkung der Magnetnadel; Ørsted's Versuch; Ampèresche Regel. Die Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom wurde i. J. 1820 von Ørsted (1777—1851) zu Kopenhagen entdeckt. Über einem horizontal und in der Richtung des magnetischen Meridians ausgespannten Kupferdraht *AB* (Fig. 263) sei eine Magnetnadel an einem Seidenfaden horizontal schwebend aufgehängt. Durch den Einfluß des Erdmagnetismus wird dieselbe dem Draht parallel gerichtet. Wird jetzt durch den Draht *AB* ein elektrischer Strom geleitet, so daß der positive Strom in der Richtung der Pfeile von *N* nach *S* fließt, so beobachtet man, daß die Magnetnadel aus ihrer Ruhelage abweicht und zwar so, daß das Nordende der Nadel nach Westen (in der Figur nach rechts), das Südende nach Osten (links) abgelenkt wird. Wird die Richtung des Stromes umgekehrt, so erfolgt die Ablenkung der Nadel im entgegengesetzten Sinne.

Fig. 263.

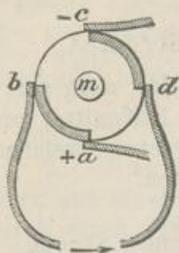


Ist der Strom stark genug, so stellt sich die Nadel fast senkrecht zur Richtung des Drahtes, bei geringerer Stromstärke, oder bei größerer Entfernung vom Draht nimmt dieselbe eine mittlere, unter einem mehr oder minder großen, spitzen Winkel gegen den Draht geneigte Lage an. Wird die Nadel nicht über, sondern unter dem Draht aufgehängt, so weicht bei der durch die Pfeile bezeichneten Stromrichtung der Nordpol nach Osten (links), der Südpol nach Westen (rechts) ab. Wird die Nadel in gleicher Höhe mit dem Draht auf der Ostseite aufgehängt, so erfährt das Nordende eine Ablenkung nach oben, auf der Westseite des Drahtes nach unten. Durch Wechsel der Stromesrichtung geht in jedem Fall die Ablenkung in die entgegengesetzte über. Ampère hat folgende, leicht zu merkende Regel angegeben, durch welche in jedem Fall die Richtung der Ablenkung bestimmt wird: Man denke sich selbst in den Strom versetzt, so daß der positive Strom bei den Füßen eintritt und am Kopfe austritt, das Gesicht sei dem Nordende der Magnetnadel zugewendet, so wird dieses jederzeit nach der linken Seite des Beobachters abgelenkt.

Zum schnellen und bequemen Wechsel der Stromesrichtung im Schließungskreise einer galvanischen Kette bedient man sich des sogenannten Stromwenders oder Kommutators. Von den mannigfaltigen Formen, welche man diesem gegeben hat, soll hier nur eine der einfachsten erwähnt werden; *abcd* (Fig. 264) stellt den Querschnitt eines aus nichtleitender Substanz gebildeten

Cylinders vor, der um seine Axe *m* gedreht werden kann. In die Oberfläche desselben sind die leitenden Metallstreifen *ab* und *cd* eingelegt. Bei *a*, *b*, *c* und *d* schleifen auf der Oberfläche der Walze vier elastische Federn aus gehärtetem Messingblech, von denen zwei gegenüberstehende, *a* und *c*, mit den Polen der Kette, die beiden anderen aber mit dem Schließungsbogen verbunden sind. Bei der gezeichneten Stellung der Walze steht *b* mit *a*, *d* mit *c* in leitender Verbindung, und der positive Strom durchläuft den Schließungsbogen in der Richtung des Pfeiles. Wird die Walze 90° um ihre Axe gedreht, so werden diese Verbindungen aufgehoben, dagegen tritt *d* mit *a* und *c* mit *b* in leitende Verbindung, der Strom cirkuliert daher im Schließungsbogen in umgekehrter Richtung. (Der Gyrotrop von Pohl, 1828.)

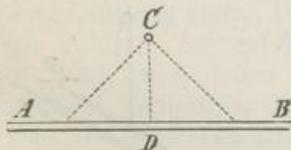
Fig. 264.



Eine wichtige Bemerkung über die Richtung der von einem elektrischen Strom auf einen Magnetpol ausgeübten Kraft mag hier Platz finden. Alle Kräfte, deren Wirkungen

bisher erläutert worden sind, zerfallen in Anziehungs- und Abstofsungskräfte, welche die auf einander wirkenden Körper in der Richtung ihrer Verbindungslinie einander zu nähern oder von einander zu entfernen streben — so z. B. die allgemeine Massenanziehung oder Gravitation, die zwischen elektrischen Körpern oder Magnetpolen wirkenden Anziehungs- und Abstofsungskräfte. Die Wirkung dagegen, welche ein geradliniger, von einem elektrischen Strom durchflossener Leitungsdraht *AB* (Fig. 265) auf einen in *C* befindlichen Magnetpol ausübt, ist weder eine anziehende, noch eine abstofsende. Dieselbe steht senkrecht zu den von *C* nach den Punkten der Geraden *AB* gezogenen Verbindungslinien, oder ihre Richtung ist senkrecht auf der durch den geradlinigen Stromleiter *AB* und den Magnetpol *C* gelegten Ebene. Könnte man die beiden Pole einer Magnetsadel von einander trennen, so würden beide den Draht in immer gleicher Entfernung (abgesehen vom Beharrungsvermögen) zu umkreisen streben. Auf welche Weise man dazu

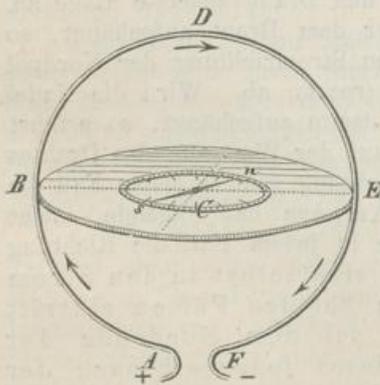
Fig. 265.



gelangt, solche Kreisbewegungen der Magnetpole um Stromleiter wirklich hervorzubringen, wird unten (§ 327) erläutert werden.

§ 316. Tangentenbusssole. (Pouillet, 1837.) Auf der ablenkenden Wirkung, welche der elektrische Strom auf die Magnetnadel ausübt,

Fig. 266.



beruht der Gebrauch eines der wichtigsten Instrumente zur Messung der Stärke oder Intensität elektrischer Ströme, der Tangentenbusssole. Ein kreisförmig gebogener Metalldraht *ABDEF* (Fig. 266) sei so aufgestellt, daß die Ebene des Kreises vertikal ist und mit der Ebene des magnetischen Meridians (§ 299) zusammenfällt. Die von einander isolierten Drahtenden *A* und *F* können mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung gesetzt werden. Inmitten des Drahtkreises schwebt die in horizontaler Richtung freidrehbare Magnetnadel *sm*, deren Axe in ihrer Ruhelage in der Ebene des magnetischen Meridians, also in der Ebene des Drahtkreises, liegt. Ein durch den Draht geleiteter Strom wirkt ablenkend auf die Nadel und zwar ist, wenn man sich nach der Ampèreschen Regel (§ 315) im Strom herumschwimmend denkt, leicht ersichtlich, daß alle Teile des Kreisstromes in gleichem Sinne ablenkend wirken. Der

Winke
kann
Derse
Stärke
geleit
Zu die
die Gr
abhäng
werden
winke
instrum

Ein
größer
Sekunde
als der
wird an
Ströme
gleich
oder we
zeichnet

Es
Stromkr
drehbar
Lage.
werden,
gewicht
drehen
recht au
in die
tende V
des Stro
die auf
DG = T
ablenken
kung be
Ebenso
den Krä
gleich, d
der Heh
gebildete
Moment
beider K
fallen. I
Winkel
Ströme d
und der
behält:

oder die
trigono
Bezeichn
von 45°

oder, da

Bei obige
Stromstär
Fall, wer

Winkel, um welchen die Magnetnadel aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird, kann an einer unter derselben angebrachten Gradtheilung abgelesen werden. Derselbe wächst mit der Stromstärke und kann daher dazu dienen, die Stärke verschiedener Ströme, welche nach einander durch den Kreisdraht geleitet werden, zu vergleichen, oder die Stromintensitäten zu messen. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, das Gesetz zu kennen, nach welchem die Größe des Ablenkungswinkels von der Stärke des elektrischen Stromes abhängt: Die Stromstärke ist, wie durch einfache Betrachtungen gezeigt werden kann, der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Von diesem Umstand hat das wichtige Meßinstrument den Namen der Tangentenbussole erhalten.

Ein elektrischer Strom besitzt um so größere Stärke oder Intensität, je größer die Elektrizitätsmenge ist, welche in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Sekunde, durch den Leitungsdraht fließt. Ein Strom ist 2, 3...mal so stark als der andere, wenn diese Elektrizitätsmenge 2, 3...mal so groß ist. Man wird annehmen dürfen, daß die ablenkenden Kräfte, welche zwei verschiedene Ströme auf einen in der Nähe befindlichen Magnetpol ausüben, unter übrigens gleichen Umständen in demselben Verhältnis stehen, wie die Stromintensitäten, oder wenn diese Kräfte mit S_1 und S_2 , die Stromintensitäten mit i_1 und i_2 bezeichnet werden, so wird $S_1 : S_2 = i_1 : i_2$ sein.

Es stelle nun AB (Fig. 267) den Horizontaldurchschnitt der Ebene des Stromkreises einer Tangentenbussole vor, und DE sei die Richtung der um C drehbaren Magnetnadel in ihrer durch den Strom abgelenkten Lage. Die Nadel kann als ein um C drehbarer Hebel betrachtet werden, welcher sich unter Einfluß zweier Kräftepaare im Gleichgewicht befindet, die denselben in entgegengesetzter Richtung zu drehen streben. Die ablenkende Kraft des Stromes steht senkrecht auf der Ebene des Stromkreises AB und strebt die Nadel in die Richtung von Ost nach West zu stellen, während die richtende Wirkung des Erdmagnetismus dieselbe in die Ebene des Stromkreises zurückzuführen strebt. Wir betrachten zunächst die auf den Nordpol D der Nadel wirkenden Kräfte. Es stelle $DG = T$ die richtende Kraft des Erdmagnetismus, $DF = S$ die ablenkende Kraft des Stromes vor. Die gemeinschaftliche Wirkung beider kann durch die Resultierende DK ersetzt werden. Ebenso stellt EL die Resultierende der auf den Südpol wirkenden Kräfte dar, welche der Resultierenden DK der Größe nach gleich, der Richtung nach parallel und entgegengesetzt ist. Damit der Hebel unter der Einwirkung des von beiden Resultierenden gebildeten Kräftepaares (§ 50) im Gleichgewicht sei, ist erforderlich, daß das Moment des Paares gleich Null sei, was nur möglich ist, wenn die Richtungen beider Kräfte mit der magnetischen Axe der Nadel DE in eine gerade Linie fallen. Ist $\alpha = ACD$ der Ablenkungswinkel der Nadel, so ist im Dreieck GDK Winkel $GDK = \alpha$, mithin $S = T \cdot \tan \alpha$. Leitet man nach einander zwei Ströme durch den Kreisdraht der Tangentenbussole, deren Intensitäten i_1 und i_2 , und deren ablenkende Kräfte S_1 und S_2 sind, so ist, da T denselben Wert behält:

$$i_1 : i_2 = S_1 : S_2 = \tan \alpha_1 : \tan \alpha_2,$$

oder die Intensitäten beider Ströme sind, wie oben behauptet wurde, den trigonometrischen Tangenten der Ablenkungswinkel proportional. Bezeichnet man mit a die Intensität desjenigen Stromes, welcher eine Ablenkung von 45° hervorbringt, so hat man für einen beliebigen anderen Strom:

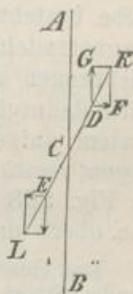
$$i : a = \tan \alpha : \tan 45^\circ,$$

oder, da $\tan 45^\circ = 1$ ist,

$$i = a \cdot \tan \alpha.$$

Bei obiger Entwicklung ist vorausgesetzt worden, daß die ablenkende Kraft S der Stromstärke i proportional sei. Dies ist jedoch, streng genommen, nur dann der Fall, wenn die Lage des Magnetpols gegen den Stromkreis in beiden Fällen die-

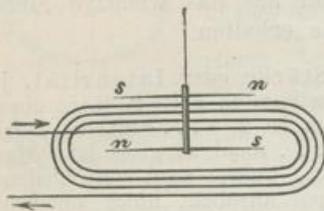
Fig. 267.



selbe ist, während sich in Wirklichkeit die Entfernung der Pole von den einzelnen Teilen des Stromkreises mit der Größe des Ablenkungswinkels ändert. Der Einfluß dieses Umstandes kann jedoch ohne merklichen Fehler vernachlässigt werden, wenn die Länge der Nadel nicht mehr als etwa den sechsten Teil vom Durchmesser des Stromkreises beträgt.

§ 317. Multiplikator, Galvanometer. Zur Wahrnehmung und Messung sehr schwacher elektrischer Ströme dient der von Schweigger (1820) und Poggendorff (1821) erfundene Multiplikator. Man verstärkt nämlich die Wirkung des Stromes auf

Fig. 268.



die Magnetnadel dadurch, daß man denselben nicht nur in einfachem Umkreise, sondern in zahlreichen Windungen um die Magnetnadel laufen läßt und diese der Nadel möglichst nahe bringt. Der Leitungsdraht wird zu diesem Zweck in mehr oder minder zahlreichen Windungen um ein rechteckiges Holzrähmchen gewunden, in dessen Innerem die Nadel schwebt (Fig. 268). Damit der Strom den Draht der ganzen Länge nach durchlaufe und nicht von einer Windung unmittelbar zur benachbarten übergehen könne, müssen die Drahtwindungen durch Umspinnen mit Seide von einander isoliert sein. Die Empfindlichkeit des Apparates wurde noch beträchtlich erhöht, seitdem Nobili (1824) anstelle der einfachen Magnetnadel eine sogenannte astatiche Nadel zur Anwendung brachte. Dieselbe besteht aus einem System von zwei mit einander fest verbundenen Magnetnadeln mit parallelen Axen, deren Pole nach entgegengesetzten Richtungen gekehrt sind. Sind beide Nadeln gleich stark magnetisiert, so wird dadurch die richtende Wirkung des Erdmagnetismus auf das Nadel-system aufgehoben. Die Wirkungen des Stromes auf beide Nadeln dagegen verstärken einander, wenn das System so aufgehängt ist, daß, wie in Fig. 268 angedeutet, die untere Nadel im Innern des Drahtgewindes, die obere dagegen über demselben schwebt.

Das Gesetz, nach welchem der Ablenkungswinkel der Magnetnadel mit wachsender Stromstärke zunimmt, ist beim Galvanometer weniger einfach, als bei der Tangentenbussole, und muß für jedes Instrument durch besondere Versuche ermittelt werden. Bei Ablenkungen von wenigen Graden darf man die Stromstärke dem Ablenkungswinkel proportional annehmen, dann aber wächst die Ablenkung in geringerem Verhältnis als die Stromstärke. Man hat Multiplikatoren von 30—40000 Windungen hergestellt. — In neuerer Zeit sind für genauer messende Versuche die Spiegelgalvanometer in Anwendung gekommen, deren Gebrauch auf der von Poggendorff angegebenen Spiegelablesung (§ 302) beruht. Im Innern des Multiplikatorgewindes ist dabei ein magnetisierter Stahlspiegel aufgehängt, in welchem man, mittelst eines in geeigneter Entfernung aufgestellten Fernrohrs, das Spiegelbild einer in Millimeter getheilten Skala beobachtet.

§ 318. Gesetze der Stromstärke. Ohmsches Gesetz. Die Tangentenbussole kann dazu dienen, die Gesetze, von welchen die Intensität elektrischer Ströme abhängt, zu ermitteln. Schaltet man in den Schließungsbogen der galvanischen Kette eine Tangentenbussole ein, so ist die Ablenkung der Magnetnadel einerseits von der Beschaffenheit der Kette selbst, nämlich von der Art und Anzahl ihrer Elemente, andererseits von der Beschaffenheit des Schließungsbogens abhängig. Je länger und dünner nämlich der Schließungsdraht gewählt wird, desto kleiner wird die Ablenkung der Magnetnadel, woraus man schließen muß,

dafs
Wid
wächs
G. S
der S
Kräf
geke
tromo
zeich

Di
gesetz
der K
Bescha
Elemen
elektro
D
von d
heißt
aufse
eines
bezeich
die St

Von
führ
von d
ein se
größ
wird
und
mind

U
vergr
versch
der E
oder
der K
welch
äußer
Forme
innere
rung
werden
ment
äußer
versch
gebrac

lichen
gesteig
demsel
mente
in dies
(Hare
M

dafs der elektrische Strom bei seinem Durchgang durch den Draht einen Widerstand zu überwinden hat, welcher mit der Länge des Drahtes wächst und um so gröfser ist, je geringer der Querschnitt des Drahtes. G. S. Ohm hat (1827) das Gesetz aufgestellt, dafs die Stromintensität der Summe aller in der Kette wirksamen, elektromotorischen Kräfte direkt, der Summe aller Leitungswiderstände aber umgekehrt proportional ist. Wird die Stromintensität mit J , die elektromotorische Kraft der Kette mit E , der Gesamtwiderstand mit W bezeichnet, so wird das Gesetz durch die Formel ausgedrückt:

$$1. \quad J = \frac{E}{W}.$$

Die elektromotorische Kraft jedes einzelnen Elementes einer zusammengesetzten Kette hängt, wie oben (§ 308) erläutert, sowohl von der Stellung der zu der Kette verwendeten Metalle in der elektrischen Spannungsreihe, als von der Beschaffenheit der Flüssigkeiten der Kette ab. Besteht die Kette aus n gleichen Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft e besitzt, so ist die gesamte elektromotorische Kraft $E = ne$.

Der Leitungswiderstand rührt theils von dem Schließungsbogen, theils von den Elementen der Kette selbst her. Der Widerstand in der Kette heifst der innere oder wesentliche, der Widerstand im Schließungsbogen der äußere oder auferwesentliche Widerstand. Wird der innere Widerstand eines Elementes der Kette mit w , der Widerstand des Schließungsbogens mit L bezeichnet, und besteht die Kette aus n Elementen, so geht die obige Formel für die Stromstärke über in:

$$2. \quad J = \frac{ne}{nw + L} \quad \text{oder auch} \quad 3. \quad J = \frac{e}{w + \frac{1}{n}L}.$$

Von dem Widerstand der Teile des Schließungsbogens wird unten (§ 319) ausführlicher die Rede sein. Der innere Widerstand der Kette rührt hauptsächlich von den flüssigen Leitern derselben her, welche, wie unten (§ 320) gezeigt wird, ein sehr viel geringeres Leitungsvermögen besitzen als die Metalle. Durch Vergrößerung der Oberfläche der in die Flüssigkeit eingetauchten Metallplatten wird der Querschnitt der vom Strom durchflossenen Flüssigkeitssäule vergrößert und dadurch der wesentliche Widerstand in demselben Verhältnis vermindert.

Um bei gegebenem Widerstand des Schließungsbogens L die Stromstärke J zu vergrößern, stehen, wie aus der Betrachtung der Formeln 2) und 3) hervorgeht, zwei verschiedene Mittel zu Gebote, nämlich entweder durch Vermehrung der Anzahl der Elemente die elektromotorische Kraft der Kette zu vergrößern, oder durch Vergrößerung der Plattenoberfläche den wesentlichen Widerstand der Kette zu vermindern. Aus der Betrachtung der Formeln ergiebt sich auch, welches von beiden Mitteln in jedem Fall das zweckmässigere ist. Ist nämlich der äußere Widerstand L sehr groß, wie z. B. bei Telegraphenleitungen, so dafs in Formel 2) das Glied nw gegen L verschwindet, so würde die Verminderung des inneren Widerstandes geringen Nutzen gewähren; dagegen würde durch Vermehrung der Anzahl der Elemente die Stromstärke in demselben Verhältnis vermehrt werden. Man wendet also bei Telegraphenleitungen möglichst zahlreiche Elemente mit mässiger Oberfläche der Platten an. — Ist umgekehrt der äußere Widerstand L so klein, dafs er gegen den inneren Widerstand der Kette verschwindet, wie z. B., wenn ein kurzer Metalldraht zum Glühen oder Schmelzen gebracht werden soll, so würde eine vermehrte Anzahl der Elemente keinen wesentlichen Nutzen gewähren, indem die Stromstärke dadurch nie über das Maximum $\frac{e}{w}$ gesteigert werden kann (Formel 3). Dagegen wird die Stromstärke nahezu in demselben Verhältnis wachsen, in welchem der Widerstand w der einzelnen Elemente vermindert, also ihre Plattenoberfläche vergrößert wird. Man wendet also in diesem Fall wenige Elemente mit sehr großer Plattenoberfläche an (Hares Spirale § 310).

Mehrere einzelne Elemente können entweder, wie in § 310 angegeben, hinter

einander geschaltet werden, indem man das negative Metall jedes Elementes mit dem positiven des folgenden verbindet, oder man kann dieselben parallel schalten, indem sämtliche positive (Zink-)Platten unter sich und sämtliche negative (Kupfer-)Platten unter sich in leitende Verbindung gesetzt werden. Im letzteren Fall wirken alle verbundenen Elemente zusammen wie ein einziges Element mit n mal vergrößerter Plattenoberfläche, also mit n mal kleinerem inneren Widerstand, während im ersten Fall sowohl die elektromotorische Kraft als der innere Widerstand n mal größer ist, als bei einem einzelnen Element. — Zwölf Elemente können auf mannigfaltige Weise, z. B. zu 12×1 , zu 6×2 , zu 4×3 , zu 3×4 , u. s. w. gruppiert werden. Es läßt sich erweisen, daß man bei gegebener Gesamtoberfläche der Platten und gegebenem Widerstand des Schließungsbogens die möglichst große Stromstärke erhält, indem man die Elemente so mit einander verbindet, daß der gesamte innere Widerstand der Kette gleich ist dem gesamten äußeren Widerstand des Schließungsbogens.

§ 319. Leitungswiderstand der Metalle. Der Schließungsbogen der Kette ist in der Regel aus mehreren auf einander folgenden metallischen oder auch flüssigen Leitern von verschiedener Beschaffenheit zusammengesetzt. Der gesamte äußere Widerstand ist dann gleich der Summe der Widerstände seiner Bestandteile. Der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes ist seiner Länge direkt, seinem Querschnitt aber umgekehrt proportional. Außerdem aber ist derselbe von der Beschaffenheit des Metalles abhängig, indem sich die verschiedenen Metalle durch ihr spezifisches Leitungsvermögen unterscheiden. Schaltet man z. B. in den Schließungsbogen derselben Kette nach einander gleich lange und gleich dicke Drähte aus Silber, Eisen und Platin ein, so bewirkt der Silberdraht die geringste, der Platindraht aber die größte Verminderung der Stromstärke, woraus folgt, daß Silber ein größeres Leitungsvermögen als Eisen und dieses ein größeres als Platin besitzt.

Um die Leitungswiderstände verschiedener Drähte zu vergleichen und das spezifische Leitungsvermögen der Metalle zu bestimmen, kann man sich folgender Methode bedienen: Man schaltet in den Schließungsbogen einer Kette eine Tangentenbussole und außerdem den Draht ein, dessen Leitungswiderstand gemessen werden soll, und beobachtet den Ablenkungswinkel. Nachdem man sodann den zu messenden Widerstand aus dem Schließungsbogen entfernt hat, ersetzt man denselben durch einen Neusilber- oder Platindraht, dessen Länge beliebig abgeändert werden kann. Man reguliert nun diese Länge so, daß die Ablenkung wieder ebenso groß ist, wie im ersten Falle. Der Widerstand des Drahtes, dessen Leitungsvermögen bestimmt werden soll, ist dann gleich dem des Platindrahtes, durch welchen er ersetzt wird, und die Länge des eingeschalteten Platindrahtes giebt ein Maß für den Widerstand. Um die Länge des zur Vergleichung dienenden Platin- oder Neusilberdrahtes leicht abändern und messen zu können, dient der Rheostat von Wheatstone (1843). Der zur Vergleichung dienende Draht ist in einer Schraubenlinie um eine nichtleitende Walze aus Marmor oder gefirnifstem Holz gewunden, welche um ihre Axe gedreht werden kann. An derselben befindet sich eine Vorrichtung, durch welche bei jeder Umdrehung der Walze eine Windung des Schraubendrahtes in den Stromkreis eingeschaltet, oder aus demselben herausgenommen wird. Am Umfang der Walze ist eine Teilung angebracht, an welcher noch die Hundertstel einer Umdrehung abgelesen werden können. Sind z. B., um die Widerstände zweier Metalldrähte zu ersetzen, beziehungsweise 7,2 und 12,6 Windungen des Rheostatendrahtes erforderlich, so stehen ihre Widerstände im Verhältnis von 7,2 : 12,6 oder 4 : 7. Um die Resultate der mit verschiedenen Apparaten angestellten Messungen unter einander vergleichbar zu machen, kann man, nach dem Vorschlag von Siemens (1849), als gemeinsame Widerstandseinheit den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt wählen (vergl. § 320a).

Eine zweite genauere und allgemein übliche Methode der Bestimmung des Leitungswiderstandes gründet sich auf die Stromverzweigungen, von denen im nächsten Paragraphen die Rede ist.

§ 319a. Fortsetzung. Stromverzweigung (Kirchhoff, 1845).
Teilt sich ein Leitungsdraht in einem beliebigen Punkt M in zwei (oder mehrere) Zweige, so ergeben sich für die Verteilung des Stromes die Gesetze:

a. Die Zweigströme sind zusammen so stark wie der Hauptstrom, d. h. wenn die Intensitäten der ersteren i_1 und i_2 , die des Hauptstromes i sind, so hat man:

$$1. \quad i_1 + i_2 = i,$$

denn eine Änderung der Gesamtintensität würde eine Anhäufung von Elektrizität bei M zur Folge haben.

b. Bildet eine Anzahl von Stromleitern eine geschlossene Figur, so ist die Summe der Produkte aus ihren Stromstärken und den zugehörigen Widerständen gleich der Summe aller im Stromkreise vorhandenen elektromotorischen Kräfte.

Denn sind etwa (Fig. 269) E_1 und E_2 die in den beiden, ein geschlossenes System bildenden, Leitern wirkenden elektromotorischen Kräfte, i_1 und i_2 die Stromstärken, w_1 und w_2 die Widerstände in den beiden Leitern $A1a$ und $B2b$, $A-a (= e_1)$ und $B-b (= e_2)$ bezüglich die elektromotorische Kraft oder der Spannungsunterschied (§ 307) in dem ersten und in dem zweiten Leiter, so hat man nach dem Ohmschen Gesetz (§ 318):

$$i_1 w_1 = A-a \quad \text{und} \quad i_2 w_2 = B-b;$$

nunmehr ist aber:

$$E_1 = A-b \quad \text{und} \quad E_2 = B-a;$$

demnach ergibt sich:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = E_1 + E_2,$$

und ebenso allgemein:

$$2. \quad \sum i w = \sum E.$$

Die beiden Kirchhoffschen Sätze dienen zur Bestimmung von i_1 und i_2 der Verzweigungen $A1B$ und $A2B$ (Fig. 269a), in welche sich ein Hauptstrom E von der Stärke i bei A und B zerteilt. Man erhält nämlich (Gl. 2) für die beiden Stromkreise $KA1BK$ und $KA2BK$ bezüglich:

$$w i + w_1 i_1 = E \quad \text{und} \quad w i + w_2 i_2 = E,$$

woraus:

$(w w_1 + w w_2) i + w_1 w_2 (i_1 + i_2) = (w_1 + w_2) E$ herzuweisen ist, und weil für den Verzweigungspunkt A (Gl. 1)

$$i = i_1 + i_2$$

ist, so ergibt sich:

$$i = \frac{(w_1 + w_2) \cdot E}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2},$$

und daraus durch Einsetzen auch die Stromstärken i_1 und i_2 in den Zweigdrähten. Sind die letzteren so lang, daß w gegen w_1 und w_2 vernachlässigt werden darf, so werden die Ausdrücke für die Stromstärken besonders einfach, nämlich:

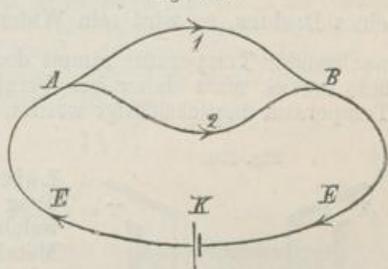
$$i = \frac{(w_1 + w_2) E}{w_1 w_2}, \quad i_1 = \frac{E}{w_1}, \quad i_2 = \frac{E}{w_2}.$$

Aus den Ausdrücken für i_1 und i_2 geht hervor, daß die Stärke der Zweigströme dieselbe ist, als wenn man die Zweigdrähte einzeln zur Schließung des Stromes

Fig. 269.



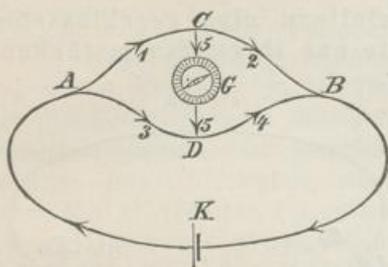
Fig. 269a.



verwendete. Man kann darum dieselbe Batterie gleichzeitig zum Telegraphieren auf mehreren Leitungsdrähten benutzen.

Stromverzweigungen dienen auch zur Widerstandsmessung mittelst der Wheatstoneschen Brücke. Der Schließungsbogen der Kette *K* (Fig. 269b) ist in die beiden Zweige *ACB* und *ADB* geteilt, welche durch den Querdraht *CD* verbunden sind. Es entstehen dadurch die vier Abschnitte *AC*, *CB*, *AD*, *DB*, deren Widerstände der Reihe nach mit w_1, w_2, w_3, w_4 bezeichnet werden, der Widerstand im Querdraht *CD* sei w_5 ; entsprechend seien die Stromstärken in den fünf Zweigdrähten i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 . Es läßt sich jetzt leicht darthun, daß in dem Querdraht *CD* kein Strom stattfindet, wenn $w_1 : w_2 = w_3 : w_4$ ist, und umgekehrt. Soll nämlich $i_5 = 0$ sein, so wird, weil (Gl. 1) für die Verzweigungen bei *C* und *D*

Fig. 269b.



$$i_1 = i_2 + i_5 \quad \text{und} \quad i_3 = i_4 - i_5$$

sein muß:

$$i_1 = i_2 \quad \text{und} \quad i_3 = i_4,$$

und nunmehr (Gl. 2) in den geschlossenen Stromkreisen *ACD* und *BCD*, in denen neue elektromotorische Kräfte nicht eintreten, also ΣE verschwindet:

$$i_1 w_1 + i_5 w_5 - i_3 w_3 = 0$$

$$\text{und} \quad i_2 w_2 - i_4 w_4 - i_5 w_5 = 0,$$

folglich, weil $i_5 = 0$ ist:

$$i_1 w_1 = i_3 w_3 \quad \text{und} \quad i_2 w_2 = i_4 w_4,$$

und demnach durch Division

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}.$$

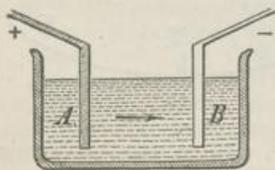
Wird also z. B. $w_1 = w_3$ gemacht, so muß auch $w_2 = w_4$ sein. Schaltet man nun in den Stromzweig *CD* ein empfindliches Galvanometer ein, so wird dieses keine Ablenkung zeigen, sobald die angegebene Bedingung erfüllt ist. Bringt man also in den Zweig *BC* einen Rheostaten, in den Zweig *DB* den Draht, dessen Widerstand gemessen werden soll, und reguliert die Stellung des ersteren, so daß das Galvanometer keine Ablenkung zeigt, so giebt die Anzahl der eingeschalteten Windungen des Rheostaten ein Maß für den Widerstand des Drahtes.

Vergleicht man auf diese Weise die Widerstände gleich langer und gleich dicker Drähte aus verschiedenen Metallen mit demselben Neusilber- oder Platindraht, so kann man das spezifische Leitungsvermögen derselben ermitteln. So fand Matthiessen (1857), wenn das Leitungsvermögen des Silbers = 100 gesetzt wird, folgende Zahlen:

Silber	100	Eisen	14,44	Blei	7,77
Kupfer	77,43	Palladium	12,64	Antimon	4,29
Gold	55,19	Zinn	11,45	Quecksilber	1,63
Zink	27,39	Platin	10,53	Wismut	1,19.

Bezeichnet *l* die Länge, *q* den Querschnitt, *s* das spezifische Leitungsvermögen eines Drahtes, so wird sein Widerstand durch die Formel $\frac{l}{qs}$ ausgedrückt. — Mit wachsender Temperatur nimmt der Leitungswiderstand der Metalldrähte beträchtlich zu; es muß daher bei Vergleichung der Leitungsfähigkeit der Metalle die Temperatur berücksichtigt werden (vergl. auch § 232).

Fig. 270.



§ 320. Um die Widerstände flüssiger Leiter zu bestimmen, bringt man dieselben in einen Trog von rechteckigem Querschnitt (Fig. 270), in welchem die zur Zuleitung des Stromes dienenden Metallplatten *A* und *B*, welche den ganzen Querschnitt des Troges ausfüllen, einander genähert oder von einander entfernt werden können. Hat man beide Platten anfänglich in eine gemessene Entfernung gebracht und erhöht dieselbe um eine bestimmte Größe, so wird dadurch die Länge der eingeschalteten Flüssigkeitssäule um ebensoviel vermehrt, während ihr Querschnitt gleich ist dem eingetauchten Teil der Plattenoberfläche. Das Leitungsvermögen der nicht metallischen Flüssigkeiten ist im allgemeinen sehr gering im Vergleich mit dem der Metalle; so fand Becquerel, wenn das Leitungsvermögen des Silbers = 100000000 gesetzt wird, das der verdünnten Schwefelsäure (1 Vol. Schwefelsäurehydrat + 11 Vol.

Wasser) = 88,68, der gesättigten Kochsalzlösung 31,52, der gesättigten Kupfer-
 triollösung 5,42. Verdünnte Schwefelsäure leitet am besten bei einem Gehalt
 von etwa $\frac{1}{3}$ Schwefelsäurehydrat und $\frac{2}{3}$ Wasser. Das Leitungsvermögen des
 ganz reinen, destillierten Wassers ist, verglichen mit dem der Metalle und selbst
 der Salzlösungen, so gering, daß das Wasser fast als ein Nichtleiter für den gal-
 vanischen Strom zu betrachten ist.

Über den Leitungswiderstand der Flammen hat Hoppe (1877) aus
 seinen Versuchen gefolgert, daß für jede Flamme die größere Leitungsfähigkeit
 von der größeren Hitze und der größeren Menge des verbrennenden Gases ab-
 hängt, ferner bei verschiedenen Flammen von den verbrennenden Substanzen,
 endlich daß auch für die Flammen das Ohmsche Gesetz Geltung hat.

§ 320a. Absolutes Maßsystem. In der Mechanik lassen sich alle
 Größen durch drei von einander unabhängige oder absolute Einheiten messen,
 nämlich durch die Einheiten der Länge, der Masse und der Zeit. Gauß wählte 1833
 als solche mm, mg, sek.; gegenwärtig ist fast ausschließlich das sogenannte CGS-
 (Centimeter-, Gramm-, Sekunden-) System im Gebrauch, in wel-
 chem cm, g, sek. als Fundamenteinheiten gelten, das Gramm als die Masse eines
 ccm reinen Wassers von 4° C. (§ 12).

Bedient man sich irgend welcher Einheitssysteme bei wissenschaftlichen
 Untersuchungen, so müssen dieselben genügend erklärt und in ihrem Verhältnis
 zu den absoluten Einheiten derart festgestellt sein, daß man mit Sicherheit von
 einem System zu dem anderen überzugehen vermag. Dieser Übergang ist am
 leichtesten zu bewerkstelligen, wenn man für jede Größe die Dimension angiebt,
 in welcher die drei Fundamenteinheiten Länge (l), Masse (m) und Zeit (t) in ihr
 vertreten sind.

Die Dimension einer Geschwindigkeit (§ 30) ist $\frac{s}{t} = lt^{-1}$;

die einer Beschleunigung (§ 32) $\frac{2s}{t^2} = lt^{-2}$;

die einer Kraft (§ 32a) $mg = mlt^{-2}$;

die einer Bewegungsgröße (§ 32a) $mv = mlt^{-1}$;

die einer Arbeit (§ 43) $P.s = mlt^2t^{-2}$;

die einer Winkelgeschwindigkeit (§ 65) $\frac{v}{r} = t^{-1}$;

die eines Trägheitsmomentes (§ 62) $mr^2 = ml^2$.

Im CGS-System bewegt sich also ein Punkt mit der Einheit der Geschwin-
 digkeit, der 1 cm in 1 Sek. zurücklegt, mit der Einheit der Beschleunigung,
 dessen Geschwindigkeit in jeder Sek. um die Einheit zunimmt, u. s. w. Die
 Krafteinheit, durch welche 1 g-Masse die Beschleunigungseinheit erhält, heißt
 das Dyn; dasselbe ist von der auf je ein Gramm wirkenden Schwerkraft der
 981te Teil.

Die Einheit des Magnetismus kommt demjenigen Punkte A zu, welcher
 einen gleich stark magnetischen Punkt B in der Entfernungseinheit mit der Kraft-
 einheit abstößt. Wenn B durch A in dem Abstand l mit einer Kraft k abgestoßen
 wird, so kommt nach dem Coulombschen Gesetz (§ 296) dem Magnetismus von A
 und B die Zahl μ zu, für welche die Beziehung stattfindet:

$$k = \frac{\mu \cdot \mu}{l^2}, \text{ woraus } \mu = l\sqrt{k};$$

demnach ist die Dimension des Magnetismus μ :

$$l \cdot m^{1/2} l^{1/2} t^{-1} = m^{1/2} l^{3/2} t^{-1}.$$

Alle Magnete und der Erdkörper selbst bringen in allen Punkten ihrer Um-
 gebung, deren Gesamtheit als ein magnetisches Feld bezeichnet wird, Kräfte
 hervor, infolge deren sich ein frei beweglicher Magnet in einem solchen Felde so
 stellt, daß die Verbindungslinie seiner Pole mit der Krafrichtung zusammenfällt.
 Das Verhältnis der Kraft k zu dem der Kraft unterworfenen Magnetismus μ
 heißt die Intensität H des magnetischen Feldes, demnach hat:

$$H = \frac{k}{\mu} \text{ die Dimension } m^{1/2} l^{-1/2} t^{-1}.$$

Im CGS-System ist die Intensität des Erdmagnetismus im mittleren Deutsch-
 land etwa 0,45 und diejenige der horizontalen Komponente $0,45 \cdot \cos 67^\circ = 0,18$
 (in Berlin, Mitte 1885, = 0,1852).

In einem Kreise mit dem Radius l fließt die Einheit des elektrischen Stromes, wenn jeder Bogen l desselben auf die Einheit des im Mittelpunkt befindlichen Magnetismus die Krafteinheit ausübt (§ 316). Wenn nun der im Kreise mit dem Radius l fließende Strom auf den im Mittelpunkt befindlichen Magnetismus μ die Kraft k ausübt, so wird die Stromintensität durch die Zahl i dargestellt, welche der Gleichung genügt:

$$k = \frac{2\pi l \cdot i \cdot \mu}{l^2}, \quad \text{woraus:} \quad i = \frac{kl}{2\pi\mu}$$

so daß der Stromintensität die Dimension zukommt:

$$\frac{m l^2 t^{-2}}{m^{1/2} l^{3/2} t^{-1}} = m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}.$$

Die elektromotorische Kraft wird durch folgenden Satz bestimmt: Wenn in einem magnetischen Felde ein Leiter senkrecht sowohl zur eigenen Richtung als auch zur Richtung der magnetischen Kraft sich bewegt, während er selbst immer senkrecht gegen die letztere gehalten wird, so entsteht in dem Leiter eine elektromotorische Kraft e , welche proportional ist seiner Länge l , seiner Geschwindigkeit v und der Intensität H des magnetischen Feldes. Man darf darum setzen:

$$e = lHv,$$

und die Dimension der elektromotorischen Kraft wird:

$$l \cdot m^{1/2} l^{-1/2} t^{-1} \cdot l t^{-1} = m^{1/2} l^{1/2} t^{-2}.$$

Beispielsweise erhält ein geradliniger Draht von 1 m Länge, wenn er senkrecht zur Inklinationsrichtung gehalten und dann senkrecht zu derselben und zu seiner eigenen Richtung in jeder Sekunde um 1 m fortbewegt wird, die elektromotorische Kraft $e = 100 \cdot 0,45 \cdot 100 = 4500 \text{ (cm)}^{1/2} \cdot \text{(gm)}^{1/2} \cdot \text{(sek.)}^{-2}$.

Der Widerstand w ist durch das Ohmsche Gesetz (§ 318) $i = \frac{e}{w}$, oder $w = \frac{e}{i}$ als das Verhältnis der elektromotorischen Kraft zur Stromintensität gegeben. Seine Dimension ist demnach:

$$\frac{m^{1/2} l^{1/2} t^{-2}}{m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}} = l t^{-1}.$$

Weil bei der Messung von Strömen, elektromotorischen Kräften und Widerständen im CGS-System die Maßzahlen teils zu groß, teils zu klein ausfallen, so hat der internationale elektrische Kongreß zu Paris 1881 das von der British association schon früher angewandte „praktische Maßsystem“ angenommen, dessen Einheiten aus denen des absoluten Systems entstehen durch Hinzufügung passender Potenzen von 10 als Faktoren, nämlich:

1 Ampère (A) als Einheit der Stromstärke = $10^{-1} m^{1/2} l^{1/2} t^{-1}$,

1 Volt (V) als Einheit der elektromotorischen Kraft = $10^8 m^{1/2} l^{1/2} t^{-2}$,

1 Ohm (Ω) als Einheit des Widerstandes = $10^9 l t^{-1}$,

verbunden durch die Ohmsche Gleichung:

$$V = \Omega \cdot A.$$

Zur bequemen Messung dienen noch folgende Bestimmungen:

1 Ohm = 1,06 *S. E.* (Siemens-Einheiten, § 319).

1 Ampère scheidet in der Sekunde 1,118 mg Silber aus (§ 340).

Bunsen = 1,8–1,9 Volt; Daniell = 1,1–1,2 Volt.

b. Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

§ 321. Magnetisierung des Eisens durch den elektrischen Strom. Der elektrische Strom wirkt nicht nur ablenkend auf die Magnetnadel, sondern er vermag auch in seiner Nähe befindliche Teilchen von unmagnetischem Eisen zu magnetisieren. Legt man über den horizontal ausgespannten Schließungsdraht einer Kette ein Blatt steifen Papiers und streut auf dieses Eisenfeilspäne, so ordnen sich die Eisenpartikelchen in Reihen, welche quer über den Draht laufen und auf seiner Richtung senkrecht stehen (vergl. § 297). Ein quer über den Draht gelegtes Eisenstäbchen wird in einen Magnet verwandelt, dessen Pole sich nach der Ampèreschen Regel (§ 315) bestimmen lassen. Stärkere magnetische Wirkungen werden erzielt, indem man einen geraden oder huf-

eisenförmig gebogenen Stab von weichem Eisen mit einer Kupferdrahtspirale umgiebt, deren Windungen behufs der Isolierung mit Seide umspunnen sind. So lange ein elektrischer Strom durch den Draht fließt, wird der Eisenstab in einen Elektromagnet verwandelt, welcher alle Eigenschaften eines Stahlmagnets besitzt. Beim Aufhören des magnetisierenden Stromes verschwindet der Magnetismus des Stabes bis auf einen mehr oder minder beträchtlichen Rest, der von der Koerzitivkraft des Eisens (§ 294) herrührt. Hufeisenförmige Elektromagnete können wie Stahlmagnete mit einem beide Pole verbindenden Anker von weichem Eisen armiert werden. Die Stärke des erregten Magnetismus ist (innerhalb gewisser Grenzen) der Intensität des magnetisierenden Stromes und der Anzahl der Drahtwindungen proportional. Der Grad des Magnetismus, welchen ein Elektromagnet aus weichem Eisen anzunehmen fähig ist, übertrifft bei weitem den der kräftigsten Stahlmagnete. Ein Stahlstab wird kräftig und dauernd magnetisiert, indem man denselben mehrmals in gleichem Sinne durch eine vom elektrischen Strom durchflossene Kupferdrahtspirale hindurchzieht.

Die besten Logemannschen hufeisenförmigen Stahlmagnete vermochten bei 500 g Gewicht 12–13 kg zu tragen, größere Magnete von 30–50 kg trugen etwa das fünffache ihres eigenen Gewichts. Henry und Ten Eick konstruieren einen Elektromagnet, welcher bei 27 kg Gewicht 935 kg, also das 34fache seines Gewichts zu tragen vermochte. Ein kleiner, hufeisenförmiger Elektromagnet von 25 mm Länge und 15 mm Breite trug das 420fache seines Gewichts.

Die magnetische Erregung eines hufeisenförmigen Elektromagnets ist verhältnismäßig sehr viel stärker, wenn beide Pole durch einen Anker verbunden sind, als wenn die Tragkraft jedes Poles einzeln geprüft wird. Unterbricht man den magnetisierenden Strom, während die Pole des Hufeisens durch den Anker verbunden sind, so bleibt letzterer an den Polen haften, indem auch nach dem Aufhören des Stromes in dem geschlossenen Elektromagnet ein beträchtlicher Grad von Magnetismus zurückbleibt, welchen man den remanenten Magnetismus nennt. Reißt man jetzt den Anker los, so verschwindet dieser remanente Magnetismus bis auf eine geringe Spur von permanentem Magnetismus, welcher von der auch im weichen Eisen vorhandenen, geringen Koerzitivkraft herrührt.

Auch der Entladungsstrom der Leydener Batterie vermag die Magnetnadel abzulenken und Stahladeln zu magnetisieren, doch sind hier die Gesetze der Magnetisierung, namentlich auch was die Bestimmung der Pole betrifft, weniger einfach, weil der Entladungsstrom der Batterie aus einer Reihenfolge abwechselnd entgegengesetzter Ströme zusammengesetzt ist (§ 280).

§ 322. Magnetismus und Diamagnetismus der Körper. Mittelst der durch den elektrischen Strom erzeugten, kräftigen Elektromagnete ist es Faraday gelungen nachzuweisen, daß der Magnetismus eine viel allgemeinere verbreitete Eigenschaft der Materie ist, als man früher angenommen hatte (vergl. § 294). Faraday machte (1845) die merkwürdige Entdeckung, daß außer Eisen, Nickel und Kobalt und den Verbindungen dieser Metalle auch die meisten anderen metallischen und nichtmetallischen Substanzen, unter Einwirkung hinreichend kräftiger Elektromagnete, magnetische Eigenschaften zeigen, und daß dieselben in zwei Gruppen zerfallen, indem die einen von den Magnetpolen angezogen, die anderen abgestoßen werden. Faraday nannte die letzteren diamagnetische Substanzen. Man prüft das magnetische oder diamagnetische Verhalten der Körper am besten, indem man dieselben in Form kleiner Stäbchen an einem Seidenfaden zwischen den einander genäherten Magnetpolen aufhängt. Bei Erregung des Magnetismus nehmen die Stäbchen entweder die axiale Stellung, d. h. die Richtung der Verbindungslinie beider Pole, oder die äquatoriale Stellung, nämlich senkrecht zu jener Verbindungs-

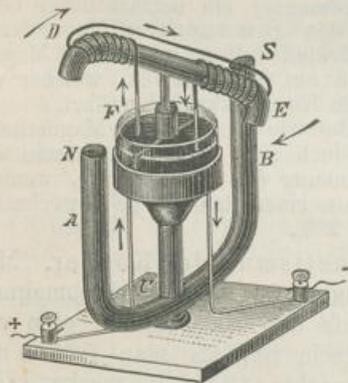
linie an, je nachdem ihre Substanz magnetisch oder diamagnetisch ist. Unter den Metallen sind, aufser den oben genannten, magnetisch: Mangan, Palladium, Platin u. s. w., dagegen diamagnetisch vorzüglich: Wismut, nächst dem Antimon, Zink, Zinn, Blei, Silber, Kupfer, Gold u. s. w.

Flüssigkeiten bringt man in kleinen Mengen in flache, uhrglasförmige Schälchen, welche auf die einander zugewendeten Spitzen der Magnetpole gesetzt werden. Wasser, Alkohol, Schwefelsäure u. s. w. sind diamagnetisch. Auch die gasförmigen Körper erleiden magnetische Einwirkungen. Sauerstoffgas ist magnetisch, die meisten anderen Gase mehr oder minder diamagnetisch. Merkwürdig ist das magnetische Verhalten der Krystalle, indem die Richtung, welche ein zwischen den Magnetpolen aufgehängter Krystall annimmt, nicht nur von dem Magnetismus oder Diamagnetismus der Substanz, sondern auch von der molekularen Struktur, namentlich von der Richtung der Blätterdurchgänge des Krystalls (§ 22), abhängt.

Tyndall hat nachgewiesen, daß die diamagnetischen Körper, ähnlich wie die magnetischen, zwischen den Magnetpolen eine Polarität annehmen, welche aber der des Eisens entgegengesetzt ist, so daß der Nordpol im Wismut einen Nordpol, der Südpol aber einen Südpol hervorruft.

§ 323. Anwendung des Elektromagnetismus als bewegender Kraft. Ritchies rotierender Magnet; Stromunterbrecher. Man hat zahlreiche Vorrichtungen hergestellt, welche dazu dienen, die Anziehungskraft der Elektromagnete zur Erzeugung andauernder Bewegungen zu benutzen. Als Beispiel dient der rotierende Magnet von Ritchie (1836). Vor den Polen eines hufeisenförmigen Stahlmagnets *ACB* (Fig. 271) ist ein Anker von weichem Eisen *DE* um eine vertikale Axe drehbar. Der Anker ist mit einer Spirale von mit Seide besponnenem Kupferdraht umgeben.

Fig. 271.



Die Enden des Drahtes tauchen in ein ringförmiges Nöpfchen *F* aus Holz, welches durch Scheidewände in zwei Halbringe geteilt ist. Das Nöpfchen ist so weit mit Quecksilber gefüllt, daß die konvexe Oberfläche des Quecksilbers etwas über die Scheidewand emporragt, und die in das Quecksilber tauchenden Drahtenden bei der Umdrehung des Ankers ungehindert über die Scheidewand weggehen können. Die beiden halbkreisförmigen Abteilungen des Nöpfchens werden mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung gesetzt. Der durch die Drahtspirale des Ankers *DE* geschlossene Strom verwandelt diesen in einen Elektromagnet, dessen Pole von den ungleichnamigen Polen des Stahlmagnets *ACB* angezogen werden. Die Scheidewand des Nöpfchens ist aber so gestellt, daß in dem Augenblick, wo die Pole des Ankers denen des Stahlmagnets gegenüberstehen, die Enden der Drahtspirale über die Scheidewände hinweggleiten, so daß das Ende, welches vorher in die positive Abteilung des Nöpfchens tauchte, in die negative übergeht und umgekehrt. Dadurch wird die Richtung des Stromes in der Drahtspirale und infolgedessen die Polarität des Elektromagnets umgekehrt, die vorher angezogenen Pole werden jetzt abgestoßen, und der Anker dreht sich um 180° , worauf von neuem eine Umkehrung der Stromesrichtung und ein Wechsel der Polarität eintritt u. s. f. Auf

diese V
welche
wenn d
werk u
Erzeug
Der St
magnet

E
(§ 333
thätige
auch u
schen
bekann
(Fig. 2
Eisen
elastis
Stahlla
trägt b
mit de
Strom
spirale
der Ke
mus i
leitend
broche
Elasti
sobald
die W
gezoge
gungen
selbst
durch
angebr

A
Schwir
halten
des Uh
zu unt
Drahtl
übertra
Strome
genau
in glei
leitung
lierend
Di
Triebk
sind r
einerse
Entfer
aus sp
selbst
chung
ein de

diese Weise wird eine kontinuierliche Rotation des Ankers hervorgebracht, welche so lange andauert, als die Kette in Wirkung bleibt und welche, wenn der magnetisierende Strom kräftig genug ist, auf ein leichtes Räderwerk übertragen, oder selbst zum Emporwinden eines Gewichts oder zur Erzeugung anderer mechanischen Arbeitsleistungen verwendet werden kann. Der Stahlmagnet *ACB* kann mit Vorteil ebenfalls durch einen Elektromagnet ersetzt werden.

Eine andere Anwendung des Elektromagnetismus, von welcher später (§ 333) ein wichtiger Gebrauch gemacht werden wird, bildet der selbstthätige Stromunterbrecher, welcher

auch unter dem Namen des Wagnerischen oder Neef'schen Hammers (1839) bekannt ist. Dem Elektromagnet *A* (Fig. 272) steht der Anker *B* aus weichem Eisen gegenüber, welcher am Ende der elastisch federnden, bei *C* befestigten Stahllamelle *BC* angebracht ist. Diese trägt bei *D* ein Platinblättchen, welches

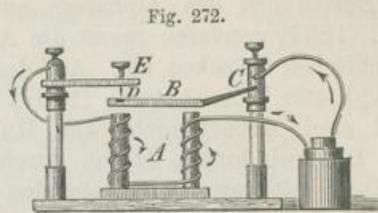


Fig. 272.

mit der Platinspitze der Schraube *E* in leitender Berührung steht. Der Strom geht vom positiven Pol der Kette über *CBDE* durch die Drahtspiralen des Elektromagnets *A* und kehrt von da nach dem negativen Pol der Kette zurück. Sobald die Kette geschlossen wird, wird der Magnetismus in *A* erregt und der Anker *B* angezogen. Dadurch wird aber die leitende Berührung zwischen *D* und *E* aufgehoben und der Strom unterbrochen. Der Elektromagnet *A* wird infolgedessen unwirksam, durch die Elasticität der Stahllamelle *BC* wird der Anker wieder emporgehoben, sobald aber dadurch die Berührung bei *D* wiederhergestellt wird, beginnt die Wirksamkeit des Stromes von neuem, der Anker wird wieder angezogen u. s. f. Dadurch wird die Lamelle *BC* in fortdauernde Schwingungen versetzt, und man erhält einen diskontinuierlichen, fortwährend sich selbst unterbrechenden Strom. Die Häufigkeit der Unterbrechungen kann durch Verstellung der Schraube *E*, sowie durch Abänderung der bei *B* angebrachten Masse des Ankers reguliert werden.

Auf ähnliche Weise ist es möglich, mittelst des elektrischen Stromes die Schwingungen einer Stimmgabel während unbegrenzter Zeit ungeschwächt zu erhalten oder, wie es bei den elektrischen Uhren geschieht, die Schwingungen des Uhrpendels, anstatt durch Federn oder Gewichte, durch den elektrischen Strom zu unterhalten. Die Bewegungen eines Uhrwerks können ferner durch isolierte Drahtleitungen an beliebig viele, an verschiedenen Orten aufgestellte Uhrwerke übertragen werden. Da bei jeder Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes die Elektromagnete sämtlicher durch die Drahtleitung verbundenen Uhren genau gleichzeitig ihre Anker anziehen, und deren Bewegung auf das Räderwerk in gleicher Weise übertragen wird, so ist der Gang sämtlicher durch die Drahtleitung verbundenen Uhren genau übereinstimmend mit der ihre Bewegung regulierenden Normaluhr.

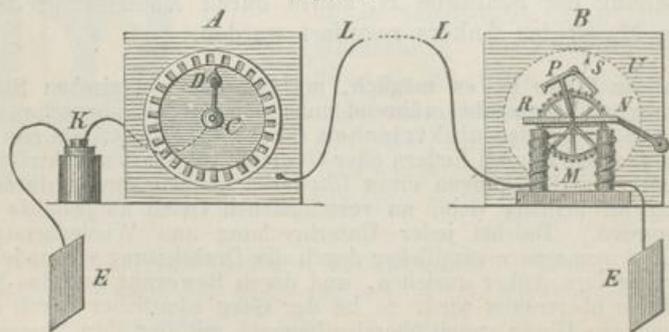
Die früher gehegten Erwartungen, daß man den Elektromagnetismus als Triebkraft im großen zum Ersatz der Dampfmaschinen verwenden könne, sind nicht in Erfüllung gegangen. Die zu überwindende Schwierigkeit liegt einerseits darin, daß die Anziehungskraft der Elektromagnete mit wachsender Entfernung des Ankers sehr schnell abnimmt, andererseits in dem Umstand, daß aus später (§ 331) zu erläuternden Gründen durch die Bewegung der Maschine selbst eine beträchtliche und mit der Bewegungsgeschwindigkeit wachsende Schwächung des erregenden Stromes stattfindet, endlich aber darin, daß in der Kette ein der erzielten Arbeitsleistung proportionaler Verbrauch von Zink und von

den Erregungsflüssigkeiten der Kette (§ 344) stattfindet, welcher im Verhältnis zur gewonnenen Arbeit weit kostspieliger ist, als das Feuerungsmaterial der Dampfmaschinen. (Vergl. § 332.)

§ 324. Telegraphie. Schon vor Entdeckung der galvanischen Ströme sind im vorigen Jahrhundert Vorschläge gemacht worden, die Fortpflanzung der Elektrizität in Metalldrähten zur Mitteilung von Signalen auf größere Entfernungen anzuwenden. Nach Entdeckung der galvanischen Elektrizität schlug Sömmering (1808) vor, die Zersetzung des Wassers durch den galvanischen Strom zu telegraphischen Zeichen zu benutzen, indem er beide Stationen durch 24 Paar isolierte Drähte verbinden wollte, den 24 Buchstaben des Alphabets entsprechend. Gauß (1833) und Steinheil (1837) wendeten zuerst die Ablenkung der Magnetnadel zu telegraphischen Zwecken an. Auf demselben Prinzip beruht der Nadeltelegraph von Wheatstone (1837). An der zeicheneempfangenden Station *B* sind zwei Magnetnadeln, von Multiplikatorgewinden umgeben, aufgestellt. Die Drahtwindungen stehen durch einen isolierten Leitungsdraht in Verbindung mit der zeichengebenden Station *A*. Sobald der Strom der in *A* aufgestellten Kette mittelst einer Kommutatorvorrichtung (§ 315) in entgegengesetztem Sinne durch die Drahtleitung gesendet wird, erleiden die Magnetnadeln in *B* Ablenkungen nach der entgegengesetzten Seite. Durch Kombination mehrerer auf einander folgenden Zeichen lassen sich verschiedene, den einzelnen Buchstaben des Alphabets entsprechende Signale zusammensetzen.

§ 325. Zeigertelegraph. Der ebenfalls von Wheatstone angegebene und namentlich durch Siemens (1848) vervollkommnete Zeigertelegraph beruht auf folgendem Prinzip. An der zeichengebenden Station *A* (Fig. 273) sei eine Scheibe aufgestellt, welche an ihrem Umfang 24 Metallblättchen trägt, die mit den 24 Buchstaben des Alphabets bezeichnet und durch abwechselnde Stücke aus isolierender Kautschukmasse von einander getrennt sind. Um den Mittelpunkt *C* der Kreisscheibe ist die metallische Kurbel *CD* mittelst des bei *D* angebrachten Handgriffes

Fig. 273.



drehbar. Stehen nun die 24 am Umfang angebrachten Metallblättchen sämtlich mit dem positiven, die Umdrehungsaxe *C* aber mit dem negativen Pol der Kette *K* in Verbindung, so wird der Strom so oft geschlossen und wieder unterbrochen werden, als bei Drehung der Kurbel das Ende *D* über ein Metallblättchen weggleitet. Der Strom wird nun durch die Drahtleitung *LL* nach der zeicheneempfangenden Station *B* geleitet, wo er die Drahtspiralen des Elektromagnets *M* durchläuft, vor dem der Anker

N auf
Entfer
wird.
mal an
Enden
Anker
angezo
auf de
Umdre
ist in
Alphab
broche
zeiche
gebend
demsel
Kurbel
seinen
die en
werden

S
breitet
An der
aufgest
befesti
Ende
drück
zwischen
den Sc
wenn

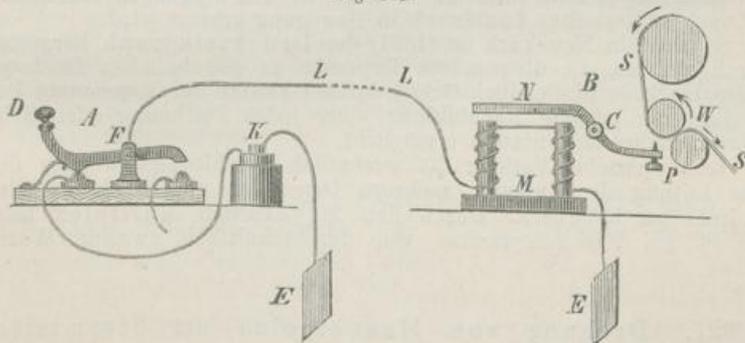
vorgeb
des Str
stift v
Augen
bei län
Strome
läßt si
stabe

Joch

N aufgestellt ist. Eine elastische Feder hält den Anker in einer gewissen Entfernung vom Elektromagnet, solange dessen Magnetismus nicht erregt wird. Bei jeder Schließung und Öffnung des Stromes wird der Anker einmal angezogen und wieder losgelassen. Mittelst eines Hebels *P*, dessen Enden in die Zähne eines Rades *R* eingreifen, wird die Bewegung des Ankers auf das Zahnrad so übertragen, daß dasselbe, so oft der Anker angezogen wird, um einen Zahn vorrückt. Das Rad trägt 24 Zähne, und auf der Axe desselben ist ein Zeiger befestigt, dessen Ende *S* bei jeder Umdrehung den Umfang der Zeichenscheibe *U* durchläuft. Dieser Umfang ist in 24 gleiche Abschnitte geteilt, die mit den 24 Buchstaben des Alphabets bezeichnet sind. So oft der elektrische Strom einmal unterbrochen und wiederhergestellt wird, rückt der Zeiger um ein Buchstabenzeichen weiter, so daß seine Bewegung der des Hebels *CD* an der zeichengebenden Station *A* genau entspricht. Stehen anfänglich beide Zeiger auf demselben Buchstaben, z. B. *A*, so werden dieselben auch bei Drehung der Kurbel stets genau übereinstimmen, so daß, wenn der Telegraphist bei *A* seinen Zeiger, z. B. nach einander auf die Buchstaben *TEL* u. s. w. stellt, die entsprechenden Buchstaben auf der Zeichenscheibe bei *B* abgelesen werden können.

§ 326. Schreibtelegraph. Das gegenwärtig am allgemeinsten verbreitete System ist das des Morseschen Schreibtelegraphen (1844). An der zeichenempfangenden Station *B* (Fig. 274) ist der Elektromagnet *M* aufgestellt, dessen Anker *N* an dem um die Axe *C* drehbaren Hebel *NP* befestigt ist. So oft der Anker angezogen wird, wird der am anderen Ende des Hebels befestigte Schreibstift *P* gegen den Papierstreif *SS* gedrückt, welcher durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit zwischen zwei sich drehenden Walzen *W* hindurchgezogen wird. Durch den Schreibstift *P* wird auf dem Papierstreif ein vertiefter Eindruck, oder, wenn der Stift mit einem Farbstoff versehen ist, ein farbiger Strich her-

Fig. 274.



vorgebracht, solange der Elektromagnet in Thätigkeit bleibt. Bei Öffnung des Stromes wird durch eine Feder der Anker gehoben und der Schreibstift vom Papierstreif entfernt. Bleibt der Strom nur während eines Augenblicks geschlossen, so entsteht auf dem Papierstreif nur ein Punkt, bei längerer Schließung ein Strich, dessen Länge von der Dauer des Stromes abhängt. Aus einer Kombination solcher Punkte und Striche läßt sich nun leicht ein Alphabet zusammensetzen, indem z. B. der Buchstabe *a* durch das Zeichen $\cdot -$, *b* durch $- \cdot \cdot$, *c* durch $- \cdot - \cdot$ u. s. w.

bezeichnet wird, wobei für die am häufigsten vorkommenden Buchstaben die einfachsten Zeichen gewählt werden. Die Schließung und Öffnung des Stromes geschieht mittelst des an der zeichengebenden Station *A* befindlichen Schlüssels. Wird der um *F* drehbare Metallhebel *DF* mittelst des Knopfes *D* niedergedrückt, so wird dadurch der Strom der Kette *K* geschlossen. Beim Aufhören des Druckes wird der Hebel durch eine elastische Feder gehoben und dadurch der metallische Kontakt bei *D* aufgehoben und der Strom unterbrochen. (Durch den in der Figur 274 als abgebrochen dargestellten Leitungsdraht läßt sich alsdann der Schlüssel mit einem Schreibapparat der Station *A* in Verbindung bringen und diese Station dadurch zur zeichenempfangenden machen.) Der Telegraphist bei *A* kann also durch momentanes oder während kurzer Zeit andauerndes Niederdrücken des Knopfes *D* nach Belieben auf dem Papier der Station *B* Punkte oder Striche erzeugen, durch deren Kombination die zu telegraphierenden Buchstaben zusammengesetzt werden. Nach jedem Buchstaben wird eine kurze, nach jedem Wort eine etwas längere Pause gemacht.

Die Drahtleitung zwischen den beiden telegraphisch verbundenen Stationen muß wohl isoliert sein. Die durch die Luft ausgespannten Drähte werden zu diesem Zweck an den Telegraphenstangen durch isolierende, glockenförmige Träger aus Glas oder Porzellan befestigt. Unterirdische oder unterseeische Leitungen werden mittelst einer Umhüllung von Guttapercha isoliert. Zur Leitung wird entweder Kupferdraht, oder bei längeren Luftleitungen in der Regel, der größeren Billigkeit wegen, verzinkter Eisendraht verwendet. Zur Hin- und Rückleitung des Stromes würden für jedes Signal zwei Leitungsdrähte erforderlich sein, und in der That wendete man anfänglich solche Doppelleitungen an, bis Steinheil (1838) zeigte, daß eine einfache Drahtleitung hinreichend sei, indem man zur Rückleitung des Stromes den Erdkörper benutzen könne. Es ist zu diesem Zweck nur erforderlich, die Enden des Leitungsdrahtes mit den in das feuchte Erdreich vergrabenen, oder in das Wasser eines Brunnenschachtes versenkten Metallplatten *EE* zu verbinden.

Beim Beginn einer Depesche muß die Aufmerksamkeit des zeichenempfangenden Beamten durch ein Glockensignal erregt werden. Dieses wird erzeugt, indem man entweder den Ankerhebel eines Elektromagnets unmittelbar gegen eine kleine Metallglocke schlagen läßt, oder indem durch die Schwingungen desselben ein zu diesem Zweck aufgestelltes Läutewerk in Bewegung gesetzt wird.

Von Hughes in New-York ist (1861) der Drucktelegraph hergestellt worden, durch welchen die übersendete Depesche in gewöhnlichen Buchstaben auf Papier abgedruckt wird, endlich (1865) durch Caselli der sogenannte Pantelegraph, der eine getreue Nachbildung einer jeden Zeichnung oder Schrift auf der zeichenempfangenden Station ermöglicht.

Der telegraphische Verkehr ist wesentlich beschleunigt worden durch die glückliche Lösung der Aufgabe, mehrere Depeschen gleichzeitig auf demselben Leitungsdraht zu befördern. Durch den Meyerschen Multiplex lassen sich stündlich 80 bis 100 Telegramme von durchschnittlich zwanzig Worten verarbeiten.

§ 327. Drehung von Magnetpolen um Stromleiter und von Stromleitern um Magnetpole. Oben (§ 315) ist gezeigt worden, daß die Kraft, welche ein von einem Strom durchflossener Draht auf einen Magnetpol ausübt, von allen früher betrachteten Kräften sich durch den merkwürdigen Umstand unterscheidet, daß ihre Richtung senkrecht auf der durch Stromleiter und Magnetpol gelegten Ebene steht, und daß dieselbe, wenn man einen Magnetpol isolieren könnte, eine dauernde Drehung des Magnetpols um den Stromleiter hervorbringen würde. Da jeder Wirkung in der Natur eine gleiche Gegenwirkung entspricht, so übt seinerseits ein feststehender Magnetpol auf einen in seiner

Nähe
leiter

vollfü

B

raday

1.

mit ih

Magnet

verbun

Spitze

Leitung

Magnet

hölzern

umgeb

ausgeh

silberri

draht

bindung

CDA

steigend

versetzt

hung, d

sehen

Drehun

weder

der Ma

gesetzte

2.

Ende d

schwebt

Kupfer

spitzer

Quecks

negative

positive

silbernä

sich vor

Drahtb

Wirkun

die sch

dreht d

Beim V

Umkehr

richtung

§

Ström

trischer

geführt

auf ein

als rich

mittelte

parall

gerich

gerich

benach

sind d

ihren

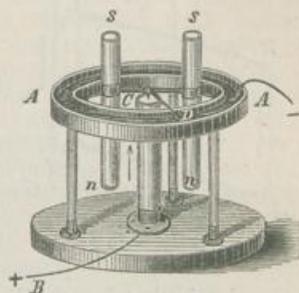
tungen

Nähe befindlichen Stromleiter eine Wirkung aus, vermöge deren der Stromleiter, wenn er beweglich ist, eine dauernde Drehung um den Magnetpol vollführt.

Beide Arten von elektromagnetischen Umdrehungsbewegungen sind von Faraday auf folgende Weise verwirklicht worden:

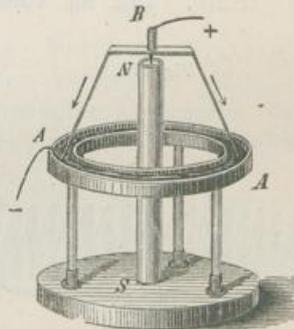
1. Drehung des Magnetpols um den Stromleiter. Zwei parallele, mit ihren gleichnamigen Polen, z. B. den Nordpolen, nach abwärts gerichtete Magnetstäbchen (*ns, ns* Fig. 275) sind durch einen Querdraht in Form eines H verbunden und mittelst einer Stahlspitze bei *C* frei drehbar aufgehängt. Die Spitze taucht in ein Quecksilbernapfchen, welches das obere Ende des vertikalen Leitungsdrahtes *BC* bildet. Das System der Magnetstäbe ist ferner von einer ringförmigen, hölzernen, mit Quecksilber gefüllten Rinne *AA* umgeben, in welche die Platinspitze eines von *C* ausgehenden Querdrahtes *CD* taucht. Die Quecksilberrinne steht mit dem negativen Pol der Kette in Verbindung, so daß der positive Strom von *B* über *CDA* zur Kette zurückkehrt. Der in *BC* aufsteigende Strom wirkt auf die Magnetpole *nn* und versetzt das System der Magnetstäbe in eine Drehung, deren Richtung, wie sich aus der Ampère'schen Regel (§ 315) ergibt, umgekehrt wie die Drehung eines Uhrzeigers stattfindet. Wenn entweder die Richtung des Stromes, oder die Polarität der Magnetstäbe umgekehrt wird, geht die Drehungsrichtung in die entgegengesetzte über.

Fig. 275.



2. Drehung des Stromleiters um den Magnetpol. Auf dem oberen Ende des feststehenden Magnetstabes *NS* (Fig. 276) schwebt, mittelst einer Spitze frei drehbar, der Kupferdrahtbügel *ABA*, dessen Enden mit Platinspitzen versehen sind, die in die ringförmige Quecksilberrinne *AA* tauchen. Diese ist mit dem negativen Pol der Kette verbunden, während der positive Poldraht in ein bei *B* angebrachtes Quecksilbernapfchen taucht. Der positive Strom teilt sich von *B* aus und strömt in beiden Armen des Drahtbügels abwärts in der Richtung *BA*. Die Wirkung des näheren Magnetpols *N* überwiegt die schwächere des entfernteren Poles *S* und dreht den Drahtbügel im Sinne eines Uhrzeigers. Beim Wechsel der Stromesrichtung, oder bei Umkehrung der Magnetpole wird die Drehungsrichtung die entgegengesetzte.

Fig. 276.



§ 328. Anziehung und Abstofsung zweier elektrischen Ströme. Durch die Betrachtung der Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen und Magnetpolen wurde Ampère zu der Vermutung geführt, daß auch zwei bewegliche Stromleiter eine mechanische Wirkung auf einander ausüben möchten. In der That erwies sich diese Vermutung als richtig, und die von Ampère (1823) in betreff dieser Wirkung ermittelten Gesetze lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen: Zwei parallele Stromleiter ziehen einander an, wenn sie von gleichgerichteten, stoßen einander ab, wenn sie von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden. — Kreuzen sich zwei benachbarte Stromleiter unter einem beliebigen Winkel, so sind die anziehenden und abstofsenden Wirkungen zwischen ihren einzelnen Teilen so beschaffen, daß sie die Stromrichtungen parallel und gleich zu stellen streben.

Der in Form eines Rechtecks gebogene Leitungsdraht $ABCD$ (Fig. 277) sei an einem Seidenfaden frei drehbar aufgehängt. Die beiden Drahtenden sind von einander isoliert. Das eine Ende taucht bei E in ein mittleres Quecksilbernapfchen, das mit dem positiven Pol der Kette in Verbindung steht, das andere Ende taucht in ein ringförmiges Napfchen, von welchem das mittlere Napfchen umschlossen ist, und das mit dem negativen Pol verbunden ist. Infolge dieser Einrichtung kann sich das Drahtrechteck ringsum frei drehen, ohne daß die leitende Verbindung mit den Polen der Kette unterbrochen wird. Nähert man der Rechtecksseite CD einen zweiten parallelen Leitungsdraht FG , so beobachtet man eine Anziehung oder Abstofung, je nachdem die Stromrichtung in beiden die gleiche oder entgegengesetzte ist. Nähert man dem Rechteck einen anderen, ebenfalls rechteckig gebogenen Draht, so streben sich die Ebenen beider Rechtecke parallel, mit übereinstimmenden Stromrichtungen zu stellen. Auch die Wirkungen von Magnetpolen auf Stromleiter lassen sich an dem beweglich aufgehängten Leitungsdraht leicht nachweisen. Wie der elektrische Strom eine bewegliche Magnetnadel zu seiner Ebene senkrecht zu stellen strebt, so stellt sich umgekehrt die Ebene des beweglichen Stromleiters senkrecht zur Axe eines hindurchgesteckten Magnetstabes, so daß der Strom den Magnetstab in

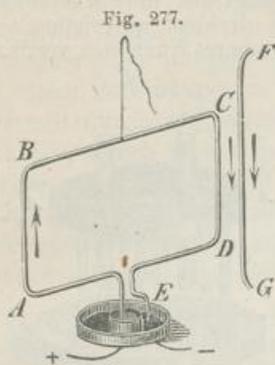


Fig. 277.

der durch die Ampèresche Regel bestimmten Richtung umkreist.

Auch der Erdmagnetismus wirkt richtend auf den Stromleiter, indem er dessen Ebene, wenn derselbe hinreichend frei beweglich aufgehängt ist, senkrecht zur Richtung der Deklinationsnadel stellt.

§ 329. Solenoïdströme. Ampères Theorie des Magnetismus (1826). Die im vorhergehenden Paragraphen erläuterten Wechselwirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magnetpolen treten in verstärktem Mafse hervor, wenn man anstelle einer Drahtwindung ein System von Drahtwindungen anwendet, deren Ebenen unter einander parallel sind. Einen spiralförmig gewundenen Leitungsdraht AB (Fig. 278), dessen Windungen sämtlich in gleichem Sinne vom Strome durchlaufen werden, nannte Ampère ein Solenoïd ($\sigma\omega\lambda\eta\nu$, Röhre). Wird ein solches Solenoïd in ähnlicher Weise, wie das Drahtrechteck (§ 328), frei drehbar aufgehängt, so stellt sich dasselbe unter Einfluß des Erdmagnetismus so,

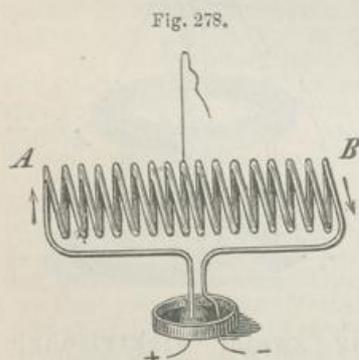


Fig. 278.

daß die Ebenen sämtlicher Kreiswindungen zur Richtung der Deklinationsnadel senkrecht liegen, die Axe des Solenoïds also der Deklinationsnadel parallel ist. Überhaupt verhält sich das vom Strom durchflossene Solenoïd in jeder Beziehung ähnlich wie die Magnetnadel, indem, der Ampèreschen Regel gemäß, dasjenige Ende dem Nordpol entspricht, welches, wenn man es sich nach oben gekehrt denkt, vom Strom im umgekehrten Sinne eines Uhrzeigers, dasjenige dem Südpol, welches in der



Fig. 279.

Richtung des Uhrzeigers umkreist wird. Werden zwei Solenoïde AB, CD (Fig. 279) mit ihren Polen einander genähert, so findet Anziehung oder

Abstoßung entgegengesetzter Magnetpole. Solenoïd von d

Au der ma das Vo zurück Molekul trischer einand allen R die Mo § 328 einen s Ebenen strebt - parallel keit dre dauert citivkra eine mi Kraft e aber au beibeha

§ oder V Schließ ungen werden

a) Kette gegenü Galvan zurück tung v ein Ind Strom entste ist der Indukti strom renden Stro gerich erkannt dauert, Dagegen renden l Stärke

Abstofsung statt, je nachdem die Stromrichtungen in beiden gleich oder entgegengesetzt sind. Daher findet, wie aus der Figur ersichtlich, wie bei Magnetnadeln, zwischen ungleichnamigen Polen Anziehung, zwischen gleichnamigen aber Abstofsung statt. Ebenso wird ein Solenoidpol von dem gleichnamigen Pol einer Magnetnadel abgestofsen, von dem ungleichnamigen aber angezogen.

Auf dieses Verhalten der Solenoidströme gründete Ampère eine neue Theorie der magnetischen Erscheinungen, durch welche die magnetischen Wirkungen auf das Vorhandensein elektrischer Strömungen im Innern der magnetischen Körper zurückgeführt werden. Ampère geht nämlich von der Vorstellung aus, daß die Moleküle des Eisens auch im unmagnetischen Zustande von kreisförmigen, elektrischen Molekularströmen umflossen werden, deren Wirkungen nach außen hin einander aber vollständig aufheben, weil die Ebenen der Kreisströme regellos nach allen Richtungen gekehrt sind. Der Vorgang der Magnetisierung besteht darin, daß die Molekularströme sämtlich übereinstimmend gerichtet werden. Dies kann nach § 328 entweder durch einen galvanischen Strom, am zweckmäßigsten durch einen spiralförmig den Eisenstab umkreisenden Solenoidstrom geschehen, der die Ebenen sämtlicher Molekularströme seinen eigenen Windungen parallel zu stellen strebt — oder durch Annäherung eines Magnets, dessen Molekularströme bereits parallel gerichtet sind. Im weichen Eisen sind die Moleküle mit großer Leichtigkeit drehbar; deshalb wird dasselbe leicht magnetisch, die Ordnung der Moleküle dauert aber nur so lange, als die magnetisierende Ursache wirksam ist. Die Koercitivkraft des Stahles dagegen erklärt sich daraus, daß die Moleküle desselben eine minder freie Beweglichkeit besitzen, so daß eine stärker magnetisierende Kraft erforderlich ist, um die Molekularströme parallel zu richten, daß dieselben aber auch nach Aufhören der magnetisierenden Ursache ihre parallele Richtung beibehalten.

B. Induktionsströme.

§ 330. Elektrische Induktionsströme. Durch das Entstehen oder Verschwinden eines elektrischen Stromes werden in einem dem Schließungsbogen der Kette benachbarten Stromleiter elektrische Bewegungen erzeugt, welche mit dem Namen Induktionsströme bezeichnet werden.

a) Wenn dem Schließungsdraht AB (Fig. 280) einer galvanischen Kette K ein zweiter Draht CD parallel gegenübersteht, dessen Enden durch ein Galvanometer G zu einer in sich selbst zurücklaufenden, geschlossenen Leitung verbunden sind, so wird in letzterem ein Induktionsstrom erzeugt, so oft ein Strom in dem induzierenden Draht AB entsteht oder verschwindet, und zwar ist der durch Schließen der Kette erzeugte Induktionsstrom oder der Schließungsstrom seiner Richtung nach dem induzierenden Strom entgegengesetzt, der durch Verschwinden des induzierenden Stromes erzeugte Öffnungsstrom mit dem induzierenden Strom gleich gerichtet, wie aus der Richtung der Ablenkung des Galvanometers G erkannt wird. Solange der Strom in AB mit gleichförmiger Stärke fort-dauert, findet im Induktionsdraht CD keine Elektrizitätsbewegung statt. Dagegen wird durch jede Zu- oder Abnahme der Stromstärke im induzierenden Draht ein Induktionsstrom im Induktionsdraht hervorgerufen, dessen Stärke und Dauer von der Größe und Dauer der Stromschwankung im

Fig. 280.

