

der Nebenspirale eine Reihe schnell auf einander folgender Induktionsströme, die von grosser Stärke sein können.

Anziehung und Abstossung von Stromleitern. Sind zwei bewegliche Stromleiter (Drähte) parallel neben einander aufgehängt, so ziehen sie sich nach der Entdeckung Ampère's (1820) gegenseitig an, wenn sie von gleichgerichteten Strömen durchflossen werden, und stossen einander ab, wenn sie von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden.

15. Elektromagnetismus und Magnetoelektricität; Elektrodynamik und Dynamoelektricität.

Elektromagnetismus. Die zweite Art der magnetischen Wirkung eines elektrischen Stroms nächst der Ablenkung der Magnethadel (S. 163) besteht darin, dass er Eisen, welches unmagnetisch ist, magnetisch macht. Wird in eine Drahtspirale ein Stück weiches Eisen gesteckt, so wird dasselbe von dem Augenblicke an zu einem Magnet, wo ein galvanischer Strom die Spirale durchfliesst. Erst mit dem Aufhören des Stromes verliert auch das Eisen seine magnetischen Eigenschaften.

Ein derartiger Magnet heisst ein Elektromagnet, sein Magnetismus Elektromagnetismus.

Ein Stahlstab wird gleichfalls unter dem Einfluss eines elektrischen Stromes magnetisch, unterscheidet sich aber vom weichen Eisen dadurch, dass er seinen Magnetismus beibehält, wenn der Strom unterbrochen ist.

Auch wenn man ein Stück weiches Eisen einer von einem elektrischen Strome durchflossenen Drahtspirale nähert, wird es magnetisch; beim Entfernen wird es wieder unmagnetisch.

Aus der Thatsache des Elektromagnetismus, zusammengehalten mit der Erfahrung, die über Anziehung und Abstossung beweglicher Stromleiter gemacht worden war, leitete Ampère seine elektrische Theorie des Magnetismus ab (1826). Danach ist ein Magnet als ein von einem elektrischen Strome in spiralförmigen Windungen umflossener Eisenstab aufzufassen. Die Richtung dieses Stromes ist derart, dass, wenn man sich in demselben und mit ihm schwimmend denkt, so, dass man den Magnet anblickt, der Nordpol desselben sich zu linker Hand befindet.

Werden nun zwei Magnete einander mit ungleichnamigen Polen genähert, so sind die elektrischen Ströme der Magnete gleich gerichtet, und die Pole ziehen sich an; werden die Magnete einander

mit gleichnamigen Polen (z. B. mit den beiden Nordpolen) genähert, so sind die elektrischen Ströme der Magnete entgegengesetzt gerichtet, und die Pole stossen sich ab.

Eine entsprechende Erklärung findet nach Ampère's Theorie der Erdmagnetismus.

Telegraphie; Morse'scher Schreibtelegraph. Eine ausserordentlich wichtige Anwendung wird vom Elektromagnetismus in der Telegraphie gemacht, und zwar auf die Weise, dass die Fortpflanzung der Electricität in Metalldrähten zur Mittheilung von Signalen oder Schriftzeichen auf grössere Entfernungen benutzt wird.

Der in Preussen im öffentlichen Gebrauch befindliche Morse'sche Schreibtelegraph (1844; der erste Telegraph von Gauss und Weber, 1833) besteht aus

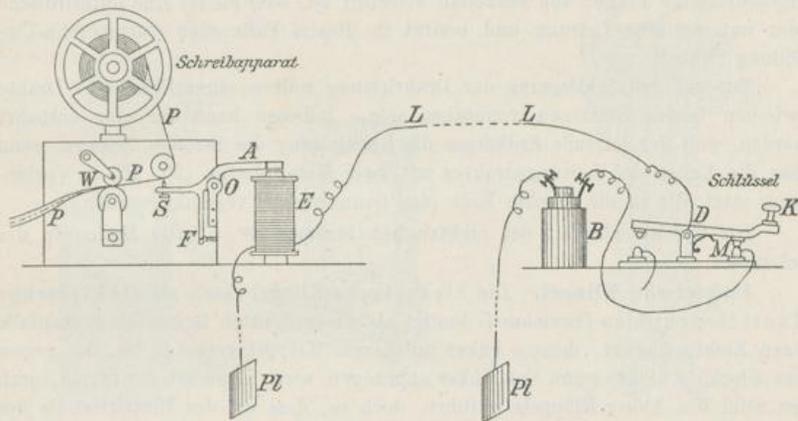


Fig. 98. Morse'scher Schreibtelegraph.

dem Schreibapparat und dem Schlüssel; jener befindet sich an der Empfangsstation, dieser an der Aufgabe-Station (zeichengebenden Station). Der Schreibapparat (Fig. 98) besteht aus einem hufeisenförmigen Elektromagneten (E), vor dessen Polen sich ein Anker (A) befindet, der den einen Arm eines zweiarmigen Hebels darstellt, dessen anderer Arm den Schreibstift S trägt; vor diesem bewegt sich der Papierstreifen PPP vorbei, den ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit zwischen den Walzen W hindurchzieht. Auf diesem Papierstreifen bringt der Schreibstift einen Eindruck, bzw. einen farbigen Strich hervor, wenn und solange der Anker A von den Polen des Elektromagnets angezogen wird. Eine Spiralfeder (F) bringt den Anker in seine Ruhelage zurück, wenn keine Anziehung seitens des Elektromagnets stattfindet. Diese Anziehung nun tritt ein, sobald der elektrische Stromkreis vom Elektromagnet bis zu dem Schlüssel der Aufgabe-Station geschlossen ist. Die Schliessung erfolgt, wenn der Schlüssel mittelst des Knopfes K niedergedrückt wird. Die Leitung LL geht nämlich — vom Elektromagnet herkommend — nach D , dem Drehpunkt des hebelartigen, metallenen Schlüssels und von diesem durch den

unter ihm befindlichen Metallknopf *M* nach der Batterie *B* (die Figur giebt der Einfachheit wegen nur ein Element wieder). Lässt man den Schlüssel los oder locker, so wird er durch eine elastische Feder nach oben gedrückt, und der Stromkreis ist geöffnet.

Der am Schlüssel arbeitende Telegraphist kann hiernach durch längeres oder kürzeres Niederdrücken des Knopfes *K* und Einhalten gewisser Pausenlängen auf dem Papierstreifen *PPP* in der Empfangs-Station längere und kürzere Striche (Striche und Punkte) hervorbringen; durch verschiedene Zusammenstellung solcher Striche und Punkte hat man ein Alphabet gebildet, dessen man sich statt des Buchstaben-Alphabets zur Mittheilung von Gedanken (Wörtern und Sätzen) bedient.

Die Drahtleitung *LL* muss gut isolirt sein. Sie befindet sich entweder in der Luft und wird dann von Telegraphenstangen getragen, an denen sie durch glockenförmige Träger von Porzellan befestigt ist, oder sie ist eine unterirdische oder unterseeische Leitung und besitzt in diesem Falle eine Guttapercha-Umhüllung (Kabel).

Zur völligen Schliessung der Drahtleitung sollten eigentlich zwei Drähte zwischen beiden Stationen vonnöthen sein. Indessen kann der eine entbehrt werden, weil der leitende Erdkörper die Rückleitung des Stromes besorgt, wenn man die Enden des Leitungsdrahtes mit zwei Metallplatten (*Pl, Pl*) in Verbindung setzt, die in die feuchte Erde (das Grundwasser) versenkt werden.

Die Geschwindigkeit des elektrischen Stromes ist = 3700 Meilen in der Sekunde.

Elektrische Klingel. Die elektrische Klingel (auch als elektrischer Haustelegraph zu bezeichnen) besitzt als wesentlichsten Bestandtheil ebenfalls einen Elektromagnet, dessen Anker mit einem Klöppel versehen ist, der gegen eine Glocke schlägt, wenn der Anker angezogen wird. Nun ist der Strom durch den Stiel des Anker-Klöppels geführt, doch so, dass an der Eintrittsstelle des Stroms in diesen Stiel eine Unterbrechung des Stroms eintritt, sobald der Anker angezogen wird. Geschieht das letztere, so verliert der Eisenkern des Elektromagnets seinen Magnetismus, der Anker wird nicht mehr angezogen und schnell — in Folge des Drucks einer elastischen Feder — zurück. Dadurch tritt aber wieder eine Schliessung des Stromkreises ein, und der Elektromagnet zieht den Anker von Neuem an, der Klöppel schlägt abermals an die Glocke u. s. f. — Die erste Schliessung des Stromes erfolgt durch Drücken auf einen Knopf, der einen — nicht selbstthätigen — Stromunterbrecher darstellt; solange gegen diesen Knopf gedrückt wird, dauern die Glockenschläge an.

Magnetolectricität oder magnetische Induktion. Wie der elektrische Strom Magnetismus hervorrufen kann, so ist umgekehrt die magnetische Kraft im Stande, einen elektrischen Strom zu erzeugen. Ein solcher magnetoelektrischer Strom entsteht, wenn einer Drahtspirale ein Magnet genähert wird, und ein zweiter, dem ersten entgegengesetzt gerichteter Strom, wenn der Magnet wieder entfernt wird. Dasselbe findet statt, wenn in die Drahtspirale ein Stab aus weichem Eisen gesteckt und dieser nun (durch Annäherung

eines Magnets oder durch einen galvanischen Strom) magnetisirt und wieder entmagnetisirt wird. (Fig. 99.)

Die geschilderte Erscheinung wird auch als magnetische Induktion bezeichnet.

Die Richtung der entstehenden Ströme lässt sich bei Zugrundelegung der Ampère'schen Theorie des Magnetismus (S. 166) mittelst der Thatsachen der rein elektrischen Induktion (S. 164) feststellen.

Der magnetoelektrische Rotationsapparat (Stöhrer, 1844) liefert Ströme von ähnlicher Art wie ein Induktionsapparat.

Lenz'sche Regel. Eine noch allgemeinere elektrische Wirkung kommt dem Magnetismus nach der von Lenz (1834) aufgestellten Regel zu: Durch gegenseitige Bewegung von Stromleitern und

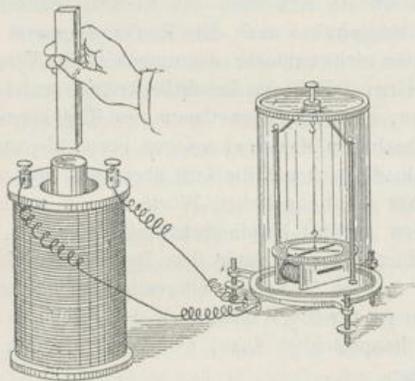


Fig. 99. Magnetische Induktion.

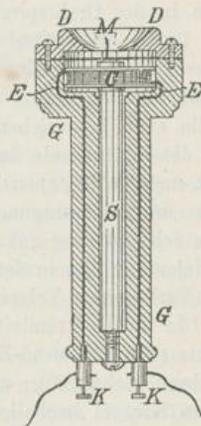


Fig. 100. Telephon.

Magnetpolen werden Induktionsströme erzeugt, deren Richtung stets eine derartige ist, dass die durch den Induktionsstrom wirksam werdenden elektromagnetischen Anziehungs- oder Abstossungskräfte auf die Bewegung hemmend einwirken.

Telephon. Die Magnetoelektricität findet eine besondere Anwendung beim Telephon oder Fernsprecher, mit Hilfe dessen gesprochene oder gesungene Worte sowie Töne von Instrumenten auf grössere Entfernungen übertragen werden können. (Philipp Reis, 1861; Graham Bell, 1877.)

Das Bell'sche Telephon (Durchschnitt desselben Fig. 100) besteht aus drei wesentlichen Bestandtheilen: einem Stahlmagnet *S*, der sich in einem hölzernen Gehäuse (*G*) befindet; einem sich an das vordere Ende des Magnets ansetzenden kurzen Cylinder (*C*) aus weichem Eisen, der den Kern einer Drahtspirale (Induktionsrolle) bildet; und einer davor ausgespannten dünnen Eisenplatte oder Eisenmembran (*M*), die zwischen das Holzgehäuse *G* und den

darauf geschraubten Deckel *D* eingespannt ist. Der Deckel *D* ist mit einer runden Schallöffnung versehen, in welche man hineinspricht. Die Enden der Drahtspirale (*EE*) führen (nach unten) zu zwei Klemmschrauben (*KK*), von denen aus Leitungsdrähte zu der Empfangs-Station führen, an welcher ein gleicher Apparat zur Aufnahme und Wiedergabe des Gesprochenen dient.

Wird in die Schallöffnung des Telephons hineingesprochen, gesungen u. s. w., so theilen sich die erzeugten Schallwellen der Eisenplatte *M* mit; diese beginnt zu schwingen und geräth in Folge dessen in wechselnde Entfernung von dem Eisenkern *C*. Da nun der letztere auf Grund der Einwirkung des Stahlmagnets *S* selbst magnetisch ist und die Eisenplatte bei ihrer Annäherung und Entfernung gegenüber *C* und *S* auch ihrerseits eine grössere oder geringere, zu- und abnehmende Magnetisirung erfährt, so greift deswegen eine Aenderung im Magnetismus des Eisenkerns Platz. Diese Aenderung ruft nun magnetoelektrische Induktionsströme in der Drahtspirale hervor, die nach Richtung und Stärke verschieden sind. Durch die Drähte *EE* begeben sie sich nach den Klemmschrauben *KK* und werden von hier durch die Leitungsdrähte nach dem Empfangsapparat (oder Empfänger) fortgeleitet, in welchem sich nunmehr die umgekehrten Vorgänge wie die eben beschriebenen abspielen: Durch die Induktionströme, welche dasselb die Drahtspirale durchfliessen, wird der Magnetismus des Eisenkerns verändert und die Eisenplatte in wechselndem Maasse angezogen bzw. abgestossen, so dass sie in Schwingungen geräth, die sich auf die Luft übertragen und einem an die Schallöffnung gehaltenen Ohr als die gleichen Worte u. s. w. erscheinen wie diejenigen, die in den gebenden Apparat hineinerschallen.

(Verbessertes Telephon von Siemens, im Princip dem Bell'schen gleich.)

Die in die Stromleitung der meisten Telephone eingeschaltete galvanische Batterie (von Leclanché-Elementen) ist für die Wirksamkeit des Telephons nicht unbedingt nothwendig; sie dient hauptsächlich dazu, den Weckruf einer elektrischen Klingel erschallen zu lassen.

Das Telephon wirkt bis zu Entfernungen von über 100 km.

Mikrophon. Das Mikrophon (Hughes, 1878) ist ein Apparat, der frei im Zimmer gesprochene Worte, sowie überhaupt leise Geräusche auf grössere Entfernungen überträgt. Als Empfänger dient ein Telephon. Das Mikrophon besteht aus drei Stäben eines Leiters, z. B. Gaskohle, von denen zwei auf einem Resonanzkästchen liegen, während der dritte quer über jenen liegt. Die beiden erstgenannten Stäbe — und damit auch das dritte Stäbchen — werden in eine Telephonleitung eingeschaltet, die zugleich mit einer galvanischen Batterie verbunden ist. Wird nun das obere Stäbchen durch Schallwellen erschüttert, so wird der Widerstand der Leitung an der Berührungsstelle zwischen ihm und den unteren Stäben geändert — in einem Wechsel von Zeitdauer und Stärke, der dem der Schallwellen entspricht und daher aus dem als Empfänger dienenden Telephon die gleichen oder ähnliche Schallwellen heraustreten lässt. Sprechweite bis über 300 km.

Elektrodynamik. Da nach S. 166 zwei galvanische Ströme anziehende oder abstossende Kräfte auf einander ausüben, so ist es möglich, mittels des Galvanismus auch in ausgedehnterem Maasse Bewegung zu erzeugen.

Die Lehre von derartigen, durch Elektricität erzielten Bewegungen und

damit auch Kraftleistungen heisst Elektrodynamik. Ausser dem schon (auf S. 166) genannten Gesetz der Anziehung und Abstossung elektrischer Ströme (bezw. Stromleiter) enthält die Elektrodynamik noch ein zweites Hauptgesetz: Zwei gekreuzte, von galvanischen Strömen durchflossene Leiter suchen sich in jedem Falle so zu stellen, dass sie parallel werden und die Ströme in beiden gleichgerichtet sind.

Auf Grund dieses Gesetzes lässt sich ein elektrodynamischer Rotationsapparat herstellen, in welchem ein Stromleiter um einen andern, feststehenden, von kreisförmiger Gestalt, eine kreisende Bewegung ausführt.

Statt des feststehenden Kreisstroms lässt sich ein Magnetpol verwenden, um den sich dann der Stromleiter dreht. Wird in diesem Falle (der Anwendung eines Stromleiters und eines Magnetpols) der Stromleiter feststehend und der Magnetpol beweglich gemacht, so dreht sich dieser um den Stromleiter.

Anwendung zur Erzeugung mechanischer Arbeitsleistungen.

Dynamoelektricität. Von der umgekehrten Beschaffenheit wie die elektrodynamischen Erscheinungen sind die dynamoelektrischen: mechanische Arbeit dient bei ihnen zur Erzeugung elektrischer Ströme.

Dynamoelektrische Maschine. Eine dynamoelektrische Maschine ähnelt in ihrer Einrichtung sehr einer magnetoelektrischen; der Unterschied zwischen beiden liegt darin, dass die dynamoelektrische Maschine nicht wie die magnetoelektrische einen im voraus vorhandenen Magnet, z. B. einen durch einen besonderen elektrischen Strom hergestellten Elektromagnet enthält, sondern dass der von der Maschine gelieferte Strom selbst zur Erzeugung eines Magnets benutzt wird.

Denken wir uns, dass in Fig. 101 a, welche eine Form der Dynamomaschinen schematisirt darstellt, NS und N_1S_1 zwei Elektromagnete sind, an deren Polen eiserne Armaturen M und M_1 angebracht sind, zwischen denen ein starker Eisenring R oder besser ein ringförmiges Bündel zahlreicher dünner Eisendrähte in Umdrehung (um die Achse A) versetzt werden kann. Der Ring ist von einem Drahtgewinde umgeben. — Er heisst der Gramme'sche Ring (1871). — Sobald man denselben — im Sinne des grossen Pfeiles — dreht, werden die einzelnen Drahtwindungen gegen die Pole N und S_1 und die durch dieselben im Eisenkern des Ringes erzeugten entgegengesetzten Magnetpole verschoben; die Folge ist, dass die Windungen von einem elektrischen Strom durchflossen werden (Lenz'sche Regel, S. 169), dessen Richtung durch die kleinen Pfeile angedeutet ist; dieselbe ist auf der linken Hälfte des Ringes derjenigen auf der rechten entgegengesetzt.

Suchen wir diese Richtung für die obere Hälfte des Ringes festzustellen! — Den ganzen Eisenkern des Ringes können wir uns aus zwei Magnetten — einem oberen und einem unteren — zusammengesetzt denken; beide haben ihren Nordpol auf der rechten Seite (gegenüber S_1), ihren Südpol auf der linken (gegenüber N). Die Lage beider Pole an sich (im Raume) bleibt bei der Drehung des Ringes unverrückbar dieselbe, weil sie den festliegenden Polen N und S_1 der Elektromagnete NS und N_1S_1 ihre Entstehung verdanken; den sich drehenden Ring dagegen durchwandern die Pole, oder sagen wir: der Ring dreht sich über die Pole hinweg.

Nach der Ampère'schen Vorstellung von der Natur des Magnetismus können wir uns einen Magnet als einen Eisenstab vorstellen, den ein elektrischer Strom von solcher Richtung umfließt, dass — wenn wir mit dem Strome schwimmen und den Stab ansehen — der Nordpol sich linker Hand befindet; diese Richtung würde für den unteren Magnet durch den Pfeil p angegeben werden. Dem Nordpol dieses Magnets nähert sich nun die rechte Hälfte des den oberen Magnet umgebenden Drahtgewindes fortdauernd; nach der Lenz'schen Regel muss daher in den Windungen derselben ein Strom von solcher Richtung erzeugt werden, dass er den den Magnetismus des unteren Magnets darstellenden Strom von der Richtung p abstossen würde. Da aber entgegengesetzt gerichtete Ströme einander abstossen, so muss die Richtung des in

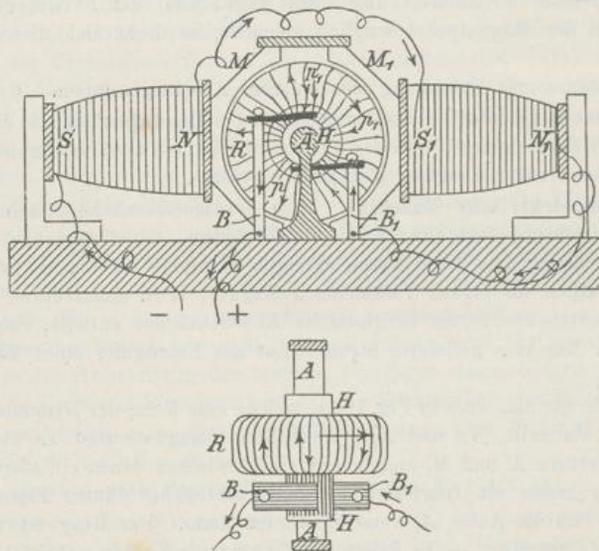


Fig. 101 a u. b. Dynamoelektrische Maschine.

dem rechten oberen Viertel des Drahtgewindes erzeugten Stromes die entgegengesetzte von p sein; sie wird durch die Pfeile p_1 angegeben.

Die die linke Hälfte des oberen Magnets umgebenden Windungen entfernen sich von dem Südpol des unteren Magnets; daher muss der sie durchfließende Strom dem den Magnetismus darstellenden Strom von der Richtung p gleichgerichtet sein, d. h. so, wie es die Pfeile angeben.

In gleicher Weise wie hier entwickelt, findet man die Richtung des Stromes in der unteren Hälfte des Ringes. —

An den beiden oben und unten befindlichen Punkten des Ringes, welche um 90° von den links und rechts befindlichen Polen entfernt liegen, also Indifferenzpunkte sind, fließen die Ströme der linken und rechten Hälfte des Drahtgewindes zusammen bzw. auseinander. Oben gehen sie auf die Speichen, welche sich zwischen dem Ringe und einem die Achse umgebenden Holzcyliner

H ausspannen, über und von hier auf Metallstreifen des Holzcylinders selbst (siehe Fig. 101b, welche den Ring mit den zunächst daran sitzenden Teilen von oben gesehen zeigt). Mit den letzteren steht ein bürstenartig geformter Stromsammeler B in Berührung, von welchem ein Leitungsdraht den (positiven) Strom fortführt. In den rechts befindlichen Stromsammeler B_1 tritt der Strom ein und geht auf die Windungen der unteren Hälfte des Ringes über und nach beiden Seiten aus einander, wie die Pfeile zeigen.

Hätten wir es nun mit einer magnetoelektrischen Maschine zu thun, so würde der an B_1 befindliche Leitungsdraht gleich dem an B befindlichen freientigen. Bei der dynamoelektrischen Maschine sind aber die beiden Eisenkerne NS und N_1S_1 von diesem Drahte umwickelt, so dass der Strom des letzteren ihren Elektromagnetismus erzeugt. Die freien Enden des Drahtes sind durch $+$ und $-$ bezeichnet.

Nach dem Gesagten entsteht durch die blosse Umdrehung des Ringes: erstens in den Windungen des Ringes der bei $+$ austretende und bei $-$ eintretende positiv elektrische Strom, und dieser Strom ist es zugleich zweitens, welcher NS und N_1S_1 zu Elektromagneten macht.

Dagegen könnte der Einwand erhoben werden, dass die Magnete NS und N_1S_1 vorher vorhanden sein müssen, damit dann der das Drahtgewinde durchfließende Strom entstehe, dass man daher nicht erst mittels des letzteren Stromes die Magnete erzeugen könne. Allein es ist anzunehmen, dass in NS und N_1S_1 eine gewisse Menge von Magnetismus zurückgeblieben ist (remanenter Magnetismus); in Folge dessen entsteht beim Drehen des Ringes in dem Stromleiter, sobald er geschlossen ist, zunächst ein schwacher Strom. Dieser verstärkt nun den Magnetismus der Pole N und S_1 und wird dadurch selbst wiederum stärker. So steigern sich gegenseitig Strom und Magnetismus bis zu einer Grenze hinauf, welche eintritt, wenn NS und N_1S_1 bis zur Sättigung magnetisirt sind. —

Die dynamoelektrische Maschine liefert nicht nur auf Kosten mechanischer Arbeit einen elektrischen Strom, der zu verschiedenen Zwecken, z. B. zur Speisung elektrischer Lampen, benutzt werden kann, sondern sie kann auch die umgekehrte Thätigkeit entfalten. Wird nämlich durch den bei $+$ und $-$ endigenden Draht ein elektrischer Strom geschickt, so bewirkt derselbe eine Umdrehung des Ringes.¹⁾ In diesem Falle kommt der Maschine der Name „elektrodynamischer Motor“ zu.

Wendet man zwei dynamoelektrische Maschinen an, so kann man eine Uebertragung von Kraft auf weite Strecken ins Werk setzen. Es liefert dann die eine Maschine den Strom, welcher zu der anderen Maschine, die als elektrodynamischer Motor wirkt, geführt wird und dieselbe in Thätigkeit versetzt. (Elektrische Eisenbahn.)

Thermo- und Pyroelektricität. Wir haben noch zwei besondere Arten der Entstehung von Elektricität anzuführen. Erstens entsteht ein elektrischer

¹⁾ Wenn der positive Strom die in der Figur angegebene Richtung einschlägt, so dreht sich der Ring in umgekehrter Richtung, als es der grosse Pfeil anzeigt.

Strom in einer aus lauter Leitern erster Klasse (Metallen) zusammengesetzten geschlossenen Kette, wenn eine der Berührungstellen (Löthstellen) erwärmt wird: *Thermoelektricität* (Seebeck, 1821). Verwendung der von Nobili und Melloni (1830) konstruirten thermoelektrischen Säule (in Verbindung mit einem Galvanometer) zu empfindlichen Wärmemessungen. Zweitens zeigt sich eine Entwicklung von Elektricität (doch keines elektrischen Stromes) an gewissen Krystallen, z. B. Turmalin und Bergkrystall, wenn sie einer Temperaturveränderung, Pressung u. s. w. unterworfen werden: *Pyroelektricität*.

Elektrische Wellen. Nach Untersuchungen von H. Hertz (1888) breitet sich die Wirkung elektrischer Funken wellenförmig im Raume aus und weist die gleichen Haupt-Eigenthümlichkeiten auf, welche wir bei der Ausbreitung des Lichtes beobachten: geradlinige Ausbreitung (daher spricht Hertz von „Strahlen elektrischer Kraft“), Polarisation, Reflexion und Brechung.

Hiernach stellt sich auch die Elektricität in gewissen ihrer Erscheinungsformen — gleich dem Lichte — als eine Wellenbewegung des Aethers und allgemein als eine Art der Bewegung (oder als bewegte Materie) dar, wenn gleich der allseitige Nachweis für diese Auffassung der Elektricität noch nicht geliefert ist.

Ab
Abs
Abs
Abs
n
Acc
Ach
Ach
o
Adl
Adi
Aeg
l
Aet
-s
Agg
s
Age
Akr
Alk
Am
Am
Am
Ana
Ana
Ano
Ano
Ani
Ani
Ano
Anz
n
Anz
Arä
Arb
Arc
Arn
Asy
Ath
Atu