

1700. Halley gibt eine Charte der magnetischen Abweichungen für verschiedene Gegenden der Erde heraus.
- 1779—1803. A. v. Humboldt stellt vergleichende Messungen der Intensität des Erdmagnetismus in Peru am magnetischen Aequator und zu Paris an.
1819. Hansteen zeichnet Charten der magnetischen Linien für die Jahre 1600, 1700 und 1800.
1831. James Ross findet den Magnetpol im Norden Amerika's auf.
1841. Derselbe kommt dem südlich von Neu-Holland gelegenen Magnetpole sehr nahe.
1845. Faraday in England macht die Entdeckung, daß Wismuth und andere Substanzen, welche er diamagnetische nennt, von kräftigen Magneten nicht angezogen, sondern abgestoßen werden.
- 1849—52. Plücker in Bonn zeigt, daß Wismuth in der Nähe kräftiger Magnetpole die entgegengesetzte Polarität annimmt, welche unter gleichen Umständen im Eisen hervorgerufen wird.

Siebenter Abschnitt. Electricität.

A. Statische Electricität.

§. 117. Electricische Erscheinungen.

Wenn man eine Siegellackstange an einem wollenen Lappen reibt, so erhält dieselbe die Eigenschaft, 1) leichte Körper, z. B. Stückchen Papier, Strohhälmchen, Metallblättchen u. s. w. anzuziehen. Nähert man derselben 2) im Dunkeln einen andern Körper, z. B. den Finger, so zeigt sich zwischen der Siegellackstange und dem Finger ein Funken, welcher 3) mit einem schwachen Geräusche, Knistern, verbunden ist. Man nennt die angeführten Erscheinungen electricische, die uns unbekante Ursache derselben Electricität und einen Körper electricisirt oder electricisch, wenn er electricische Erscheinungen zeigt.

Siegellack ist indeß nicht der einzige Körper, welcher durch Reiben electricisch werden kann, sondern dasselbe gilt auch von vielen andern Körpern, z. B. überhaupt von Harz, Bernstein, Glas, Edelsteinen, trockenem Holze u. a. m. Ja wir werden später sehen, daß unter gewissen Bedingungen alle Körper electricisch werden können.

Die Alten kannten fast nur die electricische Eigenschaft des Bernsteins (*ηλεκτρον*); erst im Jahre 1600 zeigte der Engländer Gilbert in seiner Schrift *de magnetis*, daß auch andere Körper durch Reiben electricisch werden können.

§. 118. Electricische Leitung.

Wenn man ein Scheibchen Papier etwa von der Größe eines Zweipfennigstücks an einem seidenen Faden aufhängt und einer geriebenen Siegellackstange nähert, so wird dasselbe von der Siegellackstange erst angezogen, nach der Berührung mit derselben aber abgestoßen. Dieses Scheibchen zeigt nun

ein ähnliches Verhalten, wie die geriebene Siegellackstange, wenn auch in schwächerem Maße; es zieht leichte Körper an, z. B. ein anderes an einem seidenen Faden hängendes Scheibchen, und stößt es nach der Berührung wieder ab, woraus man schließen kann, daß das mit der Siegellackstange in Berührung gebrachte Scheibchen nun selbst electricisch geworden ist. Funken und Knistern werden aber nicht leicht wahrgenommen, weil sie allzu schwach sind.

Das Scheibchen verliert seine Electricität wieder, wenn es mit dem Finger berührt wird.

In dem angeführten Versuche war das Scheibchen nicht durch Reiben, sondern durch Berührung mit einem electricischen Körper electricisch geworden. Man nennt diese letztere Art der Electricitätserregung electricische Mittheilung.

Hält man aber ein Scheibchen an einem metallenen Faden, (wie dergleichen z. B. um ächte oder unächte Silber- oder Goldschnüre oder überspinnene Saiten gewickelt werden), oder in Ermangelung dessen an einem angefeuchteten Zwirnfaden, so wird es niemals gelingen, dem Scheibchen Electricität mitzutheilen. Dasselbe wird von der geriebenen Siegellackstange nur angezogen, nicht wieder abgestoßen und erlangt nie, wie oft und lange es auch mit der electricisirten Siegellackstange in Berührung gebracht wird, die Fähigkeit, andere Körper anzuziehen.

Dieses verschiedene Verhalten des Seidenfadens und des Metallfadens in den angeführten Versuchen findet seine Erklärung in der Annahme, (welche auch anderweitige Erscheinungen bestätigen, s. unten S. 122), daß der Metallfaden die Electricität fortleitet, während der Seidenfaden dieses nicht thut.

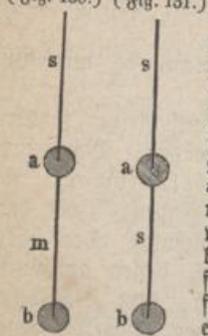
Körper, welche sich wie der Metallfaden in den angeführten Versuchen verhalten, pflegt man überhaupt gute Leiter oder auch kurzweg Leiter der Electricität, diejenigen aber, welche sich wie der Seidenfaden verhalten, Nichtleiter oder richtiger schlechte Leiter zu nennen.

Die besten Leiter der Wärme, die Metalle, leiten auch die Electricität am besten, dann Kohle, obgleich sie bekanntlich die Wärme schlecht leitet, ferner Wasser und alle wässerigen Flüssigkeiten, daher auch thierische und Pflanzenkörper im saftreichen Zustande, feuchtes Erdreich u. dgl. m. — Zu den schlechten Leitern der Electricität gehören fast alle die Körper, welche die Wärme schlecht leiten, Glas, die durchsichtigen Edelsteine, Eis, Schwefel, Harz, Seide, Haare, Federn und ganz besonders trockene Luft. — Zwischen guten und schlechten Leitern findet aber keine scharfe Scheidung, sondern ein allmählicher Uebergang statt, welcher durch die zwischen beiden stehenden Halbleiter vermittelt wird; zu diesen gehören Horn, Knochen, Holz, Papier, Marmor, Kreide, Gyps, überhaupt die meisten undurchsichtigen Erden und Steine, fette Oele u. a. m.

Gute und schlechte Leiter unterscheiden sich aber, wie aus den oben angeführten Versuchen hervorgeht, in Folgendem: Wenn einem guten Leiter Electricität mitgetheilt wird, so verbreitet sich dieselbe über seine ganze Oberfläche, und wenn man ihn an irgend einer Stelle berührt, so verliert er seine Electricität nicht nur an der berührten Stelle, sondern in seiner ganzen Ausdehnung. — Ein schlechter Leiter empfängt oder verliert in dem einen wie im anderen Falle die Electricität nur an der berührten Stelle und in der nächsten Umgebung derselben. — Ueberhaupt beruht die Verschie-

denheit zwischen schlechten Leitern, Halbleitern und guten Leitern auf dem Widerstande, welchen dieselben der Verbreitung der Electricität entgegensetzen.

Zur Bestätigung des Obigen können noch folgende Versuche dienen: Hängt man ein Papierscheibchen a (Fig. 130) an einem seidnen Faden s auf und an dieses ver-



mittelt eines Metallfadens m ein zweites Scheibchen b, so findet man, daß, wenn man eines dieser beiden Scheibchen durch Mittheilung electrifizirt, (mit einer geriebenen Siegellackstange berührt), auch das andere electrisch wird, indem es nun ebenfalls von der Siegellackstange abgestoßen wird, ein anderes an einem Seidenfaden aufgehängtes Scheibchen anzieht und nach der Berührung abstößt. Dasselbe Verhalten zeigt auch der Metallfaden in seiner ganzen Ausdehnung. Berührt man eines von beiden Scheibchen a oder b mit dem Finger, so verlieren auch das andere Scheibchen und der Metallfaden m ihre Electricität; dasselbe ist der Fall, wenn man den Metallfaden an irgend einer Stelle mit dem Finger berührt. — Hängt man dagegen an das erste, an einem Seidenfaden aufgehängte Scheibchen a (Fig. 131) ein anderes b ebenfalls vermittelst eines Seidenfadens s, so bekommt, wenn man eins derselben electrifizirt, nur dieses Electricität, und weder das andere Scheibchen noch der Seidenfaden zeigen eine Spur von

Electricität. Werden aber beide Scheibchen electrifizirt, indem man z. B. jedes mit einer geriebenen Siegellackstange berührt, und wird jetzt eines derselben mit dem Finger berührt, so verliert nur dieses seine Electricität, während das andere dieselbe unverändert behält.

Aus diesen Versuchen folgt nun unzweideutig, daß der Metallfaden die Electricität von einem Scheibchen zum anderen fortpflanzt, der Seidenfaden dies aber nicht thut.

Hygroskopische Substanzen, wie Holz, Papier u. dgl., nähern sich, je nach dem größeren oder geringeren Feuchtigkeitsgehalte, in ihrem Verhalten gegen die Electricität entweder mehr den guten oder schlechten Leitern. Ähnliches gilt auch von der Luft. Da feste Körper an ihrer Oberfläche vermöge der Adhäsion Dämpfe aus der Luft condensiren und zwar um so reichlicher, je feuchter dieselbe ist, so büßen die schlechten Leiter hierdurch wesentlich an ihrem Isolationsvermögen (vergl. den folgenden §.) ein. Dieses ist in besonders starkem Maße beim Glase der Fall; man pflegt daher Glasstäbe, welche als Isolatoren dienen sollen, mit einer solchen Substanz, welche sich weniger leicht mit condensirten Dämpfen bekleidet, wie z. B. Schellackstein, zu überziehen.

Die wichtige Entdeckung des Unterschiedes zwischen guten und schlechten Leitern ist zuerst im Jahre 1729 von dem Engländer Gray gemacht worden.

§. 119. Isolirung.

Aus dem Vorhergehenden ist nun auch klar, daß, wenn man einen guten Leiter electrifiziren will, derselbe isolirt, d. h. ringsum von schlechten Leitern umgeben sein muß. So kann man z. B. auch die guten Leiter eben sowohl, als die schlechten durch Reibung electrifiziren, wenn man dieselben nicht unmittelbar in der Hand, sondern z. B. an einem isolirenden gläsernen Griffe hält. Faßt man dagegen den guten Leiter mit der Hand an, so wird die erregte Electricität durch die Hand nach dem Körper und der Erde fortgeleitet. Einen schlechten Leiter aber kann man geradezu in der Hand halten, indem jedes nicht unmittelbar berührte Theilchen durch die benachbarten isolirt ist.

Eben so ist klar, daß, wenn die Luft zu den guten Leitern gehörte, electrische Erscheinungen gar nicht wahrgenommen werden könnten, und daß alle electrischen Versuche um so besser gelingen, je trockener die Luft ist.

Da aber auch die besten Isolatoren (Harz, Glas*), Seide, Wolle, Haare)

*) Das weiße Glas bewährt sich nicht immer als schlechter Leiter; dies ist sicherer bei dem gewöhnlichen grünen Fenster- oder Flaschenglase der Fall.

keine absoluten Nichtleiter sind, die schlechten Leiter von den guten Leitern sich nur dadurch unterscheiden, daß sie der Fortpflanzung der Electricität einen größeren Widerstand entgegensetzen, dieselbe aber nicht gänzlich hindern, so ist es auch nicht möglich, einen electrischen Körper so vollkommen zu isoliren, daß er seine Electricität für alle Zeit unverändert behielte. Jeder electrische Körper gibt, auch wenn er auf's sorgfältigste isolirt ist, seine Electricität allmählich an die umgebende Luft und die ihn tragenden Isolatoren ab. Je stärker die in einem Körper angehäufte Electricität ist, um so leichter vermag sie die Leitungswiderstände zu überwinden, um so rascher verliert daher der Körper, selbst bei angemessener Isolirung, den größten Theil seiner Electricität. Hat sich aber so seine Electricität bis zu einer geringen Stärke vermindert, oder war in dem Körper überhaupt nur schwache Electricität vorhanden, so wird, bei gleichbleibender Isolirung, erst nach längerer Zeit eine Abnahme dieser Electricität bemerklich. — (Die äußerst schwache, aber continuirlich strömende Electricität der galvanischen Batterien läßt sich durch die Telegraphendrähte, welche durch kleine Porzellan- oder Glasäulen isolirt sind, Hunderte von Meilen fortleiten und bringt selbst in dieser Entfernung noch die gewünschte Wirkung hervor; von der unvergleichlich stärkern, jedoch nur einen momentanen Strom liefernden Electricität der Electrifirmaschine würde dagegen nur ein ganz unmerklicher Theil bis an das andere Ende der Leitung gelangen.)

Wenn man unter der Dichte der auf der Oberfläche eines Körpers vorhandenen Electricität die Menge derselben im Verhältniß zur Größe der Oberfläche versteht, so kann man annehmen, daß die Kraft, mit welcher sich die Electricität an der Oberfläche des Körpers zu entfernen strebt, wie das Quadrat dieser Dichte wächst.

In älterer Zeit — vor den Entdeckungen Gray's — vermochte man nur in den schlechten Leitern Electricität zu erregen, und man hielt die guten Leiter für gänzlich unfähig, electrische Erscheinungen zu zeigen. Man nannte daher die schlechten Leiter electrische und die guten Leiter unelectrische Körper.

§. 120. Gesetz der electrischen Anziehung und Abstoßung.

Bisher haben wir unsere Versuche immer nur mit einem einzigen geriebenen Körper, z. B. mit einer Siegellackstange oder mit einer Glasstange, angestellt. Neue Erscheinungen gehen hervor, wenn wir eine Glasstange und eine Siegellackstange zugleich anwenden. — Sind beide mit einem wollenen Lappen gerieben und wir berühren

1) ein Scheibchen, welches an einem Seidenfaden aufgehängt ist, mit der Glasstange, so wird dasselbe nach der Berührung von der Glasstange abgestoßen, aber von der Siegellackstange angezogen.

2) Haben wir aber das Scheibchen mit der Siegellackstange in Berührung gebracht, so wird es von dieser abgestoßen, dagegen von der Glasstange angezogen.

3) Hängen wir zwei Scheibchen an Seidenfäden auf und berühren beide mit der Glasstange, so stoßen sie sich gegenseitig ab.

4) Berühren wir beide Scheibchen mit der Siegellackstange, so stoßen sie ebenfalls einander ab.

5) Wenn wir aber das eine Scheibchen mit der Glasstange, das andere mit der Siegellackstange berühren, so ziehen sie einander an. —

Aus diesen Versuchen geht unwiderleglich hervor, daß es zwei verschiedene Electricitäten gibt, welche zuerst von dü Fay Glas- und Harz-Elec-

tricität, später von Franklin positive und negative Electricität genannt worden sind. Dieser letzteren Benennung werden wir uns ebenfalls im Folgenden bedienen. Das Gesetz der beiden Electricitäten ist nun nach den obigen Versuchen dieses:

Die gleichnamigen Electricitäten stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an, also das nämliche Gesetz, wie beim Magnetismus (S. 105).

Durch dieses Gesetz ist uns auch das Mittel gegeben, die Electricität eines Körpers zu prüfen. Wir hängen nämlich für diesen Zweck zwei Scheibchen an Seidenfäden auf, ertheilen dem einen durch Berührung mit einer geriebenen Glasstange positive Electricität, dem andern durch Berührung mit einer geriebenen Siegellackstange negative Electricität und sehen nun zu, welches der beiden Scheibchen von dem zu prüfenden Körper abgestoßen wird, das positive oder das negative. Im ersten Falle ist seine Electricität positiv, im anderen negativ. Auch hier kann ebenso wie beim Magnetismus und aus denselben Gründen, wie wir noch deutlicher weiter unten zeigen werden, nur Abstoßung einen sicheren Beweis liefern.

Die entgegengesetzten Electricitäten und ihr gegenseitiges Verhalten sind von dem Franzosen du Fay, einem Zeitgenossen von Gray, 1733 entdeckt worden. Die näheren Umstände jedoch, welche du Fay zu dieser wichtigen Entdeckung geführt haben, sind nicht bekannt.

§. 121. Electrirmaschine.

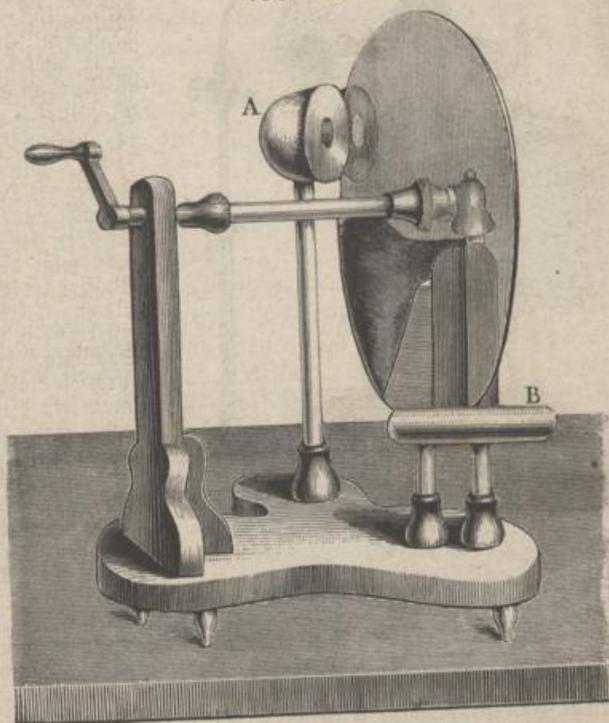
Wir haben bisher mit sehr einfachen Apparaten, welche sich jeder ohne Mühe und Kosten beschaffen kann, die Fundamentalgesetze der Electricität gewonnen. Hierbei sind jedoch nur sehr schwache Grade der Electricität zum Vorschein gekommen. Um stärkere Grade und kräftigere Wirkungen hervorzurufen, dient am zweckmäßigsten die Electrirmaschine. Diese besteht im wesentlichen aus dem Reiber, dem Reibzeuge und dem Conductor. Der Reiber war in älterer Zeit eine Kugel von Schwefel oder Glas, später ein Cylinder und ist gegenwärtig gewöhnlich eine Scheibe von Glas; das Reibzeug ist ein ledernes Kissen, welches mit Amalgam, einer Verbindung von Quecksilber, Zinn und Zink*), bestrichen wird, und der Conductor ist ein auf gläsernen Füßen ruhender metallischer Leiter, welcher gegen den Reiber hin in Spitzen ausläuft, im übrigen aber überall abgerundet ist. Bei der Umdrehung des Reibers erhält derselbe, folglich auch der Conductor, positive Electricität. — Bei den neueren Electrirmaschinen ist das Reibzeug isolirt und mit einem besonderen Conductor verbunden. Man kann sich dann leicht überzeugen, daß bei der Umdrehung des Reibers das Reibzeug und der Conductor desselben negative Electricität erhalten. — Will man kräftige positive Electricität in dem Conductor des Reibers ansammeln, so muß das Reibzeug oder der Conductor desselben mit der Erde leitend verbunden werden, um die negative Electricität abzuleiten. Dasselbe gilt von dem Conductor des Reibers, wenn man die negative Electricität des Reibzeugs ansammeln will.

Die Versuche mit der Electrirmaschine hängen sehr von der relativen Trockenheit der Luft ab; sie gelingen daher am besten während des Winters bei Frostwetter im geheizten Zimmer, im Sommer bei trockener Witterung um Mittag.

*) Dasselbe wird nach verschiedenen Verhältnissen bereitet; das Kienmayer'sche besteht aus 1 Theil Zinn, 1 Theil Zink und 2 Theilen Quecksilber.

Die ersten Electricitätsmaschinen mit Reiber, Reibzeug und Conductor sind ums Jahr 1744 von deutschen Physikern Hausen und Winkler in Leipzig, Bode in Wittenberg u. a. m. angefertigt worden; dieselben entzündeten leicht brennbare Körper durch den electricischen Funken und stellten mehrere für die damalige Zeit neue Versuche an. Bei den neueren Electricitätsmaschinen ist der Reiber, welcher aus einer starken Scheibe von Spiegelglas besteht, an einer vermittelst einer Kurbel drehbaren Ase, deren mittlerer Theil aus Glas besteht, befestigt. Der Hauptconductor A (Fig. 132.)

(Fig. 132.)



ist eine hohle Messingkugel, welche ebenfalls von einer Glassäule getragen wird. An demselben sind zwei hölzerne Ringe angebracht, welche an der innern Seite, da, wo die Scheibe zwischen ihnen hindurchgeht, mit einer Rinne versehen sind, deren Boden mit feinen Nadelspien besetzt und mit Stanniol bekleidet ist, von welchem ein Streifen sich bis zu dem messingnen Conductor fortsetzt. Als Reibzeug dienen zwei mit Amalgam bestrichene lederne Kissen; an diesen sind vorn zwei Flügel aus Wachsstaffet befestigt, welche sich dicht an die Scheibe anlegen und verhindern, daß sich die positive Electricität des Reibers nicht in die Luft ausbreite, bevor sie von den feinen Saugspizen der beiden hölzernen Ringe, welche mit dem Conductor A in leitender Verbindung stehen, aufgenommen worden. An der Rückseite der Kissen aber ist ein von einer Glassäule getragener cylindrischer, messingner Conductor B befestigt.

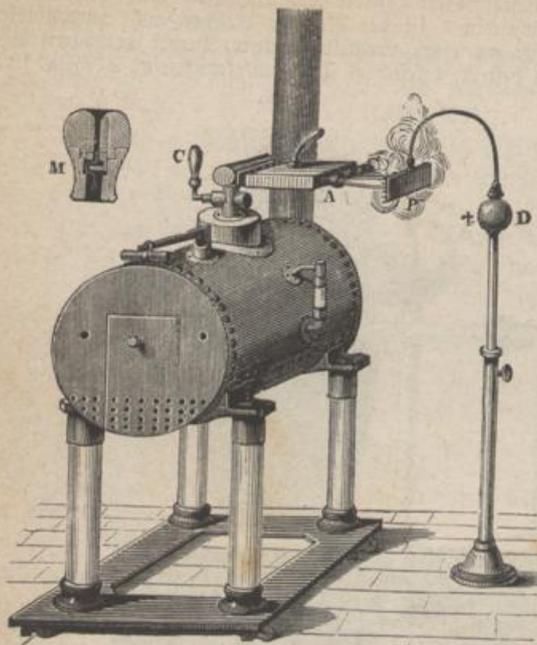
Derartige Maschinen geben bei einem Scheibendurchmesser von

1	Fuß	Funken	von 5	bis 7	Zoll	Länge.
2	"	"	" 12	" 14	" "	"
3	"	"	" 20	" 22	" "	"

Die Leistungen einer Electricitätsmaschine hängen wesentlich von der vollkommensten Reinheit der Scheibe ab, weshalb man diese vor dem Gebrauch, zumal wenn die Maschine längere Zeit gestanden hat, sorgfältig mit Schlemmkreide und Spiritus vermittelst alten Leinens zu putzen hat, eine Mühe, welche durch den Erfolg in ausgezeichnetem Maße belohnt wird.

Im Jahre 1840 hat der Engländer Armstrong die Reibung des aus Röhren ausströmenden Dampfes zur Construction einer Electrirmaschine benutzt.

(Fig. 133.)



Dieselbe besteht aus einem auf gläsernen Füßen ruhenden Dampfkessel, aus welchem die entwickelten Dämpfe bei A (Fig. 133) aus mehreren Röhren entweichen. An das Ende dieser Röhren ist ein Messingstück angeschraubt, welches bei M in etwas größerem Maßstabe abgebildet ist. In demselben befindet sich ein Holzstück, an welchem sich die entweichenden Dämpfe reiben. Die Heizung ist im Innern des Dampfkessels angebracht, und ein an der Seite desselben befindliches Glasrohr zeigt den Stand des Wassers im Innern des Kessels an. Die Dämpfe treten erst, nachdem sie eine gewisse Spannung erlangt haben, durch die Röhren bei A aus, indem ein dieselben absperrender Hahn mittelst des Handgriffs C geöffnet wird. Der Kessel zeigt nun bald kräftige negative Electricität, welche noch gesteigert wird, wenn man die positive Electricität der Dämpfe durch

Spitzen, gegen welche dieselben bei P strömen, nach dem Erdboden ableitet. Ist die durch einen starken Draht mit den Spitzen verbundene metallene Kugel D isolirt, so zeigt dieselbe freie positive Electricität. — Die eben beschriebene Electrirmaschine, bei welcher der Dampfkessel den Conductor, die Röhren den Reiber und die Dämpfe das Reibzeug bilden, führt den Namen Hydroelectrirmaschine.

Die electrische Influenzmaschine wird weiter unten (§. 128) beschrieben werden.

§. 122. Versuche mit der Electrirmaschine.

Durch die Electrirmaschine werden wir zunächst in den Stand gesetzt, die im Vorhergehenden angeführten Gesetze durch in größerem Maßstabe ausgeführte Versuche zu bestätigen.

1) Wenn wir durch theilweise Umdrehung des Reibers nur einen Theil desselben electrifiziren, so zeigt nur dieser Theil electrische Erscheinungen; die übrigen Theile desselben verhalten sich unelectrisch, da bei einem schlechten Leiter die erzeugte Electricität sich auf die Stelle beschränkt, in welcher sie unmittelbar erregt worden ist.

2) Ist der Reiber vollständig oder mehrmals umgedreht worden, so lassen sich demselben bei Annäherung des Fingers an verschiedenen Stellen mehrere Funken nach einander entziehen, weil beim einem schlechten Leiter nur jeder Stelle einzeln durch einen hinreichend oder bis zur Berührung genäherten Körper die Electricität entzogen wird.

3) Dagegen gibt der Conductor, als ein guter Leiter, bei hinreichender Annäherung des Fingers Electricität von seiner ganzen

Oberfläche ab. Man erhält daher von dem Conductor schon in größerer Entfernung und viel stärkere Funken als von dem Reiber.

4) Ein an einem seidenen Faden aufgehängtes Korfkügelchen, welches den electrifirten Reiber berührt hat, wird von diesem so wie auch dem Conductor abgestoßen, zum Beweise, daß beide gleichnamige Electricität besitzen.

5) Sind an einer Electrirmaschine sowohl der Reiber, als auch das Reibzeug mit einem besonderen isolirten Conductor versehen, so wird ein an einem seidenen Faden aufgehängtes und mit dem einen Conductor in Berührung gebrachtes Kügelchen von diesem abgestoßen, von dem andern Conductor aber lebhaft angezogen, weil Reiber und Reibzeug so wie die zugehörigen Conductoren entgegengesetzte Electricitäten haben.

Weiter führen wir folgende Beobachtungen und Versuche an:

6) Nach einigen Umdrehungen des Reibers bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, welcher nach Schönbein durch Bildung einer eigenthümlichen Substanz, des Ozon, entsteht. (Vergleiche oben S. 85, Anmerkung.)

7) Nähert man dem electrischen Reiber das Gesicht oder die Rückseite der Hand, so verspürt man ein eigenthümliches Gefühl, wie von Spinnweben.

8) Durch den electrischen Funken des Conductors lassen sich leicht zündbare Stoffe, Wasserstoffgas, Aether, Spiritus u. dgl. entzünden. Eine Mischung von Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft verbrennt mit Explosion, worauf die sogenannte electrische Pistole beruht.

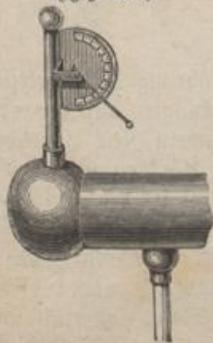
9) Längere Funken, welche man dem Conductor entzieht, beschreiben keine gerade Linie, sondern eine gebrochene (Zickzack-) Linie. Auf die Erklärung dieser Erscheinung werden wir später beim Blitze (S. 136) zurückkommen.

10) Bringt man an dem Conductor eine Spitze an, so bemerkt man im Dunkeln bei Umdrehung des Reibers einen von der Spitze ausgehenden leuchtenden Strahlenbüschel, welcher sich noch verlängert, wenn man der Spitze in einiger Entfernung die flache Hand oder einen andern Leiter gegenüber hält. Der Strahlenbüschel ist beim positiven Conductor größer als beim negativen.

11) In der Nähe der Electricität ausströmenden Spitze bemerkt man einen starken Geruch nach Ozon (vergl. Nro. 6).

12) Wenn man einen Menschen auf eine isolirende Unterlage, (den sogenannten Isolirstuhl, welcher aus einem Brette besteht, das auf gläsernen Füßen ruht), stellt und mit dem Conductor in leitende Verbindung bringt, so

(Fig. 134.)



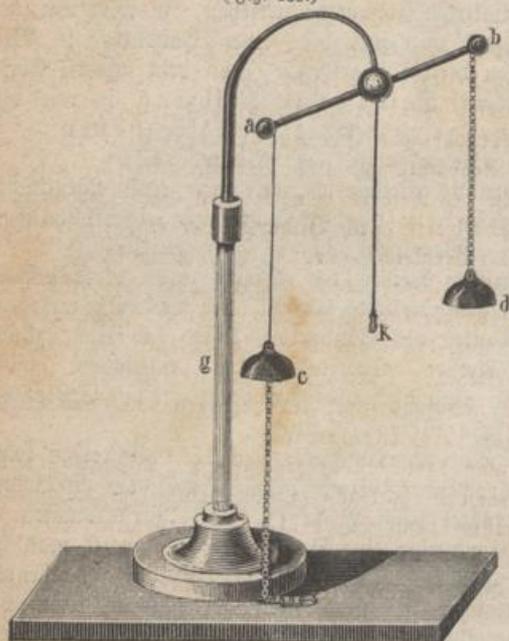
kann man demselben, eben so wie dem Conductor, Funken entziehen, welche Spiritus entzünden u. dgl. m. Man bemerkt zugleich, daß die Haare des Kopfes sich emporsträuben und im Dunkeln leuchten.

Um die Stärke der Electricität des Conductors einigermaßen abzumessen, dient das Quadranten-Electrometer von Henley (Fig. 134). Dieses besteht aus einem Stäbchen, welches auf dem Conductor befestigt wird und an seinem oberen Ende einen Halbkreis trägt, von dessen Mittelpunkt ein beweglicher, unten mit einem Korfkügelchen versehener Stift ausgeht. Je stärker der Conductor geladen ist, um so mehr wird der Zeiger und das Kügelchen abgestoßen und um einen um so größeren Winkel, welcher durch die Grade des Halbkreises gemessen wird, in die Höhe getrieben.

In Hinsicht der electrischen Lichterscheinungen unterscheidet

man den mit einem mehr oder weniger heftigen Knall hervorbrechenden electricen Funken, den nur von einem schwachen Knistern begleiteten Lichtbüschel und das Glimmlicht. Bei dem electricen Funken findet ein plötzlicher Uebergang einer größeren Electricitätsmenge statt, indem zugleich ein schlechter Leiter, gewöhnlich die Luft, durchbrochen wird. Bei dem Lichtbüschel geht die Electricität mehr allmählich in die den electricen Körper zunächst umgebenden Luft- und Staubtheilchen und von diesen dann zu weiter folgenden Theilchen über. Der Büschel zieht sich bei schwächerer

(Fig. 135.)



Ladung des Conductors in einen leuchtenden Punkt, das Glimmlicht, zusammen. Ueberhaupt findet zwischen allen drei Arten der electricen Lichterscheinung bei veränderter Oberfläche des mit Electricität geladenen Körpers, veränderter Dichtigkeit dieser Electricität oder bei Annäherung eines Leiters, ein vielfacher Wechsel und Uebergang statt.

Zu den oben angeführten Versuchen fügen wir noch den folgenden hinzu: Wenn man ein Stückchen Papier, welches man mit Jodkaliumkleister bestrichen und auf eine Metallplatte aufgeklebt hat, einer am positiven Conductor befindlichen Spitze gegenüber hält, so wird dasselbe durch die Einwirkung des sich bildenden Ozon rasch gebläut. Man bereitet den Jodkaliumkleister, indem man zwei Theelöffel voll Stärke, welcher man ein Körnchen Jodkalium zusetzt, mit dem zehnfachen Volumen Wasser zu Kleister kocht.

Wir übergehen die große Zahl der electricen Spielereien und führen nur das electrice Glockenspiel an, welches Fig. 135 nach

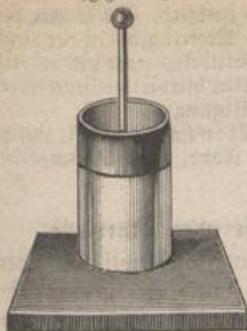
einer einfachen Einrichtung darstellt. An einem metallenen Arm ab, welcher durch eine Glasfäule g isolirt ist, hängen zwei Glöckchen c und d, ersteres an einer seidenen Schnur, letzteres an einer metallenen Kette und zwischen beiden ist an einer seidenen Schnur das Pendelchen k aufgehängt. Eine metallene Kette aber setzt das Glöckchen c mit dem Fußboden in leitende Verbindung. Wenn nun der metallene Arm ab mit dem Conductor einer Electricitätsmaschine leitend verbunden und diese in Thätigkeit gesetzt wird, so wird das Pendelchen k von dem Glöckchen d erst angezogen, dann abgestoßen, und nachdem es die von d empfangene Electricität an das Glöckchen c abgegeben hat, aufs neue von d angezogen u. s. w.

§. 123. Electriche Flasche.

So wie in der Geschichte der Wissenschaft nach Einführung der Electricitätsmaschine sich in rascher Folge die großartigsten Entdeckungen auf einander drängen und die richtige Würdigung derselben einer späteren Zeit angehört, so wollen wir uns auch zunächst mit den Mitteln, die stärksten Grade der Electricität zu erregen, vorläufig bekannt machen und dann wieder auf dem oben betretenen Wege der Untersuchung fortschreiten und die vorgeschriebenen Erscheinungen zu erklären, d. h. auf allgemeinste Gesetze zurückzuführen suchen.

Die größte Verstärkung der Electricität erhält man durch die electriche Flasche (Fig. 136). Diese besteht aus einem Glase, welches innerlich und äußerlich mit Metall, gewöhnlich Stanniol, (dünn gewalztem Zinn), belegt ist,

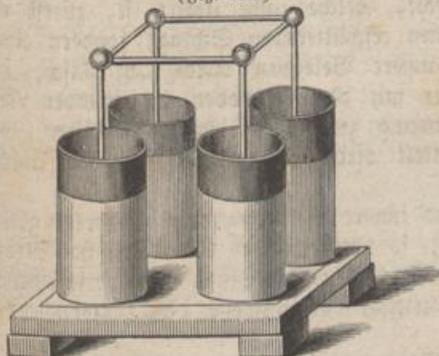
(Fig. 136.)



doch so, daß zwischen beiden Belegungen ein dieselben trennender Rand des Glases frei bleibt, welchen man gewöhnlich zur besseren Abhaltung der Feuchtigkeit mit Siegellack überzieht. Zur inneren Belegung führt ein Draht, welcher oben in eine metallene Kugel endet. Die Flasche wird geladen, wenn man die innere Belegung mit dem Conductor einer thätigen Electrirmaschine und die äußere Belegung mit dem Erdboden leitend verbindet. Die Flasche wird entladen, wenn man die äußere und innere Belegung mit einander in leitende Verbindung bringt. Man bemerkt hierbei einen kurzen mit einem Knalle begleiteten Funken. — Man sagt, der electriche Leiter,

welcher die Entladung einer electriche Flasche bewirkt, werde im Momente der Entladung von einem electriche Strome durchlaufen.

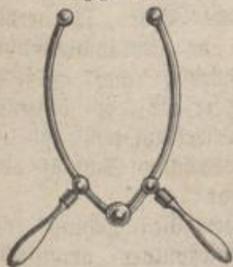
(Fig. 137.)



Noch kräftigere Wirkungen als mit der einfachen Flasche erhält man durch die Vereinigung mehrerer Flaschen zu einer sogenannten electriche Batterie (Fig. 137). Die innern Belegungen sind durch starke Drähte, die äußeren Belegungen aber dadurch leitend verbunden, daß die Flaschen auf einem mit Stanniol überzogenen Brette aufgestellt sind.

Zur Entladung der Flasche oder Batterie bedient man sich gewöhnlich eines Ausladers. Dieser besteht aus zwei starken durch ein Charnier

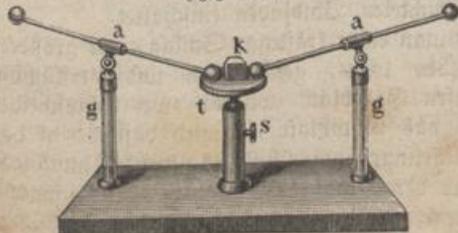
(Fig. 138.)



verbundenen und in metallene Kugeln endenden Drähten, welche mit gläsernen Handgriffen versehen sind, vermittelst deren sich die Kugeln beliebig nähern und von einander entfernen lassen (Fig. 138).

Um den electriche Schlag durch einen Körper hindurch zu leiten, dient der allgemeine Auslader von Henley. Dieser besteht aus zwei messingenen um Charniere beweglichen Armen aa (Fig. 139), welche von Glssäulen gg getragen werden, und einem Tischchen t, welches sich vermittelst der Schraube s höher und niedriger stellen läßt und den Körper k trägt, durch welchen der Schlag hindurchgeführt wird, indem man den einen der beiden Arme durch eine Kette mit der äußeren Belegung einer Flasche oder Batterie, den andern aber vermittelst

(Fig. 139.)



des in Fig. 138 abgebildeten Ausladers mit dem Knopfe der innern Belegung in Verbindung bringt.

Die ersten Versuche mit der electriche Flasche haben der Domherr v. Kleist in Ramin in Pommern im November des Jahres 1745 und etwas später Kunäus, ein Gehülfe des Professor Muschenbroë in Leiden, im März 1746 angestellt, woher die electriche Flasche auch die

Namen Kleist'sche und Leidener Flasche erhalten hat. — Kleist hatte einen eisernen Nagel in ein Medicinglas gesteckt, welches etwas Quecksilber enthielt. Als er nun den Nagel und das Quecksilber electricirt hatte, während er das Medicinglas in der einen Hand hielt, und darauf den Nagel mit der andern Hand berührte, empfand er eine heftige Erschütterung. Das Quecksilber und der Nagel bildeten hierbei die innere, die Hand, mit welcher das Glas gehalten wurde, die äußere Belegung.

Eine Abänderung der electricischen Flasche ist die Franklin'sche Tafel, welche aus einer auf beiden Seiten, bis auf einen frei bleibenden Rand, mit Stanniol belegten Glasscheibe besteht.

§. 124. Versuche mit der electricischen Flasche oder Batterie.

1) Wenn man die äußere Belegung einer geladenen Flasche mit der einen Hand ansaßt und hierauf mit der andern Hand den mit der inneren Belegung in leitender Verbindung stehenden Knopf berührt, so empfindet man eine Erschütterung.

2) Diese kann auch von mehreren Personen zugleich empfunden werden, wenn diese sich mit den Händen anfassen und von den beiden äußersten die eine zuerst die äußere Belegung und hierauf die andere den Knopf berührt.

3) Berührt man an einer Flasche, welche nicht isolirt ist, zuerst die innere Belegung, so erhält man keinen erschütternden Schlag, sondern einen stechenden Funken. Denn da die äußere Belegung durch den Tisch, die innere durch den menschlichen Körper mit dem Fußboden in leitender Verbindung stehen, und da diese Verbindung zum Theil durch Halbleiter, wie der Tisch, Fußboden u. s. w. vermittelt wird, so entladet sich die Flasche allmählich ohne Schlag.

4) Verbindet man die äußere und innere Belegung durch mehrere gleich lange und gleich gute Leiter zugleich, so vertheilt sich der electricische Strom zwischen denselben; haben dieselben aber verschiedene Länge oder verschiedenes Leitungsvermögen, so wählt die Electricität vorzugsweise den kürzeren oder besseren Leiter.

5) Der electricische Strom durchläuft auch eine längere Leitung mit unmeßbarer Geschwindigkeit.

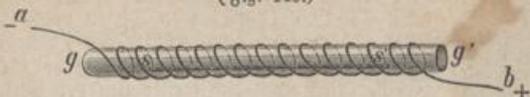
6) Führt man den electricischen Schlag durch schlechte Leiter, so werden dieselben durchbohrt oder zerschmettert. Schon durch den Entladungsschlag einer kleinen Flasche läßt sich ein Kartenblatt, vermittelt einer größeren Flasche oder Batterie, welcher man eine starke Ladung ertheilt, ein hölzernes Brettchen oder eine Glasscheibe durchbohren. — Bemerkenswerth ist der Umstand, daß bei einem Kartenblatte das von dem electricischen Schläge hervorgebrachte Loch an beiden Seiten erhabene Ränder hat.

7) Leicht zündbare Körper können durch den electricischen Schlag entzündet werden. Leitet man den Schlag durch Schießpulver mittelst metallener Drähte, so wird dieses in der Regel nur umhergeschleudert. Die Entzündung gelingt am besten, wenn man in die Kette einen unvollkommenen Leiter, z. B. einen angefeuchteten Bindfaden einschaltet.

8) Feine Metalle können, wenn man einen kräftigen Schlag einer größeren Flasche oder Batterie durch dieselben leitet, geschmolzen und verflüchtigt werden. — Legt man einen Streifen Goldblatt zwischen zwei Glasscheiben und leitet hierauf den Schlag durch das Goldblatt, so wird dasselbe in das Glas eingebrannt. — Der Versuch gelingt unter übrigens gleichen Umständen um so leichter, je kürzer und dünner der Draht oder je kürzer und schmaler das Goldblatt ist, durch welches der electricische Schlag hindurchgeführt wird.

9) Führt man den Entladungsstrom einer größeren Flasche oder Batterie

(Fig. 140.)



vermittelt eines Drahtes quer über eine Stahlnadel, so wird dieselbe magnetisch. Dies gelingt noch besser, wenn man den Draht um eine gläserne Röhre, in welche man die Nadel (wegen der Isolirung) legt, in mehreren Windungen

herumgeführt hat, wie dieses Fig. 140 zeigt.

10) Kleinere Thiere, z. B. Käsen, können durch den Entladungsschlag größerer Batterien getödtet werden.

Den obigen Versuchen reihen wir noch die folgenden Erscheinungen an:

11) Bei starker Ladung geschieht es zuweilen, daß sich Flaschen von selbst entladen, indem das Glas durchbohrt wird (was die Flasche natürlich unbrauchbar macht), oder indem der Entladungspunkt von der einen Belegung nach der andern über den Rand des Glases überspringt.

12) Wenn man ein an beiden Enden durch Korke verschließbares gläsernes Röhrchen mit Wasser füllt, in die Korke Drähte so einsetzt, daß ihre in kleine Kugeln auslaufenden Enden innerhalb der Röhre etwas von einander abstehen, und hierauf durch dieselben einen kräftigen electrischen Schlag leitet, so wird die Röhre mit Festigkeit zerschmettert.

13) Stellt man die Verbindung zwischen der äußeren und inneren Belegung durch eine Leitung her, welche an mehreren Stellen kleine Unterbrechungen hat, z. B. durch eine Kette, welche aus mehreren Gliedern besteht, oder durch eine sogenannte Blitztafel, bei welcher ein auf eine Glasstafel aufgelebter Stanniolstreifen an mehreren Stellen kleine Lücken hat, so erscheinen alle unterbrochenen Stellen bei der Entladung leuchtend.

14) Leitet man den electrischen Schlag über ein Stück Kreide, so zeigt sich auf dem Wege, welchen der Entladungspunkt über die Kreide genommen hat, ein Lichtschein, welcher einige Secunden anhält. Dieselbe Erscheinung bieten auch andere Nichtleiter, Gyps, Zucker u. dgl. dar.

Bei den oben angeführten Versuchen 6 und 11 wird der Erfolg vorzüglich durch die Spannung, bei den Versuchen 7, 8, 9 und 12 aber durch die Menge der in der Flasche oder Batterie angehäuften Electricität bedingt. — Die electricische Spannung läßt sich einigermaßen nach dem Ausschlage des Quadrantenelectrometers, welches man auf den mit der innern Belegung verbundenen Conductor aufsetzt, genauer durch die weiter unten §. 129 Anm. zu beschreibende Maßflasche messen.

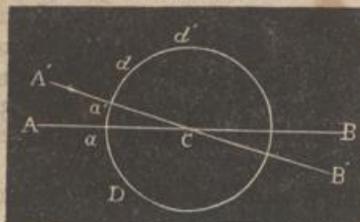
Die Polarität einer durch den electricischen Entbindungsschlag magnetisirten Stahlnadel ist bei schwächeren Ladungen dem Ampère'schen Gesetze (§. 149) entsprechend. Dies ist jedoch bei stärkeren Ladungen nicht immer der Fall, was als eine Folge der in dem Drahte, durch welchen der Entladungsschlag hindurchgeführt wird, zugleich erregten inducirten Ströme (§. 130 und 161), welche theils eine dem Hauptstrome gleiche, theils eine entgegengesetzte Richtung haben, angesehen wird.

Um die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Electricität zu bestimmen, hat schon Watson in London 1748 Versuche angestellt und gefunden, daß die Electricität eine längere Drahtleitung mit unmeßbarer Geschwindigkeit durchläuft. Zu diesem Zwecke hatte er von dem Zimmer aus, in welchem sich die Electricitätsmaschine nebst einer electricischen Flasche befand, zwei Drähte, deren jeder $\frac{1}{4}$ geographische Meile lang war, in mehrfachen Windungen auf isolirenden Holzstäben über ein flaches Feld und wieder zurück ins Zimmer geführt. Der Beobachter, welcher sich im Zimmer befand, hielt in jeder Hand das Ende eines Drahtes, das andere Ende des einen Drahtes war mit der äußeren Belegung der Flasche verbunden, und das zweite Ende des anderen Drahtes wurde dem Knopfe der inneren Belegung genähert; in demselben Momente, in welchem die Entladung der Flasche erfolgte, wurde auch die Erschütterung von dem Beobachter in den Armen und in der Brust empfunden.

Im Jahre 1835 hat Wheatstone durch ein äußerst sinnreiches Verfahren gefunden, daß die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Electricität fortpflanzt, die Geschwindigkeit des Lichtes noch übertrifft. Wheatstone's Verfahren besteht im wesentlichen in Folgendem: Wenn man einen senkrecht stehenden Spiegel um eine in der

Ebene des Spiegels liegende verticale Axe um irgend einen Winkel dreht, so beschreiben die Bilder aller im Spiegel sich zeigenden Gegenstände Kreisbogen, welche doppelt so

(Fig. 141.)



viel Grade haben, als der Winkel, um welchen man den Spiegel gedreht hat. Ist z. B. AB (Fig. 141) ein (nach beiden Seiten verlängerter) wagerechter Durchschnitt der Ebene des Spiegels, D ein leuchtender Punkt vor demselben, denkt man sich ferner um den Mittelpunkt der Drehung C einen Kreis mit dem Abstände CD beschrieben und Bogen $ad = aD$ gemacht, so ist offenbar d das Bild des leuchtenden Punktes D. Wird nun der Spiegel in die Lage $A'B'$ gedreht, während der leuchtende Punkt D seine Lage un-
ändert beibehält, und wird wieder Bogen

$a'D = a'd'$ gemacht, so ist jetzt d' das Bild des leuchtenden Punktes D. Nun ist $a'd' = a'D = aa' + aD = aa' + ad = 2aa' + a'd$, folglich $a'd' = a'd$, d. h. $dd' = 2aa'$. Der Bogen dd' , welchen das Bild durchläuft, ist also doppelt so groß als der Bogen aa' , um welchen man den Spiegel gedreht hat. Während folglich der Spiegel einen halben Umlauf macht, beschreibt das Bild einen vollständigen Kreis, und wenn der Spiegel auf beiden Seiten polirt ist, wie dies bei *Wheatstone's* Versuchen der Fall war, so macht das Bild bei einer vollständigen Umdrehung des Spiegels zwei ganze Umläufe. — Da die Lichteindrücke im Auge nicht augenblicklich vorübergehen, sondern einige Dauer haben, so wird sich bei rascher Umdrehung des Spiegels, wenn der leuchtende Punkt und das Auge in einer zur Drehungsachse senkrechten Ebene liegen, das Bild eines leuchtenden Punktes als eine zur Drehungsaxe senkrechte Linie und ein leuchtender Gegenstand als ein länglicher Streifen darstellen. *Wheatstone* drehte nun den Spiegel so rasch, daß derselbe in der Secunde 50 Umläufe machte und folglich $\frac{1}{4}$ Grad in dem 72000sten Theile einer Secunde zurücklegte. Wenn daher ein electrischer Funke auch nur die angegebene kurze Dauer hatte, so mußte er im Spiegel schon die deutlich wahrnehmbare Ausdehnung von $\frac{1}{2}$ Grad in der Breite erhalten. Electrische Funken jedoch von mehreren Zollen Länge zeigten sich im rotirenden Spiegel, (wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, was natürlich von der jedesmaligen Stellung abhing, welche der Spiegel im Moment ihres Hervorbrechens gegen das Auge hatte, und daher nicht bei allen der Fall sein konnte), ganz eben so wie im ruhenden, wonach denn die Dauer eines solchen Funkens noch nicht den 72000sten Theil einer Secunde betrug.

Wheatstone stellte nun auch Versuche über die Geschwindigkeit an, mit welcher der Entladungsstrom einer electrischen Flasche eine längere Drahtleitung durchläuft. Diese Leitung hatte an drei Stellen a , b und c eine ganz kurze Unterbrechung, von a bis b durchlief der electrische Strom einen in mehreren Windungen fortgeführten Draht von der Länge einer englischen Viertelmeile und einen eben so langen Draht von b bis c . Im ruhenden Spiegel erschienen bei der Entladung der Flasche

drei Funken in folgender Stellung a b c ; als aber der Spiegel so rasch gedreht wurde, daß er 800 Umläufe in der Secunde machte, so erschienen 1) sämmtliche Bilder in die Länge gezogen, und 2) das mittlere gegen die beiden äußeren etwas verschoben, und zwar bei Umdrehung des Spiegels nach der rechten Seite so a b c , bei der Umdrehung nach der linken Seite so b a c .

Wheatstone schloß hieraus folgendes:

- 1) Da die Bilder aller drei Funken in die Länge ausgedehnt erscheinen, so geht hieraus hervor, daß die Entladung einer electrischen Flasche durch einen solchen längern Leitungsdraht nicht augenblicklich, sondern allmählich geschieht.
- 2) Da die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die beiden äußeren ohngefähr $\frac{1}{2}^\circ$ betrug, so muß derselbe gegen die beiden anderen um ein Zeitintervall zurückgeblieben sein, während dessen sich der Spiegel um $\frac{1}{4}^\circ$ gedreht hat. Da nun der Spiegel in einer Secunde 800 Umläufe machte, also $\frac{1}{4}^\circ$ in dem 1152000sten Theile

einer Secunde zurücklegte, so hatte der electriche Strom diese Zeit gebraucht, um die Drahtlänge von $\frac{1}{4}$ engl. Meile zu durchlaufen, und er würde folglich, wenn seine Geschwindigkeit dieselbe bleibt, in einer ganzen Secunde 288000 englische oder ohngefähr 62000 geographische Meilen zurücklegen, während das Licht in einer Secunde nur 42000 geographische Meilen zurücklegt.

Ferner folgt noch aus dem Zurückbleiben des mittleren Funkenbildes gegen die beiden äußeren, daß der electriche Strom nicht von einer Belegung zur andern, sondern von beiden Belegungen zugleich ausgeht.

Die später von anderen Physikern (an den Drähten electricher Telegraphen) über die Geschwindigkeit der Electricität angestellten Versuche stimmen zwar darin überein, daß die Electricität auch die längste Drahtleitung mit einer sehr großen Geschwindigkeit durchläuft; sie weichen jedoch in der Bestimmung der absoluten Größe dieser Geschwindigkeit von einander und von dem durch Wheatstone erhaltenen Resultate sehr bedeutend ab. So erhielt Walker in Amerika durch seine Versuche nur eine Geschwindigkeit von 4000 Meilen für die Secunde, Fizeau in Frankreich fand diese Geschwindigkeit in einem Eisenbraute von ohngefähr zwei Linien Durchmesser gleich 14000, in einem Kupferbraute von etwas mehr als einer Linie Durchmesser gleich 24000 Meilen.

Diese Verschiedenheiten werden nach den von Faraday (1853) angestellten Untersuchungen durch das den Leitungsdraht umgebende Medium bedingt. Indem nämlich die an dem Ende des Drahtes in denselben einströmende positive oder negative Electricität, während sie den Draht durchläuft, vertheilend auf das umgebende Medium einwirkt, die entgegengesetzte Electricität in denselben anzieht und ihrerseits von dieser angezogen wird, erfährt sie bei ihrer Fortbewegung eine Verzögerung, welche bei unzer der Erde oder im Wasser fortgeführten (durch Guttapercha isolirten) Drähten viel beträchtlicher als bei den durch die Luft fortgeleiteten Drähten ist. Dagegen dürfte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit unabhängig von der Intensität des fortgepflanzten Stromes sein.

Unter den Wirkungen des electricen Funkens haben wir noch anzuführen, daß durch denselben Spuren von Salpetersäure, zu welcher sich der Stickstoff und Sauerstoff der atmosphärischen Luft vereinigen, gebildet werden, wie dies schon Cavendish 1788 beobachtet hat.

§. 125. Die electriche Natur des Gewitters.

Die im Vorhergehenden, besonders im letzten Paragraphen angeführten Erscheinungen haben mit den Wirkungen des Blitzes eine solche Aehnlichkeit, ja sie ahmen dieselben so vollständig nach, daß nach Erfindung der electricen Flasche den Physikern kaum noch ein Zweifel über die electriche Natur des Gewitters bleiben konnte. Besonders Franklin, dessen sogleich anzuführenden Versuchen wir den directen Beweis für diese Behauptung verdanken, hatte schon in seinen 1747 bis 1754 verfaßten Briefen für die Wichtigkeit derselben folgende überzeugende Gründe aufgeführt:

- 1) Der Blitz durchläuft in der Luft eben so wie längere electriche Funken gewöhnlich eine Zickzacklinie.
- 2) Die Blitze treffen vorzugsweise die höchsten, (also nächsten) und spitzigsten Gegenstände. Dasselbe gilt von den electricen Funken.
- 3) Der Blitz folgt auf seinem Wege vorzüglich den besten Leitern der Electricität.
- 4) Brennbare Gegenstände werden vom Blitze entzündet und
- 5) Metalle häufig geschmolzen.
- 6) Schlechte Leiter werden vom Blitze zerschmettert oder durchbohrt.
- 7) Der Blitz tödtet Thiere und Menschen.
- 8) Der Blitz übt magnetische Wirkungen aus; er macht Eisen oder Stahlstäbe, in deren Nähe er vorbeigeht, magnetisch; und umgekehrt kennt man Fälle, in denen der Blitz den Magnetismus der Compaßnadeln zerstörte oder umkehrte.

Zu diesen Erscheinungen fügen wir noch

9) den eigenthümlichen Geruch (nach Ozon) hinzu, welcher nach Blitzschlägen wahrgenommen und von Beobachtern, welche denselben nicht näher zu characterisiren vermögen, gewöhnlich als Schwefelgeruch bezeichnet wird.

10) Gewitter veranlassen an electricischen Telegraphen unregelmäßige Zeichen. Auf die angeführten Gründe gestützt, machte nun Franklin den kühnen Versuch, die Electricität der Gewitterwolken unmittelbar zur Erde nieder zu leiten. Zu diesem Zweck ließ er im Juni 1752 bei einem herannahenden Gewitter in der Nähe von Philadelphia einen Drachen (Windvogel) emporsteigen, an welchem ein aufrecht stehender zugespitzter Draht befestigt war. Das letzte Ende der Schnur, welches er in der Hand hielt, war von Seide, und an der hänsenen Schnur selbst war ein Schlüssel angehängt. Anfangs zeigte sich keine Spur von electricischen Wirkungen, und Franklin wollte schon an dem Erfolge verzweifeln. Da bemerkte er, daß, als die Gewitterwolke sich mehr genähert hatte, einige lose Fäden an der hänsenen Schnur sich emporsträubten, und als er nun, durch diese Erscheinung ermuthigt, dem Schlüssel den Finger näherte, erhielt er electricische Funken, welche noch lebhafter wurden, nachdem herabfallender Regen die Schnur naß und so zu einem besseren Leiter gemacht hatte.

Bald nachher richtete Franklin an seinem Bohnhause in Philadelphia eine isolirte eiserne Stange auf. An dem unteren Ende derselben befestigte er zwei Glöckchen (nach Art des electricischen Glodenspiels), welche anschlugen und ihn durch ihr Läuten aufmerksam machten, wenn die Stange mit Electricität geladen war. Er beobachtete so zu wiederholten Malen während Gewittern, welche über die Stadt zogen, electricische Erscheinungen und häufiger negative als positive Electricität.

Ähnliche Versuche mit einer isolirten eisernen Stange waren nach Franklin's Vorschlägen schon einen Monat früher, im Mai 1752, (ohne daß Franklin hiervon eine Nachricht erhalten hatte), von französischen Physikern angestellt worden und sind seitdem vielfach von verschiedenen Physikern wiederholt worden. Diese Versuche sind jedoch, wenn die nöthigen Vorsichtsmaßregeln außer Acht gelassen werden, für den Beobachter mit Gefahr verbunden, wie das Beispiel von Richmann in Petersburg beweist, welcher am 6. August 1753 ein Opfer seiner wissenschaftlichen Bemühungen und von einem Blitzstrahle getödtet wurde, welcher an der isolirten eisernen Stange niederfuhr und nach der Beobachtung des in dem nämlichen Zimmer anwesenden Malers Sokolow in Gestalt eines Feuerballs von dem Ende der Stange nach Richmann's Kopf übersprang.

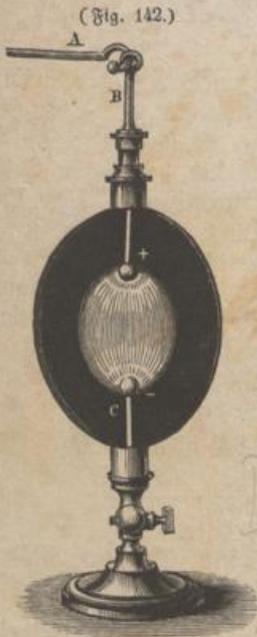
*§. 126. Verbreitung der Electricität.

Nachdem wir uns im Vorhergehenden fast ausschließlich mit den Wirkungen des electricischen Funkens beschäftigt haben, wenden wir uns nun wieder zu solchen Untersuchungen, welche die Ermittlung der Gesetze, denen die electricischen Erscheinungen überhaupt unterworfen sind, zu ihrem Gegenstande haben.

1) Die Electricität verbreitet sich bei guten Leitern vorzüglich nur an der Oberfläche, ohne beträchtlich in das Innere derselben einzudringen, wie schon der Umstand zeigt, daß ein hohler Conductor die nämlichen electricischen Erscheinungen darbietet, wie ein massiver.

2) Die Electricität wird an der Oberfläche der Körper durch den Widerstand der schlecht leitenden Luft zurückgehalten. Verdünnte Luft durchdringt die Electricität im allgemeinen um so leichter, je höher der Grad der

Verdünnung ist. Dieses gilt jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze der Verdünnung; wird diese Grenze überschritten, so nimmt der Leitungswiderstand der Luft wieder zu. Die Grenze, bei welcher dies eintritt, wird bei schwächerer Electricität früher als bei stärkerer erreicht; der luftleere Raum zeigt sich auch für kräftige Electricität als nicht leitend. — Bei dem Uebergange der Electricität durch den luftverdünnten Raum nimmt man eine sehr schöne Lusterscheinung wahr.



Um dieses zu zeigen, dient das sogenannte electrische Ei (Fig. 142), welches aus einem gläsernen Ballon besteht, welcher an seinen Enden mit messingnen Fassungen versehen ist, deren eine sich auf eine Luftpumpe aufschrauben und nach möglichster Verdünnung der Luft durch einen Hahn verschließen läßt. Im Innern des Ballons sind zwei Drähte angebracht, welche in Kugeln enden, zwischen denen die Electricität mit lebhafter Lichtentwicklung überströmt.

Eben so bemerkt man bei einem Schwanken des Barometers in Folge der Reibung des Quecksilbers an den Wänden des Glases und der hierdurch erregten Electricität ein Leuchten der sogenannten Torricellischen Leere, welche jedoch mit Quecksilberdämpfen, allerdings von sehr geringer Elasticität, erfüllt ist.

3) An einem isolirten kugelförmigen Conductor verbreitet sich die Electricität gleichförmig über die ganze Oberfläche; an einem länglichen Leiter dagegen häuft sie sich stärker an den Enden als in der Mitte an, was dadurch begreiflich wird, daß die gleichnamigen Electricitäten beider Hälften

sich abstoßen, also sich gegenseitig zu fliehen suchen. Am stärksten häuft sich die Electricität in Spizen an.

4) Hierin ist auch der Grund enthalten, warum Spizen die Electricität so leicht in die umgebende Luft ausströmen. Es müssen daher an einem Conductor, welcher seine Electricität längere Zeit behalten soll, Spizen sorgfältig vermieden werden. Ueberhaupt muß derselbe eine möglichst glatte und reine Oberfläche darbieten. — Auch durch eine genäherte Spitze kann einem electrifirten Körper schon aus einer ziemlichen Entfernung Electricität entzogen werden, indem in der genäherten Spitze, wie wir weiter unten zeigen werden, sich die entgegengesetzte Electricität in hohem Maße anhäuft. — Man bemerkt bei dem Ausströmen der Electricität aus Spizen keine eigentlichen Funken, sondern leuchtende Strahlenbüschel, welche als durch eine unzählige Menge sehr kleiner Funken gebildet angesehen werden können^{*)}. Die nämliche Wirkung wie eine Spitze, aber in noch stärkerem Maße gibt eine Flamme vermöge der von derselben aufsteigenden Ströme leitender Dämpfe^{**}).

^{*)} Vergl. oben S. 122 Anm.

^{**}) Die Flamme gewährt auch ein bequemes Mittel, einem electrifirten Körper, insbesondere einem schlechten Leiter, seine Electricität vollständig zu entziehen; man hat hierzu nur nöthig, denselben nahe über die Flamme hinzuführen.

5) Ist die Electricität über die Oberfläche eines Körpers gleichmäßig verbreitet, so ist die Dichte oder Spannung derselben der Menge der vorhandenen Electricitäten direct, der Größe der Oberfläche oder umgekehrt proportional.

6) Werden zwei gleichförmige electrische Körper mit einander in Berührung gebracht oder leitend verbunden, und besitzt die Electricität in beiden dieselbe Spannung, so gibt keiner dem andern Electricität ab. Ist aber in dem einen die Spannung der Electricität stärker als im andern, so geht im allgemeinen aus dem erstern Electricität in den andern Körper über, bis die Spannung der Electricität in beiden dieselbe ist.

7) Wird einem electrischen Leiter ein anderer unelectrischer allmählich genähert, so hängt die Entfernung, in welcher die Electricität aus dem einen in den andern übergeht, nicht allein von der Menge der in dem einen angehäuften Electricität, sondern auch von der Gestalt der genäherten Enden beider Körper ab. Bei Kugeln von größerem Durchmesser ist diese Entfernung geringer als bei Kugeln von kleinerem Durchmesser, und sie ist überhaupt um so kleiner, je mehr sich die gegenüberstehenden Flächen der Ebene nähern. Ist der eine Körper ein schlechter, der andere ein guter Leiter, oder sind beide schlechte Leiter, und besitzt die Electricität des einen keine allzu hohe Spannung, so können sie mit ihren flachen Seiten bis zur Berührung einander genähert werden, ohne daß ein Uebergang der Electricität aus dem einen zum andern stattfindet, (wie man sehr deutlich an dem Kuchen und Deckel eines Electrophors sehen kann). Hierauf mag es auch wohl beruhen, daß kleine Papierscheibchen von einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange häufig nur angezogen, aber nicht wieder abgestoßen werden.

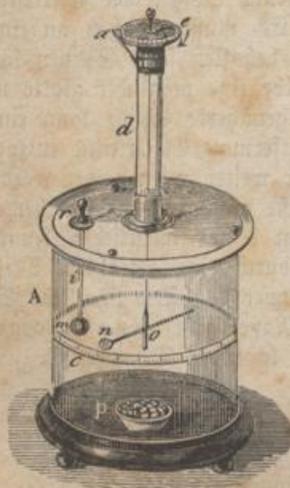
8) In ihren Wirkungen in die Ferne folgt die Electricität dem allgemeinen Naturgesetze, dem fast alle bekannten Naturkräfte, Schwere, Magnetismus, Licht, Wärme u. s. w., unterworfen sind: es verhalten sich nämlich die electrischen Anziehungen und Abstoßungen umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen.

9) Da hiernach die anziehende oder abstoßende Kraft eines electrischen Körpers mit der Entfernung sehr rasch abnimmt, so können die Wirkungen

derselben allemal nur innerhalb einer gewissen beschränkten Entfernung wahrgenommen werden. Man nennt die Entfernung, innerhalb welcher ein electrischer Körper noch deutlich wahrnehmbare Wirkungen äußert, den electrischen Wirkungskreis oder auch die electrische Atmosphäre desselben.

Das Gesetz über die Abnahme der electrischen Kraft mit der Entfernung hat Coulomb ums Jahr 1787 mittelst seiner electrischen Drehwaage (Fig. 143) nachgewiesen. Diese besteht aus einem weiten gläsernen Cylinder A, dessen oberer Boden durchbohrt ist und hier einen engeren Cylinder d trägt. Innerhalb dieser beiden Cylinder ist ein feiner Metallfaden aufgehängt, welcher mit seinem oberen Ende an einer drehbaren kreisförmigen und an ihrem Umfange in Grade eingetheilten Scheibe o befestigt ist. Zur Abmessung dieser Drehung dient eine an dem Cylinder d befestigte Marke a. An dem unteren Ende des feinen Metallfadens ist ein

(Fig. 143.)



metallenes Stäbchen *o* und an diesem eine horizontal schwebende dünne Schellacknadel angebracht, welche an einem Ende ein kleines Kugeln *n* von Hollundermark trägt und über einem in Grade getheilten Kreise *e* spielt. Wird die kleine Scheibe oben bei *e* um eine gewisse Zahl von Graden gedreht, so durchläuft auch die Schellacknadel eben so viele Grade am untern Kreise. — Seitwärts ist in dem Deckel des größeren Cylinders bei *r* eine Oeffnung angebracht, durch welche ein ebenfalls an einem Schellackfaden *i* befestigtes Korkkugeln *m* so eingesenkt werden kann, daß es genau der Null des eingetheilten Kreises gegenübersteht, (wobei es natürlich das Kugeln *n* seitwärts aus seiner Lage verdrängt). — Um die Luft im Innern möglichst trocken zu erhalten, pflegt man auf dem Boden des größeren Cylinders *A* ein Schälchen *p* mit Stücken von Chlorcalcium aufzustellen.

Coulomb stellte nun mit der Drehwaage folgenden Versuch an: Er theilte dem Kugeln *m* Electricität mit, senkte es durch die Oeffnung *r* ein, wo es nach der Berührung das Kugeln *n* gleichnamig electricisirte und um einen Winkel von 36 Grad forttrieb. Hierauf drehte Coulomb den obern Kreis *e* gegen die Ordnung der Zahlen so lange, bis der Ablenkungswinkel nur noch 18° betrug. Hierzu war eine Drehung dieses Kreises von 126° erforderlich. Bei dem ersten Versuche standen die Kugeln *n* und *m* um 36°, beim zweiten 18° von einander ab; die beiden Abstände verhielten sich also wie 2:1. Bei dem ersten Versuche betrug die Torsion des Drahtes, welcher die Schellacknadel trägt, 36°, bei dem zweiten 18° + 126° = 144°. Die Torsionen des Drahtes verhielten sich also wie 36°:144° = 1:4, also gerade umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. — Zu diesen Versuchen ist erstens zu bemerken, daß die wahren Abstände der Kugeln nicht durch die Bogen selbst, sondern eigentlich durch die zugehörigen Sehnen gemessen werden. Bei der geringen Größe der Bogen ließen sich jedoch dieselben ohne erheblichen Fehler mit den Sehnen verwechseln. Zweitens ist hieraus zu entnehmen, daß die Kraft, welche erforderlich ist, den Draht um einen bestimmten Winkel zu drehen, der Größe dieses Winkels proportional ist. Von der Voraussetzung hatte sich Coulomb schon durch vorläufige Versuche

erfahren, daß die Kraft, welche erforderlich war, um die Kugeln *n* und *m* einander um einen bestimmten Abstand zu nähern. Hierauf berührte er das Kugeln *m* mit einem ganz gleichen Kugeln, wodurch natürlich seine Electricität und also auch die Kraft desselben auf die Hälfte sank, und fand jetzt, daß auch der Kreis um einen halb so großen Winkel gedreht werden mußte, um wieder das Kugeln *m* auf denselben Abstand von *m* zurückzuführen. Er berührte dann das Kugeln *m* nochmals mit einem ihm gleichen Kugeln, wodurch seine Electricität, und wie Coulomb fand, auch der Drehungswinkel des Drahtes auf den vierten Theil herabging, so daß also die Drehungswinkel des Drahtes sich wie die abstoßenden Kräfte verhielten.

Die Coulombsche Drehwaage eignet sich auch ganz besonders zu Versuchen über die gleichförmige oder ungleichförmige Vertheilung der Electricität über die Oberfläche eines Leiters. Man berührt nämlich denselben an verschiedenen Stellen mit einem kleinen Scheibchen aus Blattgold, Probeseibchen, welches an einem isolirenden Schellackfaden befestigt ist, und mißt die Stärke der demselben in jedem einzelnen Falle mitgetheilten Electricität in ähnlicher Art, wie oben angegeben worden, vermittelst der Drehwaage.

Um das electricische Licht im luftverdünnten Raume zu zeigen, eignen sich ganz besonders auch die von Geißler in Bonn (1868) construirten gläsernen Röhren, bei denen sich eine spiralförmig gewundene Röhre, in welcher die Luft stark verdünnt ist, innerhalb einer weiteren mit Luft gefüllten Röhre befindet. Wird die äußere Röhre durch Reiben electricisch gemacht oder derselben ein electricischer Körper, z. B. ein mit Katzenfell geriebenes Blatt Kanmasse genähert, so wird die innere Röhre leuchtend; die Farbe des Lichtes ist je nach der Natur des in der inneren Röhre zurückgebliebenen Gases verschieden. Auch Röhren, in denen stark verdünnte Luft und etwas Quecksilber enthalten ist, geben, wenn sie geschüttelt werden, meist ein lebhaftes Licht.

§. 127, a. Der Electrophor und die electricische Vertheilung (Influenz.)

Zu neuen Gesetzen über die Electricität werden wir durch die Erscheinungen des Electrophors (Fig. 144) geführt. Dieser besteht aus dem Harzkuchen *aa*, der metallischen Form *bb* und dem ebenfalls metallischen Deckel *cc*, welcher mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist. — Wird

metallenes Stäbchen *o* und an diesem eine horizontal schwebende dünne Schellacknadel angebracht, welche an einem Ende ein kleines Kugeln *n* von Hollundermark trägt und über einem in Grade getheilten Kreise *e* spielt. Wird die kleine Scheibe oben bei *e* um eine gewisse Zahl von Graden gedreht, so durchläuft auch die Schellacknadel eben so viele Grade am untern Kreise. — Seitwärts ist in dem Deckel des größeren Cylinders bei *r* eine Oeffnung angebracht, durch welche ein ebenfalls an einem Schellackfaden *i* befestigtes Korfkügelchen *m* so eingesenkt werden kann, daß es genau der Null des eingetheilten Kreises gegenübersteht, (wobei es natürlich das Kugeln *n* seitwärts aus seiner Lage verdrängt). — Um die Luft im Innern möglichst trocken zu erhalten, pflegt man auf dem Boden des größeren Cylinders *A* ein Schälchen *p* mit Stücken von Chlorcalcium aufzustellen.

Coulomb stellte nun mit der Drehwage folgenden Versuch an: Er theilte dem Kugeln *m* Electricität mit, senkte es durch die Oeffnung *r* ein, wo es nach der Berührung das Kugeln *n* gleichnamig electricisirte und um einen Winkel von 36 Grad forttrieb. Hierauf drehte Coulomb den obern Kreis *e* gegen die Ordnung der Zahlen so lange, bis der Ablenkungswinkel nur noch 18° betrug. Hierzu war eine Drehung dieses Kreises von 126° erforderlich. Bei dem ersten Versuche standen die Kugeln *n* und *m* um 36°, beim zweiten 18° von einander ab; die beiden Abstände verhielten sich also wie 2:1. Bei dem ersten Versuche betrug die Torsion des Drahtes, welcher die Schellacknadel trägt, 36°, bei dem zweiten $18° + 126° = 144°$. Die Torsionen des Drahtes verhielten sich also wie $36°:144° = 1:4$, also gerade umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. — Zu diesen Versuchen ist erstens zu bemerken, daß die wahren Abstände der Kugeln nicht durch die Bogen selbst, sondern eigentlich durch die zugehörigen Sehnen gemessen werden. Bei der geringen Größe der Bogen ließen sich jedoch dieselben ohne erheblichen Fehler mit den Sehnen verwechseln. Zweitens ist hierbei vorausgesetzt, daß die Kraft, welche erforderlich ist, den Draht um einen bestimmten Winkel zu drehen, der Größe dieses Winkels proportional ist. Von der Richtigkeit dieser Voraussetzung hatte sich Coulomb schon durch vorläufige Versuche überzeugt. Er theilte nämlich dem Kugeln *m* Electricität mit und bestimmte die Drehung des Kreises *e*, welche erforderlich war, um die Kugeln *n* und *m* einander auf einen bestimmten Abstand zu nähern. Hierauf berührte er das Kugeln *m* mit einem ihm ganz gleichen Kugeln, wodurch natürlich seine Electricität und also auch die abstoßende Kraft desselben auf die Hälfte sank, und fand jetzt, daß auch der Kreis *e* nur um einen halb so großen Winkel gedreht werden mußte, um wieder das Kugeln *n* auf den selben Abstand von *m* zurückzuführen. Er berührte dann das Kugeln *m* nochmals mit einem ihm gleichen Kugeln, wodurch seine Electricität, und wie Coulomb fand, auch der Drehungswinkel des Drahtes auf den vierten Theil herabging, so daß also die Drehungswinkel des Drahtes sich wie die abstoßenden Kräfte verhielten.

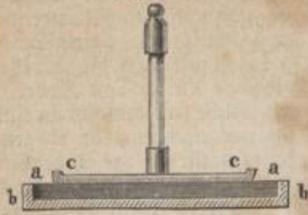
Die Coulombsche Drehwage eignet sich auch ganz besonders zu Versuchen über die gleichförmige oder ungleichförmige Vertheilung der Electricität über die Oberfläche eines Leiters. Man berührt nämlich denselben an verschiedenen Stellen mit einem kleinen Scheibchen aus Blattgold, Probefcheibchen, welches an einem isolirenden Schellackfaden befestigt ist, und mißt die Stärke der demselben in jedem einzelnen Falle mitgetheilten Electricität in ähnlicher Art, wie oben angegeben worden, vermittelst der Drehwage.

Um das electricische Licht im luftverdünnten Raume zu zeigen, eignen sich ganz besonders auch die von Geißler in Bonn (1868) construirten gläsernen Röhren, bei denen sich eine spiralförmig gewundene Röhre, in welcher die Luft stark verdünnt ist, innerhalb einer weiteren mit Luft gefüllten Röhre befindet. Wird die äußere Röhre durch Reiben electricisch gemacht oder derselben ein electricischer Körper, z. B. ein mit Katzenfell geriebenes Blatt Kammasse genähert, so wird die innere Röhre leuchtend; die Farbe des Lichtes ist je nach der Natur des in der inneren Röhre zurückgebliebenen Gases verschieden. Auch Röhren, in denen stark verdünnte Luft und etwas Quecksilber enthalten ist, geben, wenn sie geschüttelt werden, meist ein lebhaftes Licht.

§. 127, a. Der Electrophor und die electricische Vertheilung (Influenz.)

Zu neuen Gesetzen über die Electricität werden wir durch die Erscheinungen des Electrophors (Fig. 144) geführt. Dieser besteht aus dem Harzkuchen *aa*, der metallischen Form *bb* und dem ebenfalls metallischen Deckel *cc*, welcher mit einem isolirenden Handgriffe versehen ist. — Wird

(Fig. 144.)



der Kuchen mit einem thierischen Felle, z. B. mit einem Katzenfell oder Fuchsschwanze, gepeitscht, so wird derselbe negativ electrisch und zeigt nun weiter folgende Erscheinungen:

1) Setzt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn an dem isolirenden Handgriffe auf, ohne ihn selbst irgend wie berührt zu haben, so zeigt derselbe gar keine Electricität.

2) Setzt man den Deckel abermals auf den Kuchen und berührt ihn mit dem Finger, so erhält man einen Funken und zwar mit negativer Electricität, (wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man den Deckel nicht mit dem Finger, sondern mit einem isolirenden Leiter berührt).

3) Hebt man jetzt den Deckel auf, so erhält man einen zweiten Funken und zwar mit positiver Electricität.

Dieselben Erscheinungen, aber in schwächerem Maße, werden auch dann noch erhalten, wenn man den Deckel dem Kuchen nicht bis zur Berührung nähert, sondern überhaupt nur den Deckel in den electrischen Wirkungskreis der negativen Electricität des Kuchens bringt.

Die angeführten Versuche lassen sich beliebig oft wiederholen, ohne daß hierbei der Kuchen merklich an Electricität verliert. Erst nach längerer Zeit und häufig fortgesetzter Wiederholung treten die angeführten Erscheinungen in schwächerem Maße auf.

Fragen wir nach dem Grunde der in dem Deckel abwechselnd sich zeigenden entgegengesetzten Electricitäten, so leuchtet zunächst ein, daß dieselben nicht in dem Deckel durch Mittheilung von dem Kuchen entstanden sein können. Denn erstens verliert derselbe hierbei nicht merklich an Electricität, und dann besitzt der Kuchen nur negative Electricität, während in dem Deckel beide entgegengesetzte Electricitäten auftreten. Da der Deckel dieselben also nicht durch Mittheilung von dem Kuchen erhalten haben kann, so scheint es am natürlichsten, anzunehmen, daß dieselben schon ursprünglich in dem Deckel vorhanden waren, jedoch in einem solchen Maße, daß sie sich gegenseitig das Gleichgewicht hielten. Als aber der Deckel auf den Kuchen aufgesetzt wurde, wurde das vorher bestandene Gleichgewicht der entgegengesetzten Electricitäten des Deckels aufgehoben, die negative des Deckels von der negativen Electricität des Kuchens abgestoßen, die positive aber angezogen. Berührten wir jetzt den Deckel mit dem Finger, so konnte die abgestoßene negative Electricität des Deckels nach dem Erdboden entfliehen, während die positive Electricität des Deckels von der negativen des Kuchens festgehalten wurde. Entfernten wir hierauf den Deckel von dem Kuchen und näherten demselben den Finger, so wurde jetzt im zweiten Funken auch die positive Electricität des Deckels abgeleitet.

Wenden wir statt des negativen electrifirten Harzkuchens eine Glasscheibe an, welche wir durch Reiben mit einem wollenen Lappen positiv electrifiren, so erhalten wir dieselben Erscheinungen, nur mit dem Unterschiede, daß die entgegengesetzten Electricitäten in dem Deckel jetzt in umgekehrter Folge auftreten.

In Uebereinstimmung mit den angeführten Erscheinungen stellen wir nun folgende Gesetze auf, welche wir auch noch durch weiter unten anzuführende Versuche bestätigen werden:

1) Jeder Körper besitzt beide Electricitäten.

2) In einem unelectrischen Körper, d. h. in einem Körper, welcher keine electrischen Erscheinungen zeigt, halten sich beide entgegengesetzte Electricitäten das Gleichgewicht, so nämlich, daß, was die eine anzieht, die andere eben so stark abstößt. Man sagt daher: in einem unelectrischen Körper binden sich die entgegengesetzten Electricitäten gegenseitig.

3) In einem positiv electrischen Körper hat die positive, in einem negativ electrischen Körper die negative Electricität das Uebergewicht. Man nennt diesen Ueberschuß der einen Electricität über die andere freie Electricität zum Unterschiede von der gebundenen.

4) Durch die freie Electricität eines positiv oder negativ electrisirten Körpers (z. B. des Ruchens) wird auch in jedem anderen Körper (z. B. dem Deckel), welchen man in den Wirkungskreis desselben bringt, das electrische Gleichgewicht aufgehoben, die gleichnamige Electricität abgestoßen und die ungleichnamige angezogen. Man sagt von diesem letzteren Körper, er sei durch Vertheilung oder Influenz electrisirt.

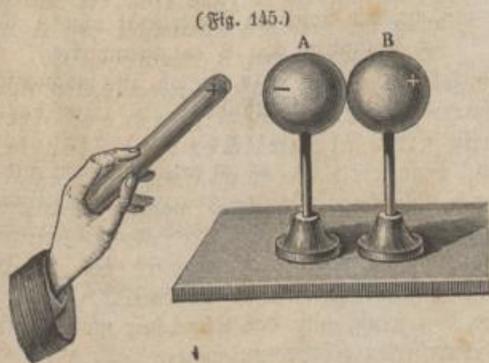
Der Electrophor ist 1775 von Volta erfunden worden.

Eine brauchbare Mischung zu dem Harzkuchen eines Electrophors ist folgende: 8 Theile Harz (Colophonium), 1 Theil Schellack und 1 Theil venetianischer Terpentin.

§. 127, b. Fortsetzung der Versuche über electrische Vertheilung (Influenz).

Die im Vorhergehenden über die electrische Influenz entwickelten Gesetze stimmen ganz mit den oben (§. 106) aufgeführten Gesetzen über die magnetische Influenz überein, nur mit dem Unterschied, daß die beiden Magnetismen immer an dem nämlichen Körper zugleich auftreten, sich niemals, wie dies bei der Electricität der Fall ist, gesondert erhalten lassen. — Im weiteren Zusammenhange hiermit führen wir noch folgende Versuche an:

1) Wenn man zwei isolirte Leiter, z. B. zwei metallene Kugeln A und B, einander bis zur Berührung nähert und dann einer dieser Kugeln einen positiv electrisirten Körper, z. B. eine geriebene Glasstange in der Art, wie



dieses Fig. 145 zeigt, gegenüberhält, so geht aus der Kugel A in die Kugel B abgestoßene positive, aus dieser in jene angezogene negative Electricität über, welche man gesondert erhält und auf die in §. 120 angegebene Art nachweisen kann, wenn man zuerst die Kugel B und dann auch die Kugel A entfernt.

2) Nähert man dann die Kugeln A und B einander wieder bis auf einen kleinen Abstand, so sieht man zwischen beiden einen electrischen Funken überspringen, und die Kugeln verhalten sich nun wieder vollkommen unelectrisch. — Aus diesem Versuche folgt unzweideutig, daß der electrische Funke durch die

Vereinigung der beiden entgegengesetzten Electricitäten entsteht, welche sich in demselben gegenseitig aufheben, neutralisiren.

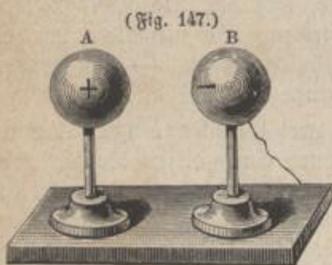
3) Dasselbe ist auch dann der Fall, wenn nur der eine der beiden genäherten Körper ursprünglich mit Electricität geladen war. Theilen wir nämlich



z. B. der gehörig isolirten Kugel A (Fig. 146) auf irgend eine Art positive Electricität mit und nähern dann derselben die ebenfalls isolirte Kugel B, so wird auch in dieser das electricische Gleichgewicht aufgehoben, die positive Electricität abgestoßen, die negative aber angezogen. Werden beide Kugeln A und B einander so weit genähert, daß die Anziehung der entgegengesetzten Electricitäten in A und B den Leitungswiderstand

der beide trennenden Luftschicht zu überwinden vermag, so vereinigt sich ein Theil der positiven Electricität von A mit der angezogenen negativen Electricität von B in einem die Luft durchbohrenden Funken. Indem hierbei A positive, B negative Electricität abgibt, welche sich gegenseitig neutralisiren, muß in B offenbar eben so viel positive Electricität frei werden, als A verloren hat, wonach es gerade das Ansehen hat, als ob B von A positive Electricität empfangen hätte, während nach der vorstehenden Entwicklung die freie positive Electricität in B vielmehr dadurch hervorgerufen wird, daß B negative Electricität abgibt, welche sich mit positiver Electricität von A in dem Funken vereinigt und neutralisirt.

4) Wenn die Kugel B nicht, wie in dem eben beschriebenen Versuche, isolirt ist, sondern mit der Erde



in leitender Verbindung steht (Fig. 147), so zeigt sich dieselbe auch nach dem Hervorbrechen des Funken unelectricisch, indem die abgestoßene positive Electricität in den Erdboden entflieht. Die Kugel A verliert ihre positive Electricität jetzt vollständiger, als in dem vorher beschriebenen Versuche, bei welchem die frei gewordene positive Electricität in B (Fig. 146) der Vereinigung der positiven Electricität von A und der negativen von B entgegenwirkte.

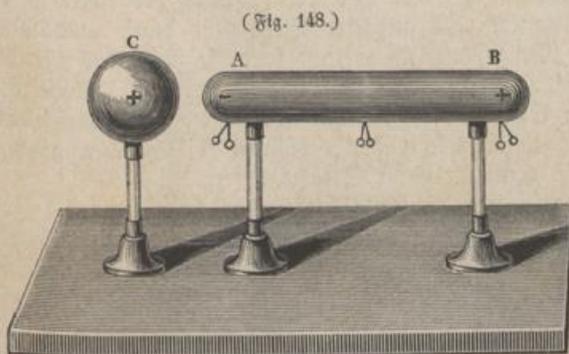
5) Aus dem Vorhergehenden folgt auch noch, daß, so wie alle magnetische Anziehung nur zwischen ungleichnamigen Polen stattfindet, es auch keine andere electricische Anziehung gibt, als zwischen entgegengesetzten Electricitäten. — Denn wenn wir z. B. ein an einem seidenen Faden aufgehängtes Korfkügelchen in den Wirkungskreis eines positiv electricisirten Körpers bringen, so wird das Kügelchen zunächst durch Vertheilung electricisirt. Da nun in der näheren Hälfte sich die angezogene negative und in der ferneren Hälfte sich die abgestoßene positive Electricität ansammelt, so überwiegt offenbar die Anziehung die Abstoßung, und das Kügelchen muß folglich das Bestreben zeigen, sich dem electricisirten Körper zu nähern.

6) Wenn wir bei den obigen Versuchen beispielsweise immer von einem positiv electricisirten Körper ausgegangen sind, so bedarf es wohl kaum der Bemerkung, daß ein Körper mit freier negativer Electricität auf die in seinen Wirkungskreis gebrachten Körper ganz dieselben Wirkungen ausübt, nur mit

dem von selbst einleuchtenden Unterschiede, daß jetzt die positive Electricität angezogen und die negative abgestoßen wird.

7) An schlechten Leitern treten die Erscheinungen der Influenz weniger deutlich hervor. Von besonderem Interesse (für die Theorie der Influenzmaschine) ist jedoch der folgende Versuch: Wenn man einer dünnen Platte aus einem schlecht leitenden Stoffe, z. B. Glas, auf der einen Seite einen mit irgend einer, z. B. mit positiver Electricität geladenen Körper, auf der anderen Seite an einem Leiter angebrachte Metallspitzen nähert, so ladet sich in Folge der Influenz des positiv electrifirten Körpers nicht bloß die diesem zugewendete Seite der schlecht leitenden Platte mit negativer Electricität, sondern das nämliche geschieht auch mit der den Metallspitzen zugewendeten Seite, indem aus diesen angezogene negative Electricität auf die Platte übergeht, während aus derselben abgestoßene positive nach den Spitzen entweicht*).

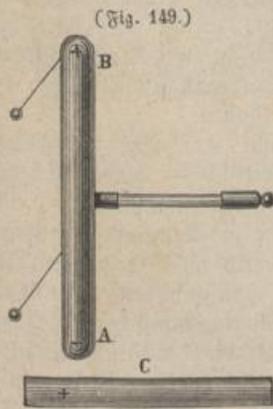
Man bezeichnet die angeführte Erscheinung auch wohl mit dem Worte: **Doppelinfluenz.**



(Fig. 148.)

Wenn man einem isolirten länglichen Leiter (Fig. 148) an verschiedenen Stellen Korkkugeln anhängt und dem einen Ende desselben irgend einen, z. B. positiv electrifirten Körper gegenüber hält, doch in hinreichender Entfernung, daß zwischen beiden kein unmittelbarer Uebergang der Electricität stattfindet, so sieht man die an den Enden angebrachten Korkkugeln aus einander gehen und zwar die am

genähernten Ende A mit negativer, die am entgegengesetzten Ende B mit positiver Electricität, während es gegen die Mitte hin eine Stelle gibt, an welcher die Korkkugeln ganz in Ruhe bleiben. — Die Kugeln fallen sämmtlich wieder zusammen, wenn der Leiter C entfernt wird. — Der so eben beschriebene Versuch, in welchem der Leiter AB (Fig. 148) ganz das Bild eines Magneten darstellt, gelingt, wenn er in der angeführten Weise ausgeführt wird, in so fern weniger leicht, als die bei A angebrachten Korkkugeln stark nach C hingezogen werden. Rieß hat diesen Versuch in der Art abgeändert, wie dies Fig. 149 darstellt. AB ist ein länglicher Leiter, welcher an einem isolirenden Griffe in senkrechter Lage gehalten wird, und an welchem, gegen die Enden hin, zwei Korkkugeln angebracht sind, und C ist ein demselben von unten genäherter electrifirter Körper, als welchen man besser einen schlechten als einen guten Leiter, z. B. eine geriebene Glas- oder Siegelladstange anwendet, weil von dieser weniger leicht ein wirklicher Uebergang der Electricität stattfindet.



(Fig. 149.)

Aus den Gesetzen der electricischen Vertheilung erklärt sich auch noch leicht die Erscheinung, daß ein stark electrifirter Körper einen gleichnamigen, aber schwach electrifirten Körper anziehen vermag, indem der erstere die gleichnamige Electricität des letztern überwältigt und zurückdrängt und die ungleichnamige in der näheren

electrifirten Körper anzuziehen vermag, indem der erstere die gleichnamige Electricität des letztern überwältigt und zurückdrängt und die ungleichnamige in der näheren

*) Pogg. Ann. B. 131, S. 221 u. 222.

Hälfte heranzieht, weshalb bei der Prüfung der Electricität eines Körpers eben so, wie beim Magnetismus, nur die Abstoßung eine sichere Entscheidung gewährt, während die Anziehung zu Täuschungen führen kann.

Das Prinzip der electricischen Influenz ist zuerst in den Jahren 1753—59 (?) durch die Untersuchungen des Engländers Canton, des Schweden Wilke und des Deutschen Lepinus ermittelt worden. Zwar hatten die Physiker schon früher mehrfach wahrgenommen, daß ein Leiter der Electricität, wenn er in die Nähe eines electrifirten Körpers gebracht wurde, electricische Erscheinungen zeigte, ohne daß zwischen beiden Körpern ein Uebergang von Electricität stattgefunden. Die Physiker und selbst noch Franklin erklärten jedoch diese Erscheinungen durch die Annahme, daß die electrifirten Körper von electricischer Materie, gleichsam einer electricischen Atmosphäre, umgeben seien, welche auf einen in dieselbe eingetauchten Körper übergehe. — Besonders Wilke und Lepinus deckten das Irrthümliche dieser Ansicht auf, indem sie zeigten, daß ein in die Nähe eines electrifirten Körpers gebrachter Leiter am genäherten Ende nicht die gleichnamige, sondern die entgegengesetzte Electricität erhält. /

***§. 128. Die Electrophor- oder electricische Influenzmaschine.**

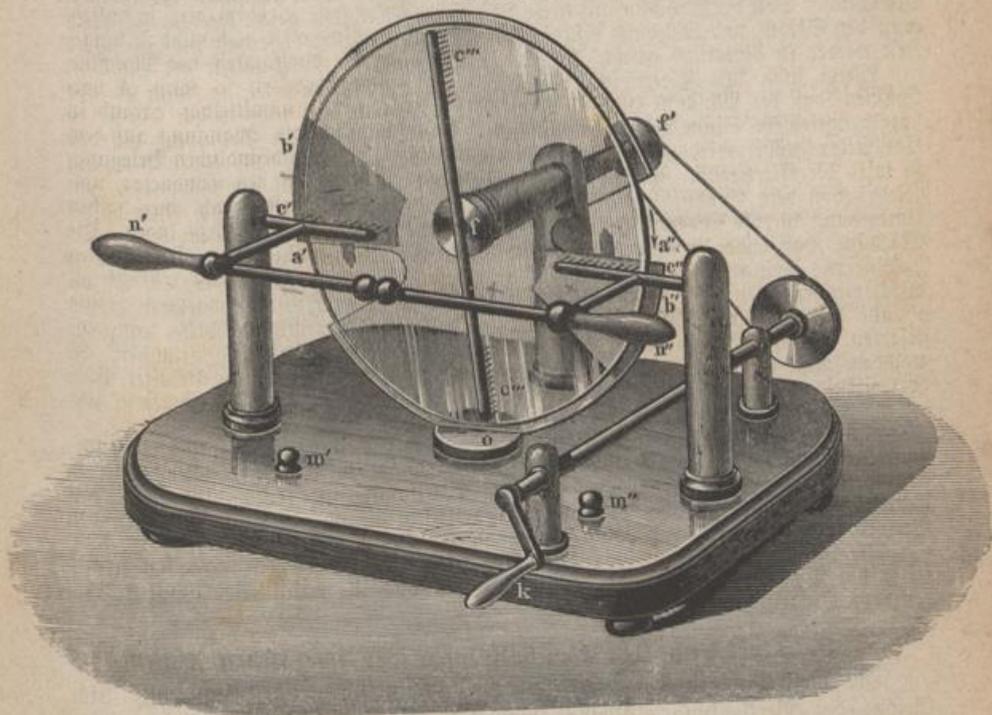
So wie bei dem Electrophor vermittelt der Influenz des electricisch geladenen Kuchens sowohl positive als negative Electricität durch allmähliche Summirung in beliebiger Menge erhalten werden kann, so findet das nämliche auch bei der Influenzmaschine statt, jedoch mit dem wesentlichen Unterschiede, daß beim Electrophor die Electricitäten sich nur unterbrechen, die eine abwechselnd mit der andern, ansammeln lassen, während die Influenzmaschine die beiden Electricitäten in continuirlichem Strome liefert.

Dieselbe besteht aus zwei sehr dünnen Glascheiben (von etwa 15 Zoll Durchmesser), welche einander parallel in sehr geringem Abstände sich gegenüberstehen. Die eine Scheibe, welche die andere etwas an Größe übertrifft, in Fig. 150 die hintere, ist fest und ruht unten auf einer aus Kammasse bestehenden Platte o; die vordere Scheibe ist vermittelt der Kurbel k und eines Schnurlaufs in dem durch den Pfeil ange deuteten Sinn um die Aze t t' drehbar. In der festen Scheibe sind einander diametral gegenüber bei a' und a'' zwei Ausschnitte und neben derselben auf der hintern Seite der Scheibe die beiden Papierbelegungen b' und b'' angebracht. Diesen beiden Belegungen gegenüber befinden sich sehr nahe vor der vordern drehbaren Scheibe die metallenen Spitzen zweier Conductoren, welche von zwei aus Kammasse bestehenden Säulen getragen werden und sich in zwei Arme fortsetzen, deren Kugelenden vermittelt der hölzernen Griffe n' und n'' einander beliebig genähert oder von einander entfernt werden können.

Um die Maschine in Thätigkeit zu setzen, macht man eine der beiden Belegungen der festen Scheibe durch Mittheilung electricisch — gewöhnlich bedient man sich hierzu einer mit Katzenfell geriebenen Kautschukplatte — und setzt dann mittelst der Kurbel die bewegliche Scheibe in Rotation. Entfernt man hierauf die Kugeln der Conductoren bis auf einen nicht zu großen Abstand von einander, so sieht man lebhaftes Funken zwischen denselben überspringen. Der Vorgang hierbei ist folgender: — Angenommen die Belegung b' sei negativ electricisch gemacht worden; so ladet sich die bewegliche Scheibe in Folge von Doppelinfluenz (§. 127, b Nr. 7) sowohl auf der vordern als auch auf der hintern Seite mit positiver Electricität, während zugleich die abgestoßene negative Electricität der vordern Seite in die Spitzen des Conductors c' übergeht. Die positive Electricität der in Rotation gesetzten vordern Scheibe wirkt, wenn sie sich der Belegung b' nicht mehr gegenüber befindet, vertheilend auf die hintere feste Scheibe und wird durch die negative

Electricität derselben gebunden. Dies ist aber nicht mehr der Fall, wenn sie bei weiterer Drehung sich dem Ausschnitte a'' gegenüber befindet; die nun frei gewordene positive Electricität der vordern Fläche geht in die Spitzen des Conductors c'' und die der hintern Fläche in die vorragende Spitze der Papierbelegung b'' über, wodurch diese Belegung positiv electricisch, also entgegengesetzt wie b' geladen wird. Diese positive Electricität der Belegung b'' wirkt nun ganz analog der Belegung b' auf die rotirende Scheibe; sie ladet dieselbe in Folge von Doppelinfluenz auf beiden Seiten mit negativer Electricität, während die abgestoßene positive Electricität in die Spitze des Conductors c''

(Fig. 150.)



übergeht. Auf diese Art werden folglich die beiden Conductoren c' und c'' mit entgegengesetzten Electricitäten geladen und zwar wegen der continuirlichen Rotation ununterbrochen. Es muß daher zwischen den Kugelenden derselben, welchen man den Namen Electroden beizulegen pflegt, ein fortwährender Austausch der entgegengesetzten Electricitäten stattfinden, und eben so muß, wenn man zwischen den Kugeln einen electricischen Leiter einschaltet, durch diesen ein ununterbrochener Strom der sich ausgleichenden Electricitäten hindurch gehen.

Der Strom verliert seine Continuität, wenn die beiden Conductoren c' und c'' nicht leitend verbunden sind. Werden die Kugelenden bis auf einen nicht zu großen Abstand von einander entfernt, so schlagen, wie schon oben erwähnt, zwischen denselben rasch auf einander folgende Funken über. Die Stärke der Entladungen wächst, die Zahl derselben vermindert sich, wenn man die Schlagweite oder die Oberfläche der Conductoren vergrößert. Dieses geschieht entweder einfach auf die Art, daß man eine

an beiden Enden mit Stanniol belegte Glasröhre auf die Arme der beiden Conductoren legt, oder wenn man stärkere Entladungen hervorbringen will, durch Hinzufügung zweier electricen Flaschen, welche auf die Metallknöpfe m' und m'' , die durch einen unter dem Gestelle herlaufenden Metallstreifen verbunden sind, gestellt werden, und deren innere Belegungen mit den Conductoren c' und c'' in leitender Verbindung stehen. Die Flaschen laden sich entgegengesetzt, und wenn die Spannung groß genug ist, findet zwischen den Kugeln der Conductoren c' und c'' die Ausgleichung der entgegengesetzten Electricitäten der inneren Belegungen statt, während die entgegengesetzten Electricitäten der äußeren Belegungen sich durch die leitende Verbindung der Metallknöpfe m' und m'' ausgleichen.

Die Maschine kann stundenlang im Gange erhalten werden, ohne daß sich ihre Wirksamkeit merklich verringert; übersteigt jedoch die Schlagweite eine gewisse Grenze, so hört der Funkenstrom auf und auch die Electricitäten der Belegungen verschwinden allmählich. Soll die Maschine auf kurze Zeit außer Thätigkeit gesetzt werden, so schließt man den Strom und läßt dann erst die Scheibe ruhen. Wird diese nach nicht zu langer Zeit wieder in Rotation gesetzt, so erneuert sich auch die Wirksamkeit der Maschine.

Wenn man mit Electricität von großer Spannung arbeitet, so kann es vorkommen, daß die Maschine plötzlich ihren Dienst versagt und unmittelbar darauf in entgegengesetztem Sinne zu wirken anfängt. Wenn nämlich die Spannung auf dem Conductor größer wird, als auf der ihm unmittelbar gegenüber befindlichen Belegung, so wird die Electricität, anstatt von der rotirenden Scheibe auf den Conductor, umgekehrt von dem Conductor auf die Scheibe strömen, von dieser nach einer halben Umdrehung an die andere Belegung übergehen und dieselbe entgegengesetzt laden. Die Maschine muß daher in entgegengesetztem Sinne zu arbeiten beginnen. Um dies zu verhindern, bringt man an der Maschine noch einen dritten Conductor c''' an, durch welchen, wenn ein Ausströmen der Electricitäten von den Conductoren c' und c'' auf die rotirende Scheibe sich ereignet, eine directe Vereinigung dieser entgegengesetzten Electricitäten stattfindet, ehe dieselben zur folgenden Belegung gelangen. Je nachdem man mit Electricität von größerer oder geringerer Spannung arbeitet, ist es vortheilhaft, den um seine Mitte drehbaren Conductor c''' den Belegungen b' und b'' mehr zu nähern oder von denselben zu entfernen.

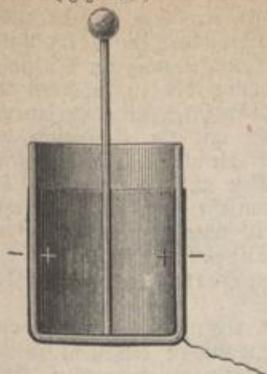
Die Influenzmaschine übertrifft die gewöhnliche Scheiben- oder Cylinderelectricitätsmaschine darin, daß sie die erregten Electricitäten in weit größerer Menge und in einem continuirlichen Strome liefert; ihre Wirksamkeit ist jedoch mehr von den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft abhängig. Ueber die mit derselben anzustellenden Versuche verweisen wir auf Poggé, Annalen, B. 126, S. 167 u. B. 127, S. 323.

Die Influenzmaschine ist von Holz in Berlin 1865 erfunden worden; fast gleichzeitig hat Töppler in Riga eine ähnliche, jedoch auch in wesentlichen Punkten verschiedene Electricitätsmaschine angegeben.

§. 129. Erklärung der Erscheinungen der electricen Flasche.

Die Erscheinungen der electricen Flasche beruhen wesentlich auf dem Gesetze der Vertheilung. Bringt man nämlich die äußere Belegung einer Flasche mit dem Erdboden, die innere mit dem Conductor einer thätigen Electricitätsmaschine in Verbindung, so wird der innern Belegung von dem Conductor die gleichnamige, z. B. positive Electricität mitgetheilt. Diese positive Electricität der innern Belegung wirkt nun vertheilend auf die beiden entgegengesetzten Electricitäten der äußern Belegung, stößt die positive ab, welche in den Erdboden entweicht, und zieht negative Electricität an, welche ihrerseits wieder anziehend und bindend auf die positive Electricität der innern Belegung wirkt, so daß jetzt auf's neue aus dem Conductor positive Electricität in die innere Belegung übergeht, welche wiederum in der äußern Belegung negative Electricität anzieht u. s. f. (Fig. 151). Durch diese gegenseitige Anziehung und Bindung der entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen geschieht es, daß sich die positive in der innern und die negative Electricität in der äußern Belegung in einer weit größern Menge ansammelt, als ohnedies der Fall sein würde.

(Fig. 151.)



Da sich die beiden Electricitäten offenbar um so stärker anziehen und um so vollständiger binden, je geringer der Abstand derselben von einander ist, weil die electricischen Anziehungen mit der Entfernung abnehmen, so begreift man leicht, daß eine Flasche unter übrigens gleichen Umständen eine um so stärkere Ladung annehmen muß, je dünner das beide Belegungen trennende Glas ist. Wenn dieses jedoch allzu dünn ist, so erwächst hieraus die Gefahr, daß die sich anziehenden entgegengesetzten Electricitäten sich vereinigen, indem sie das Glas durchbohren und so die Flasche unbrauchbar machen.

Weiter sieht man nun auch ein, warum eine Flasche nur eine ganz schwache Ladung annehmen kann, wenn die äußere Belegung isolirt ist. Nähert man der äußern Belegung einer Flasche, welche man auf eine isolirende Unterlage gestellt hat, einen Leiter, während die innere Belegung aus dem Conductor positive Electricität erhält, so springt die abgestoßene positive Electricität der äußern Belegung in Funken nach dem genäherten Leiter über, und die Flasche wird geladen. Wenn man die äußere und innere Belegung einer geladenen Flasche durch einen guten Leiter verbindet, so vereinigen sich die in den beiden Belegungen angehäuften entgegengesetzten Electricitäten in einem Funken und die Flasche wird entladen.

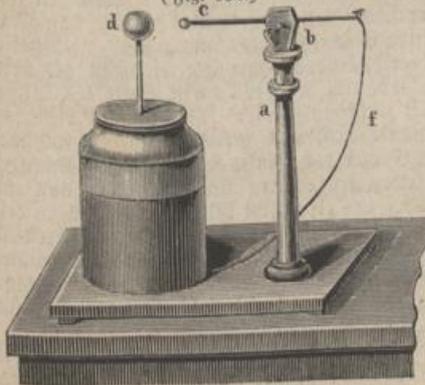
Verbindet man an einer Flasche beide Belegungen mit dem Erdboden, so entladet sich die Flasche ohne Schlag, indem die entgegengesetzten Electricitäten in den Erdboden entfliehen.

Stellt man eine geladene Flasche auf eine isolirende Unterlage, und nähert man dem Knopfe der innern Belegung den Finger, so erhält man einen Funken, indem die positive Electricität der innern nicht vollständig durch die negative der äußern gebunden ist und deshalb den frei gebliebenen Theil an den berührenden Finger abgibt. Die hierdurch verminderte positive Electricität der innern Belegung vermag nun ihrerseits die negative der äußeren nicht mehr vollständig zu binden, und man erhält daher bei Berührung der äußern Belegung mit dem Finger einen zweiten Funken mit negativer Electricität, wodurch wieder ein Theil positiver Electricität in der innern Belegung frei wird, nach dessen Entfernung durch Berührung mit dem Finger wieder in der äußern Belegung ein Theil negativer Electricität frei wird u. s. w. Auf diese Art

kann man der innern und äußern Belegung einer kräftig geladenen Flasche abwechselnd hundert und mehr allmählich schwächer werdende positive und negative Funken entziehen, ein Versuch, welcher ebenfalls sehr deutlich die große Menge der in beiden Belegungen angehäuften entgegengesetzten Electricitäten zeigt. /

Um die Stärke der Ladung einer Flasche oder Batterie zu bestimmen, dient die von dem Engländer Lane ums Jahr 1770 erfundene Maßflasche (Fig. 152). Dieselbe besteht im wesentlichen aus einer gewöhnlichen electricischen Flasche, mit welcher auf dem nämlichen Fußgestell die hölzerne Säule a fest verbunden ist. Diese trägt oben die vermittelst einer Schraube

(Fig. 152.)



mehr oder weniger anzuziehende Klemme b, durch welche der in einen Knopf endigende Draht c hindurch geht. Bei dem Gebrauche der Flasche wird der Knopf des Drahtes c, welcher durch einen Draht f mit der äußern Belegung in Verbindung steht, der Kugel d bis auf einen kleinen Abstand (etwa 1^{''}) genähert, die äußere Belegung der Maßflasche mit dem Erdboden, die innere aber mit der äußern Belegung der zu ladenden und auf eine isolirende Unterlage gestellten Batterie oder Flasche in leitende Verbindung gebracht. Wird nun die innere Belegung dieser Batterie mit dem Conductor verbunden und die Maschine in Bewegung gesetzt, so entfliehet die abgestoßene Electricität der äußern Belegung in die innere Belegung der Maßflasche und ladet dieselbe. Der geringe Abstand aber zwischen den Knöpfen c und d veranlaßt, daß bei fortgesetzter Umdrehung der Maschine sich die Maßflasche von selbst in wiederholten Funken entladet. Die Zahl dieser Funken ist bei ungeändertem Abstände der Knöpfe c und d der Menge der in der geladenen Batterie angehäuften Electricität proportional.

Durch die Maßflasche wird man in den Stand gesetzt, der nämlichen Flasche oder Batterie für wiederholte Versuche jedesmal eine gleiche Ladung zu erteilen, so wie auch die bei ungleichen Ladungen angewandten Electricitätsmengen abzumessen. Eben so kann die Maßflasche dazu dienen, die Leistungen zweier Electricitätsmaschinen oder der nämlichen Maschine zu verschiedenen Zeiten mit einander zu vergleichen. Man verbindet zu diesem Zwecke die innere Belegung der Maßflasche mit dem Conductor, die äußere mit dem Reibzeuge und zählt die Entladungsfunken, welche sich während einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen der Maschine zeigen.

Kieß hat mit Hülfe der Maßflasche gefunden, daß die Schlagweite einer Flasche oder Batterie der Spannung (Dichte) der in der innern Belegung angehäuften Electricität proportional, dagegen von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, durch welchen die Entladung erfolgt, ob dieser aus einem mehr oder weniger guten Leiter besteht, unabhängig ist, vorausgesetzt jedoch, daß die Stelle der innern Belegung, an welcher die Entladung erfolgt, dieselbe bleibt, und daß auch die Gestalt derjenigen Stellen des Schließungsbogens, zwischen denen die Entladung stattfindet, sich nicht ändert.

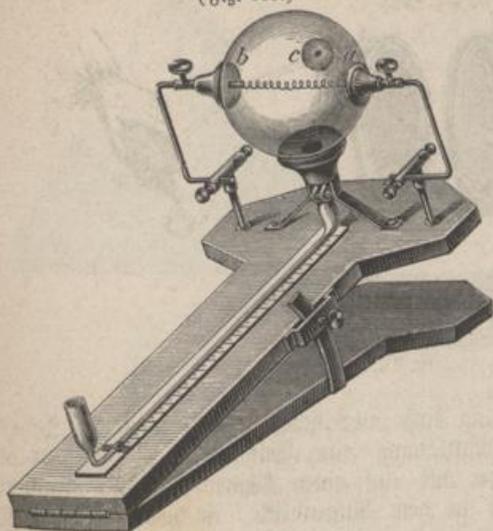
Haben diese z. B. die Form von Kugeln, und nähert man diese beiden Kugeln einander allmählich, bis eine Entladung erfolgt, so tritt bei fortgesetzter Annäherung eine zweite, aber unvergleichlich schwächere Entladung und auch wohl bei noch stärkerer Annäherung eine dritte Entladung ein. — Es geht hieraus zugleich hervor, daß die vollständige Entladung einer Batterie oder Flasche nicht auf einmal erfolgt, sondern aus mehreren discontinuirlichen Entladungen zusammengesetzt ist.

Bewirkt man die Entladung einer Flasche oder Batterie auf die Art, daß man zwischen beiden Belegungen eine vollständige leitende Verbindung herstellt, indem man z. B. die Enden des Ausladers den beiden Belegungen bis zur Berührung nähert, und hebt diese Verbindung nach erfolgter Entladung sofort wieder auf, so erhält man, wenn man nach einiger Zeit die Verbindung wieder herstellt, noch eine zweite, aber bei weitem schwächere und dann weiter, wenn man eben so aufs neue verfährt, auch wohl noch eine dritte und vierte, aber immer schwächer werdende Entladung. Man nennt diese nach vorangegangener Entladung noch zurückbleibenden Ladungen das electricische Residuum. Dasselbe dürfte seine Erklärung darin finden, daß z. B. bei einer positiv geladenen Flasche die positive Electricität der innern und die negative Electricität der äußern Belegung zugleich vertheilend auf die Electricitäten des beide Belegungen trennenden Glases einwirken, wodurch an der innern Seite des Glases negative, an der äußern positive Electricität angehäuft wird. Indem nun diese entgegengesetzten Electricitäten der beiden Seiten des Glases anziehend auf die ungleichnamigen Electricitäten der mit den beiden Seiten des Glases in Berührung stehenden Belegungen einwirken, wird ein Theil derselben festgehalten und der Entladung entzogen. Indem aber nach erfolgter Entladung das electricische Gleichgewicht sich in dem Glase und zwar, weil dasselbe ein schlechter Leiter ist, allmählich wieder herstellt, werden auch die in der angegebenen Art gebundenen und festgehaltenen Electricitäten der beiden Belegungen allmählich frei und liefern eine zweite, aber schwächere Entladung, auf welche dann bei Wiederholung des nämlichen Verfahrens und aus analogen Gründen noch eine dritte Entladung u. s. w. folgen kann.

Wie schon oben in §. 124 angeführt worden ist, wird ein dünner in den Schließungsbogen einer Batterie eingeschalteter Draht bei der Entladung erwärmt.

Dies hat gezeigt, daß diese Erwärmung unter übrigens gleichen Umständen der Menge und der mittlern Dichtigkeit der Electricität in der Batterie proportional ist. Sie hängt aber außerdem von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, ob dieser aus mehr oder weniger guten Leitern besteht, ab. — Dief hat dieses mit Hülfe des von ihm erfundenen electrischen Thermometers nachgewiesen. Dieses besteht aus einer hohlen, an drei Stellen a, b, c (Fig. 153) durch-

(Fig. 153.)



bohrten Glasugel. Die sich diametral gegenüberstehenden Bohrungen a und b sind mit messingernen Fassungen versehen, welche, wie aus der Figur leicht ersichtlich, außerhalb der Kugel bequem mit den Belegungen einer electrischen Batterie in metallischleitende Verbindung gesetzt werden können, während innerhalb der Kugel zwischen diesen Fassungen ein gewundener Platindraht ausgespannt ist. Die Bohrung c hat ebenfalls eine messingene Fassung und ist durch einen in diese passenden Stöpsel verschließbar, so daß vor jedem Versuche die Luft in der Kugel mit der äußern ins Gleichgewicht gesetzt werden kann. An die Kugel ist überdies noch eine gläserne, in ein weiteres Gefäß auslaufende Röhre angeschmolzen, welche an ein Brett befestigt ist, das sich mehr oder weniger schief gegen

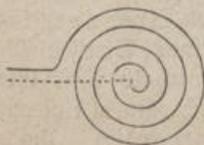
den Horizont stellen läßt. Wird nun die Bohrung bei c geöffnet und in das Gefäß irgend eine Flüssigkeit gegossen, so steigt diese auch in der Röhre bis zu einer gleichen Höhe, wie im Gefäße und behält diesen Stand auch dann noch, wenn die Deffnung c durch den Stöpsel verschlossen wird. Wird hierauf durch den Draht der Entladungsschlag einer Batterie geleitet, so theilt sich die hierdurch hervorgebrachte Erwärmung desselben auch der in der Kugel enthaltenen Luft mit und dehnt dieselbe aus, wodurch die Flüssigkeit in der Röhre um eine gewisse Strecke fortgetrieben wird, welche durch eine daneben angebrachte Scale gemessen werden kann.

***§. 130. Der electrische Nebenstrom.**

So wie nach §. 127 jeder electrifirte Körper vertheilend auf seine Umgebung wirkt, die ungleichnamige Electricität in derselben anzieht, die gleichnamige abstößt, so ruft auch der Entladungsstrom einer electrischen Flasche überhaupt jeder kräftige electrische Strom in einem benachbarten Leiter einen electrischen Strom hervor. Man nennt diesen Strom den inducirten oder Nebenstrom, denjenigen aber, durch welchen derselbe erzeugt wird, den inducirenden oder den Hauptstrom.

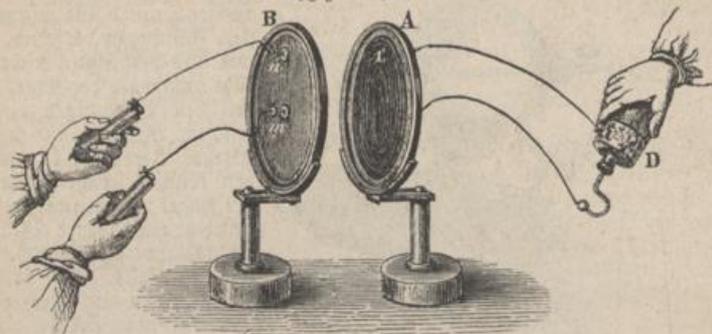
Um die Erscheinung des Nebenstromes zu beobachten, wendet man am bequemsten zwei ganz gleiche in der Art, wie Fig. 154 zeigt, spiralförmig gewundene, auf Holzscheiben befestigte Drähte an, welche man so übereinander legt, daß sie durch eine dünne Glasplatte von einander getrennt sind und ihre Windungen möglichst genau über einander zu liegen kommen. Oder man versteht die Holzscheiben, auf denen die Drahtspiralen befestigt sind, mit Füßen, so daß dieselben in aufrechter Stellung einander be-

(Fig. 154.)



lieblich genähert und von einander entfernt werden können. Die Enden der einen Drahtspirale B (Fig. 155), welche wir die Nebenspirale nennen wollen, treten bei m und n an die entgegengesetzte Seite der Holzscheibe und sind mit zwei metallenen Griffen verbunden. Wenn man nun diese mit den Händen anfaßt und durch die andere Spirale A, welche die Hauptspirale

(Fig. 155.)



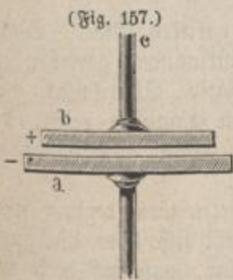
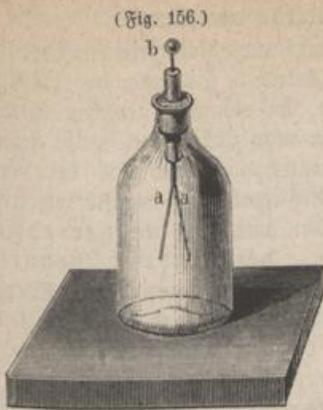
heißt man, den Entladungsschlag einer electrischen Flasche D leitet, so empfindet man im Moment der Entladung eine Erschütterung. Werden die Enden der Nebenspirale einander bis auf einen kleinen Abstand genähert, so sieht man zwischen denselben in dem Augenblicke, in welchem durch die Hauptspirale eine Flasche entladen wird, einen kleinen Funken überspringen.

Wenn man das eine Ende der Hauptspirale mit dem Reibzeuge einer Electrirmaschine verbindet und das andere in einen Knopf auslaufende Ende in die Schlagweite des Conductors bringt, so erscheint jedesmal, wenn zwischen dem Knopfe und dem Conductor ein Funken überspringt, auch zwischen den einander bis auf einen geringen Abstand genäherten Enden der Nebenspirale ein kleiner Funken.

Der Nebenstrom zeigt überhaupt, wenn auch im schwächeren Maße, alle Wirkungen des Hauptstromes; seine Stärke wächst in gleichem Verhältnisse mit der Stärke des Hauptstromes und mit der Länge des Weges, welchen beide parallel neben einander durchlaufen; sie nimmt mit der Entfernung vom Hauptstrom ab. Der Nebenstrom wird durch schlechte Leiter, welche sich zwischen demselben und dem Hauptstrom befinden, nicht geschwächt, wohl aber durch gute Leiter, z. B. eine Metallplatte oder einen geschlossenen Draht, in denen der Hauptstrom inducirte Ströme hervorrufft.

§. 131. Das Goldblattelecrometer und der Condensator.

Um die Electricität eines Körpers zu prüfen oder nachzuweisen, hat man besondere Vorrichtungen, welche man gewöhnlich Electrometer nennt, aber richtiger Electroscopie nennen sollte. Gines der empfindlichsten und einfachsten ist das Goldblattelecrometer (Fig. 156), welches von Vrennet (1787) angegeben worden ist. Dasselbe besteht aus zwei feinen Streifen Goldblatt aa, welche — zur Abhaltung des Luftzuges innerhalb eines Glases — an ein metallnes Stäbchen angehängt sind, welches sich oben in eine außerhalb des Glases befindliche Kugel b (oder in eine Platte) endigt. Um nun



die Electricität eines Körpers zu prüfen, theilt man dem Knopfe b irgend eine bestimmte aber schwache Electricität mit, wodurch die Blättchen aa etwas auseinander gehen*), und nähert dann erst den zu prüfenden Körper. Wird nun die Divergenz der Goldblättchen stärker oder schwächer, so hat der genäherte Körper im ersteren Falle dieselbe, im letzteren die entgegengesetzte Electricität von derjenigen, welche man den Blättchen vorher mitgetheilt hatte.

Zur Prüfung sehr schwacher Electricitäten dient der Condensator (Fig. 157). Dieser besteht aus zwei sorgfältig abgeschliffenen, genau aufeinander passenden Metallplatten, welche an einer Seite mit einer dünnen, die metallische Berührung hindernden Firnißschicht überzogen sind. Die untere Platte a heißt Condensatorplatte und steht mit der Erde in leitender Verbindung, die obere Platte b ist mit einem isolirenden Handgriffe c versehen und wird Collectorplatte genannt.

Berührt man die auf die Condensatorplatte aufgesetzte und von derselben durch die isolirende Firnißschicht getrennte Collectorplatte b mit einem schwach, z. B. positiv electrifirten Körper, so zieht die derselben mitgetheilte positive Electricität in der Condensatorplatte a negative Electricität an, welche umgekehrt auch auf die positive Electricität der Collectorplatte b anziehend und bindend wirkt, weshalb aus dem berührenden Körper weit mehr positive Electricität in die Collectorplatte übergeht, als ohne dies der Fall sein würde, so daß also hier ganz dieselbe Wechselwirkung eintritt, welche wir früher bei der electrifischen Flasche in Hinsicht der entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen kennen gelernt haben.

Hebt man nun die Collectorplatte b auf, so wird die derselben mitgetheilte Electricität frei und läßt sich an einem empfindlichen Goldblattelectrometer auf die vorher angegebene Art prüfen.

Oder man kann auch die eine Condensatorplatte a unmittelbar auf das Goldblattelectrometer statt des Knopfes aufschrauben, auf dieselbe die andere Platte b aufsetzen und mit ersterer den zu prüfenden Körper in Berührung bringen, während man die obere Platte b ableitend mit dem Finger berührt. Hebt man hierauf diese Platte ab, so wird die bis dahin in der unteren durch die entgegengesetzte der oberen Platte gebundene Electricität frei und bewirkt ein Auseinandergehen der beiden Goldblättchen.

Der Condensator ist 1782 von Volta erfunden worden.

Wenn man durch das Goldblattelectroscop sehr schwache Electricitäten, wie z. B. bei Anstellung des Volta'schen Fundamentalversuches (s. unten S. 140 u. 141) nachweisen will, so hat man für möglichst vollkommene Isolirung, indem man das Instrument erwärmt und innerhalb ein Schälchen mit etwas Chlorcalcium anbringt, Sorge zu tragen.

*) Man macht dieses am zweckmäßigsten so, daß man dem Knopfe, welchen man mit dem Finger berührt hat, irgend einen electrifirten Körper nähert, wobei natürlich die gleichnamige Electricität durch den Finger abgeleitet wird, dann zuerst diesen und später den electrifirten Körper entfernt, worauf die Blättchen mit der entgegengesetzten Electricität aus einander gehen.

§. 132. Mittel der Electricitätserregung.

Das seit den ältesten Zeiten bekannte und am häufigsten angewendete Mittel der Electricitätserregung ist die Reibung. So wie zwei Körper, welche in irgend einer Hinsicht verschieden sind, an einander gerieben werden, so wird allemal Electricität entbunden. Wenn man z. B. zwei weiße seidene Bänder so an einander reibt, daß sie sich kreuzen, so wird das der Länge nach geriebene Band positiv, das in der Quere geriebene negativ electrisch.

Ueberhaupt gilt das Gesetz, daß von zwei aneinander geriebenen Körpern allemal der eine positive, der andere negative Electricität erhält. Welcher aber von den beiden geriebenen Körpern positiv und welcher negativ electrisch wird, darüber läßt sich in Hinsicht der schlechten Leiter kaum eine Regel aufstellen, da eine geringe Verschiedenheit in der Oberfläche schon einen bedeutenden Unterschied hervorrufen kann; so zeigen z. B. polirtes Glas und mattgeschliffenes Glas ein ganz verschiedenes Verhalten.

Werden von den folgenden Körpern: Kagenfell, polirtes Glas, Wolle, Seide, Harz, mattgeschliffenes Glas, irgend zwei aneinander gerieben, so erhält der vorhergehende positive, der nachfolgende negative Electricität. So wird z. B., wenn man polirtes Glas und Wolle mit einander reibt, das Glas positiv und die Wolle negativ, und wenn man Wolle und Harz zusammenreibt, die Wolle positiv und das Harz negativ.

Bei guten Leitern, z. B. Metallen, reicht zur Electricitätserregung schon die bloße Berührung hin, indem die erregte Electricität sich über die ganze Oberfläche der guten Leiter verbreitet; allein es ist klar, daß auf diese Art nur schwache Electricitäten hervorgerufen werden können, indem die sich berührenden Metalle der Wiedervereinigung der sich anziehenden entgegengesetzten Electricitäten nur einen geringen Widerstand entgegenstellen. Bei zwei schlechten Leitern würde die bloße Berührung nur an den wenigen sich unmittelbar berührenden Punkten Electricität hervorrufen; die Reibung ist das zweckmäßigste Mittel, die Wirkung zu verstärken, indem durch dieselbe möglichst viele Punkte beider Körper mit einander in Berührung gebracht werden. Die kräftigste Electricitätsentwicklung findet statt, wenn, wie bei der Electrirmaschine, ein schlechter Leiter, der Reiber, und ein guter Leiter, das mit Amalgam bestrichene Rissen, an einander gerieben werden.

Für schlechte Leiter ist auch der Druck ein wirksames Mittel der Electricitätserregung, indem derselbe ebenfalls, wenn auch nicht in dem Maße wie die Reibung, die Zahl der Berührungspunkte vermehrt. Werden zwei irgend verschiedene Körper an einander gedrückt, so zeigt nach der Trennung der eine freie positive, der andere negative Electricität.

Auch durch Spaltung und Stoß wird Electricität hervorgerufen. Hierher dürfte der Lichtschein gehören, welchen man wahrnimmt, wenn man im Dunkeln Zucker, Kreide u. dgl. zerschlägt oder zerstoßt.

Durch welche Mittel aber auch Electricität hervorgerufen werden mag, in allen Fällen treten beide Electricitäten zugleich auf; niemals ist es möglich, die eine allein zu erregen. — Es stimmt also auch hierin die Electricität mit dem Magnetismus überein, jedoch mit dem Unterschiede, daß beide Magnetismen allemal an denselben Körper gebunden sind, während dagegen die entgegengesetzten Electricitäten, wenn sie einmal erregt sind, sich von einander trennen lassen.

Wir haben oben angenommen, daß auch in einem unelectricischen Körper beide Electricitäten und zwar im Gleichgewichte vorhanden sind, und wir haben ferner gesehen, daß der electricische Funken durch die Vereinigung der entgegengesetzten Electricitäten hervorgerufen wird. Da nun, wenn zwei Körper im Dunkeln aneinander gerieben werden, electricisches Licht erscheint, so werden wir uns vielleicht vorstellen dürfen, daß hierbei der eine negative, der andere positive Electricität abgibt, welche sich mit einander vereinigen und neutralisiren, wodurch dann im ersteren positive, im anderen Körper negative Electricität frei wird.

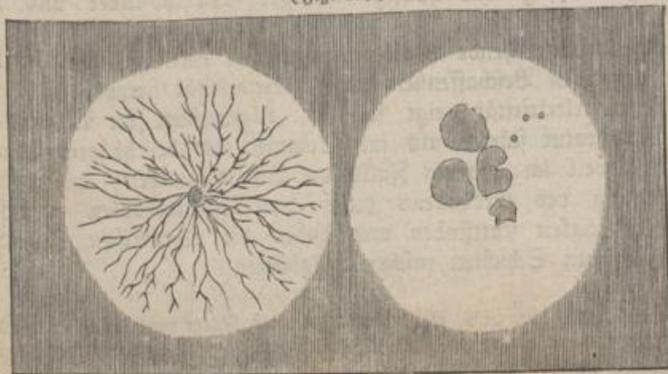
Wenn man einen halben Bogen Briefpapier am Ofen erwärmt, dann auf einer Tischplatte ausbreitet und mit einem Stücke Gummi elasticum reibt, so haftet derselbe an der Tischplatte und gibt nach dem mit Knistern begleiteten Losreißen dem genäherten Finger lebhaft Funken. — Auch in Papierfabriken zeigt sich das Papier nach dem Pressen stark electricisch.

Mehrere Krystalle, insbesondere der Turmalin, können durch Erwärmen electricisch werden. Erwärmt man einen solchen Krystall, so wird die eine Hälfte positiv, die andere negativ electricisch; erhält man denselben einige Zeit auf derselben Temperatur, so verschwinden diese Electricitäten wieder; läßt man den Krystall sich abkühlen, so werden wieder beide Hälften electricisch, aber sie zeigen jetzt die entgegengesetzten Electricitäten von denen, welche sie beim Erwärmen hatten. Zerbricht man einen Turmalin, während er electricisch ist, so zeigt jedes Stück, in ähnlicher Art wie ein zerbrochener Magnet, eine positive und eine negative Hälfte.

§. 133. Electricische Figuren.

In den meisten Fällen werden durch die positive und die negative Electricität ganz gleiche Wirkungen hervorgebracht. Man kennt jedoch auch einige Erscheinungen, bei denen sich ein verschiedenes Verhalten beider Electricitäten offenbart; dies ist z. B. der Fall, wie wir schon oben (§. 122) gesehen haben, bei dem Ausströmen derselben aus Spitzen. Ein anderer Versuch, durch welchen sich eine sehr anschauliche Verschiedenheit der positiven und negativen Electricität ergibt, besteht in Folgendem: Wenn man einige Stellen eines Harzkuchens positiv, andere negativ electricisirt, indem man dieselben an einigen Stellen mit dem Knopfe einer positiv geladenen, an anderen mit dem Knopfe einer negativ geladenen Flasche berührt und dann den Harzkuchen aus einiger Entfernung mit einem feinen Pulver, z. B. Hegenmehl (semen lycopodii) überpudert, so entstehen an den positiv electricisirten Stellen strahlige, an den negativ electricisirten rundliche Figuren, wie Fig. 158 zeigt.

(Fig. 158.)



Diese Figuren sind zuerst von Lichtenberg 1777 dargestellt worden und werden daher auch Lichtenbergische Figuren genannt. Bei gleicher Stärke der Ladung hat die positive Figur einen größeren Umfang als die negative.

Ein anderes Beispiel des verschiedenen Verhaltens der entgegengesetzten Electricitäten bietet der Lullin'sche Versuch dar: Wenn nämlich bei der Durchbohrung eines Kartenblattes durch den Entladungsschlag einer electrischen Flasche die metallenen Spitzen des Ausladers einander nicht gegenüber stehen, sondern das Kartenblatt an den entgegengesetzten Seiten in zwei Punkten berühren, welche etwa einen Zoll von einander abstehen, so geht der electrische Funke allemal über die der positiven Spitze zugewendete Seite und durchbohrt das Kartenblatt an der Stelle, welche sich der negativen Spitze gegenüber befindet.

Bei dem in der Ann. zu §. 122 beschriebenen Versuche über die Färbung von Jodkaliumkleister wird nur durch positive, nicht aber durch negative Electricität die angegebene Wirkung hervorgebracht.

*§. 134. Luftpolelectricität.

Zur Ermittlung des electrischen Zustandes der oberen Luftschichten kann man sich entweder des schon oben erwähnten, von Franklin gebrauchten electrischen Drachens bedienen, oder man befestigt an einem Gebäude eine hölzerne Stange, welche an ihrem oberen Ende eine oder mehrere durch einen Glasstab gehörig isolirte metallene Saugspitzen trägt, von denen ein Metalldraht durch die Luft nach einem empfindlichen Electroscop herabführt.

Uebrigens leuchtet ein, daß man durch dergleichen Vorrichtungen eigentlich nur die electrische Differenz zwischen dem Zustande der oberen Luftschicht, in welcher sich die metallene Spitze, und der unteren Luftschicht, in welcher sich das Electroscop befindet, erfahren kann, und daß man gerade das umgekehrte Resultat erhalten müßte, wenn man die metallene Spitze in die untere, das Electroscop in die obere Luftschicht brächte*).

Die Ergebnisse der von verschiedenen Physikern angestellten Beobachtungen über die Luftpolelectricität sind im wesentlichen folgende:

1) Die Electricität der Atmosphäre ist bei heiterem Himmel in der Regel positiv, am stärksten bei windstiller Witterung.

2) Die Luftpolelectricität zeigt sich schwächer bei bewölktem Himmel, am schwächsten bei trüber, feuchter Witterung, indem die feuchte Luft die Electricität der Atmosphäre nach dem Erdboden ableitet. Eben so wird dieselbe durch starke Winde, welche die oberen und unteren Luftschichten durch einander mischen, geschwächt.

3) Während eines Gewitters zeigt das Luftpolelectrometer einen äußerst unregelmäßigen Gang und häufige Wechsel von positiver und negativer Electricität.

4) Auch vorüberziehende Wolken bringen oft einen Wechsel in der positiven oder negativen Beschaffenheit der Luftpolelectricität hervor.

5) Die Luftpolelectricität zeigt sich im allgemeinen im Winter und bei niedriger Temperatur stärker als im Sommer und bei höherer Temperatur, wahrscheinlich weil im letzteren Falle die Luftströmungen, welche in Folge der Erwärmung des Erdbodens durch die Sonnenstrahlen eintreten, mit größerer Lebhaftigkeit stattfinden und daher die electrischen Gegensätze der oberen und unteren Schichten rascher ausgleichen.

*) Wie dies auch Biot's Beobachtungen auf seiner mit Gay-Lussac unternommenen Luftreise an einem aus der Gondel herabhängenden Metalldrahte von mehr als 150 Fuß Länge bestätigt haben.

6) Die Lustelectricität nimmt mit der Höhe oder vielmehr mit dem Höhenunterschiede zwischen dem obersten und untersten Punkte des Zuleitungsdrahtes zu.

7) Nebel und Wolken sind in der Regel electricisch, am häufigsten positiv.

8) Eben so sind Niederschläge aus der Atmosphäre, Regen und Schnee, besonders Hagel, fast immer electricisch, die Electricität derselben ist zuweilen so stark, daß die Regentropfen oder Hagelkörner, indem sie den Boden berühren, leuchten. Die Electricität der Niederschläge ist bald positiv, bald negativ; zuweilen wechseln selbst bei dem nämlichen Regen positive und negative Electricität mit einander ab.

Durch welche Prozesse die Electricität der Luft hervorgerufen wird, hat bis jetzt mit Bestimmtheit noch nicht ermittelt werden können. Früher hat man ziemlich allgemein die Verdunstung als die Hauptquelle der Lustelectricität angesehen; neuere Untersuchungen haben jedoch die Richtigkeit dieser Ansicht wenigstens nicht bestätigt.

Statt der oben angegebenen älteren Apparate mit Saugspitzen zur Ermittlung der Lustelectricität wendet man in neuerer Zeit auch häufig eine metallene Kugel an, welche man vermittelt eines isolirenden Glasstabes an dem oberen Ende einer aufgerichteten hölzernen Stange befestigt hat. Nachdem man diese Kugel auf eine kurze Zeit mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht hat, wodurch sich dieselbe in Folge von Influenz mit der entgegengesetzten Electricität der Luftschicht, in welche die Kugel hineinragt, ladet, nimmt man dieselbe herab und untersucht ihre Electricität.

§. 135. Entstehung des Gewitters.

Die großartigste durch die Lustelectricität bewirkte Erscheinung ist das durch Blitz und Donner charakterisirte Gewitter, von welchem wir schon oben in (§. 125) nachgewiesen haben, daß dasselbe zu den electricischen Erscheinungen gehört.

Die mittlere Durchschnittszahl der an dem nämlichen Orte in Deutschland während eines Jahres stattfindenden Gewitter ist ohngefähr 18. Gewitter finden bei weitem häufiger im Sommer als im Winter statt; der gewitterreichste Monat ist im allgemeinen der Juli. Wintergewitter gehören, wenn auch nicht zu den außerordentlichen, doch zu den seltenen Erscheinungen. Dieses Verhältniß gilt auch für die meisten der übrigen Länder Europa's; doch sind die Wintergewitter an den westlichen Küsten und in den westlich gelegenen Ländern Europa's weniger selten, als im Osten Europa's; ja an der Westküste von Norwegen übertrifft die Zahl der Wintergewitter die der Sommergewitter. So kommen z. B. in Bergen durchschnittlich auf zwei Jahre 12 Gewitter und hiervon etwa 7 auf den Winter und 5 auf den Sommer. Wir müssen hierzu noch bemerken, daß daselbst auch die Regenmenge des Winters die des Sommers übertrifft. — In Stockholm dagegen und in den mehr nach Osten. gelegenen Gegenden fehlen die Wintergewitter fast gänzlich.

Die Gewitter ereignen sich häufiger am Tage als in der Nacht, viel öfter am Nachmittage als am Vormittage; die Stunden der größten Tageswärme sind in Deutschland im allgemeinen auch diejenigen, auf welche verhältnißmäßig die meisten Gewitter kommen.

Die Gewitter sind am häufigsten und heftigsten in der heißen Zone, wo sie insbesondere zur Regenzeit fast regelmäßig alle Tage stattfinden. Mit der Breite oder vielmehr mit der mittleren Temperatur eines Ortes nimmt im

allgemeinen auch die Häufigkeit der Gewitter ab. In der Nähe der Polarkreise oder innerhalb derselben gehören sie zu den seltenen Erscheinungen*).

Dem Gewitter geht eine mehr oder weniger rasche Wolkenbildung voran. Diese nimmt an irgend einer Stelle des Himmels ihren Anfang, und indem sie von hier aus rasch fortschreitet, wird häufig binnen kurzer Zeit der vorher völlig heitere Himmel ganz mit Wolken bedeckt. Indem so die in der Luft enthaltenen durchsichtigen Dämpfe sich zu Wolken verdichten, häuft sich zugleich in diesen Electricität in um so größerer Menge an, je reichlicher und rascher die Condensation der Dämpfe erfolgt. So wie dann einerseits die in den Gewitterwolken angehäuften wässerigen Theile in Regengüssen niederstürzen, so entladet sich andererseits die in großer Menge angeammelte Electricität in feurigen Blitzen.

Wenn auch die Ursache der Lustelectricität gegenwärtig noch nicht mit Sicherheit ermittelt ist, so ist doch die Verdichtung der in der Luft enthaltenen Dämpfe, wo nicht als Quelle, doch jedenfalls als Bedingung der Anhäufung der Lustelectricität und der Entstehung des Gewitters anzusehen.

Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht zunächst die Erfahrung, daß ohne vorangegangene Wolkenbildung, am völlig heiteren Himmel, niemals ein Gewitter entsteht, ferner daß Nebel und Wolken, besonders aber die Niederschläge aus denselben sich fast immer electricisch zeigen, und daß sehr dichte Niederschläge von Regen, Schnee oder Hagel gewöhnlich von Blitzschlägen begleitet sind.

Man bemerkt häufig, daß nach lebhaften Blitzen die Heftigkeit des Regens unmittelbar zunimmt. Da indeß die Lichterscheinung des Blitzes sich augenblicklich fortpflanzt, während die Regentropfen zu ihrem Niederfallen aus der Wolke zur Erde eine längere Zeit gebrauchen, so werden wir den Blitz nicht als die Ursache, sondern vielmehr als die Folge des vermehrten Niederschlages und der gleichzeitig in großer Menge entbundenen Electricität, welche durch den Blitz sich entladet, anzusehen haben. Indem aber die Wolke ihre Electricität in wiederholten Blitzen entladet, auch der Regen einen natürlichen Ableiter nach der Erde hin bildet, nimmt die electricische Spannung in der Gewitterwolke immer mehr ab, die Blitze hören endlich auf und das Gewitter hat sein Ende erreicht.

Nach der oben über die Entstehung des Gewitters ausgesprochenen Ansicht erklärt sich auch die größere Häufigkeit derselben im Sommer einfach dadurch, daß die Luft bei hoher Temperatur eine sehr große Menge von Dämpfen zu fassen vermag, und daß dann eine geringe Temperaturenniedrigung schon einen reichlichen Niederschlag hervorbringt.

Gewöhnlich geht der Entstehung der Gewitter im Sommer große Wärme bei heiterem Himmel und fast immer Windstille vorher, welche die Hitze für unser Gefühl noch drückender macht, was wir mit dem Worte Schwüle bezeichnen. Heftige Winde verhindern, indem sie die oberen und unteren Luftschichten durch einander mischen, in der Regel die Ansammlung der Electricität in den oberen Regionen und die Erzeugung von Gewittern.

*) Giesecke beobachtete während eines sechsjährigen Aufenthaltes in Grönland unter 70° nördlicher Breite nur ein einziges Gewitter. — Auf Spitzbergen und überhaupt jenseits des 73sten Breitengrades sollen keine Gewitter mehr vorkommen.

— Dem Ausbruche des Gewitters selbst pflegt jedoch heftiger Sturmwind voranzugehen, welcher Staub und andere leichte Körper emportreibt.

„Wenn bei den meisten Gewittern im Sommer Windstille ein wesentliches Erforderniß ist, so ist dies bei den Wintergewittern weit weniger der Fall. Da die Atmosphäre im Winter weniger Dämpfe enthält, als im Sommer, so ist eine hinreichend schnelle Condensation nur zur Zeit lebhafter Stürme möglich. Wenn südwestliche Winde längere Zeit geweht, Temperatur und Dampfgehalt der Atmosphäre sich erhoben haben und nun schnell starke Nordwinde kommen, so bildet sich häufig ein Gewitter. — Daher zeigen sich die Gewitter im Winter auch nur da, wo die Luft sehr feucht ist, also an Küsten, und zwar desto häufiger, je steiler diese Küsten sind. Aus diesem Grunde eignet sich Norwegen vorzüglich zur Entstehung von Wintergewittern.“ — (Römz.)

Die Höhe der Gewitterwolken dürfte sehr verschieden sein, zuweilen 1000 Fuß nicht übersteigen; andererseits sollen nach Humboldt Gewitter in 12000 Fuß Höhe zwischen den Wendekreisen in Amerika zu den seltenern Erscheinungen gehören. Man schätzt die mittlere Höhe der Gewitterwolke auf 5000 bis 6000 Fuß*).

Die meisten Gewitter bewegen sich in Deutschland von Westen oder Südwesten gegen Osten oder Nordosten, so wie ja auch die westlichen oder südwestlichen Winde die vorherrschenden Regenwinde sind. Daß die Gewitter allemal gegen den Wind ziehen, ist eine irrige oder übertriebene Behauptung. Aber richtig ist es, daß die Luftströmungen in verschiedenen Höhen häufig und besonders bei Gewittern eine verschiedene Richtung haben, und daß der Zug der Gewitterwolken nicht immer mit der Richtung des Windes an der Erdoberfläche übereinstimmt.

*§. 136. Der Blitz und der Donner.

Die Bahn des Blitzes in der Luft ist seltener eine gerade Linie, gewöhnlich eine Zickzacklinie. In der Nähe gesehen, erscheint der Blitz als ein feuriger Ballen. Das wiederholte Abgehen des Blitzes von der geraden Linie sucht man dadurch zu erklären, daß der Blitz die Luft, welche er vor sich her treibt, verdichtet und so zu einem schlechteren Leiter macht und deshalb nach der nicht verdichteten dünneren Luft abspringt. — Nicht selten beobachtet man Blitze, deren Länge mehr als eine Meile beträgt.

Der Donner ist offenbar dasselbe im Großen, was der den electrischen Funken unserer Maschinen oder Flaschen begleitende Knall im Kleinen ist.

*) Lehnen sich Gewitterwolken an die Gipfel oder Seitenwände von Bergen, deren Höhe man kennt, so gewährt diese einen Anhaltspunkt für die Abschätzung der Höhe der Gewitterwolken. In ebenen Gegenden kann man folgendes Verfahren anwenden: Man schätzt die Entfernung (a) des Gewitters nach der Zeit, welche zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und Donners vergeht und nach der bekannten Geschwindigkeit des Schalles (1044 Par. Fuß in der Secunde) und sucht den Winkel (α) zu bestimmen, welchen die Linie vom Auge nach dem Punkte in den Wolken, von dem der Blitz ausging, mit dem Horizonte bildet. Dann ist die Höhe der Gewitterwolke die Cathete eines rechtwinkligen Dreiecks, von welchem man die Hypotenuse (a) und einen Winkel (α) kennt, (also $= a \sin \alpha$). Dieses Verfahren kann jedoch keine genauen Resultate liefern, da die Bestimmung des Winkels (α) mit großer Schwierigkeit verbunden ist, und die Entfernung (a) der Gewitterwolke zu klein erhalten wird, wenn irgend ein anderer Punkt der Bahn des Blitzes dem Beobachter näher ist, als die Stelle in den Wolken, von welcher der Blitz ausging.

Bei Blitzen, welche einschlagen, wird der Donner von den in der Nähe befindlichen Personen als ein einfacher Knall ohne nachfolgendes Rollen, von entfernteren Personen als ein prasselnder Knall vernommen. Bei Blitzen, welche von einer Wolke zur andern überschlagen, ist der Donner rollend. Das Rollen des Donners wird theils durch Zurückwerfen des Schalles in den Wolken oder an Gegenständen auf der Erde hervorgebracht, weshalb dasselbe auch in Gebirgen stärker als in der Ebene vernommen wird; theils entsteht dasselbe dadurch, daß der Schall, welchen der Blitz an verschiedenen Stellen seiner Bahn in der Luft erregt, wegen der ungleichen Entfernung dieser Stellen vom Ohre des Beobachters zu verschiedener Zeit bei demselben anlangt. Auch dürfte die Bewegung des Blitzes im Zickzack von Einfluß auf das Eigenthümliche des Donners sein *).

Bei weitem die meisten Blitze schlagen von einer Wolke zur andern über; die wenigsten gehen nach der Erde oder, wie man sagt, schlagen ein. — Ueber die einschlagenden Blitze stellen wir folgende allgemeine Sätze auf:

1) Der einschlagende Blitz ist die Ausgleichung des electrischen Gegensatzes zwischen der Gewitterwolke und dem unter derselben befindlichen und durch Vertheilung electricisirten feuchten Erdboden oder dem Grundwasser, da trockenes Erdreich die Electricität nur schlecht leitet. — Hiernach beantwortet sich die Frage von selbst, ob der Blitz von der Wolke zur Erde oder von der Erde zur Wolke geht. Unmittelbare Beobachtungen können hierüber nichts entscheiden, wegen der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher der Blitz seine Bahn durchläuft.

2) Als das Ziel des Blitzes, (als der eine Endpunkt seiner Bahn), ist die feuchte Erde oder das Wasser anzusehen. Nachdem der Blitz diese erreicht hat, hören alle Wirkungen desselben auf; der Blitz, welcher oft kurz vorher noch die größten Verheerungen anrichtete, ist spurlos an der feuchten Oberfläche der Erde verschwunden.

3) Ob der Blitz an einer Stelle der Oberfläche einschlägt, über welcher die Gewitterwolke schwebt, hängt vorzüglich von der Stärke der electrischen Ladung der Wolke, von der Höhe, in welcher sie schwebt, und von der Feuchtigkeit, überhaupt von dem Leitungsvermögen der Luft ab und wird weniger durch die Beschaffenheit der Gegenstände auf der Oberfläche bedingt.

4) Da selbst die feuchte Luft nur ein schlechter Leiter ist, so sucht sich der Blitz den Sprung durch die Luft möglichst zu verkürzen; er trifft daher vorzugsweise die höchsten, (als die der Gewitterwolke nächsten), Gegenstände. Ein minder hoher Gegenstand kann einer schief stehenden Gewitterwolke näher sein als ein höherer; auch kann das verschiedene Leitungsvermögen Ausnahmen von der angeführten Regel herbeiführen. — Nachdem der Blitz einmal feste Gegenstände erfaßt hat, geht er nicht leicht wieder von denselben ab; er scheut den Sprung durch die Luft und macht diesen in der Regel nur dann, wenn er so auf einem bedeutend kürzeren Wege zu besseren Leitern gelangen kann.

*) Es ist sehr merkwürdig, daß auch der heftigste Donner nur auf eine Entfernung von 2 bis 3 Meilen noch vernommen wird, während man Beispiele kennt, daß der Knall der Geschütze in Entfernungen von 30 und mehr Meilen gehört worden ist. — 72 Sekunden sind die größte von de l'Isle beobachtete Zwischenzeit zwischen dem Blitze und dem zugehörigen Donner.

5) Der Blitz folgt auf seiner Bahn zur Erde vorzüglich den guten Leitern, besonders den Metallen, oder genauer: er nimmt einen solchen Weg zur Erde, auf welchem die Summe der Leitungswiderstände, welche er auf seinem Wege zu überwinden hat, ein Minimum ist. — Nicht die guten Leiter an sich ziehen den Blitz an; er ergreift dieselben und folgt ihnen nur in so fern und nur dann, wenn sie ihm den Uebergang von der Stelle des Aufsprungs bis zu dem feuchten Erdreiche, als dem eigentlichen Ziele des Blitzes, erleichtern.

6) An schlechten Leitern bezeichnet der Blitz seine Bahn durch mannigfache Verletzungen, (Zerschmetterung, Entzündung u. dgl.); an guten Leitern, welche eine hinreichende Stärke haben, geht er ohne erhebliche Verletzung hin, ja oft, ohne eine Spur seines Weges zurückzulassen*). Daher der Nutzen der Blitzableiter, welche die Bestimmung haben, dem Blitze eine zusammenhängende metallische Leitung von hinreichender Stärke von dem höchsten Punkte eines Gebäudes bis zur feuchten Oberfläche der Erde oder in feuchtes Erdreich darzubieten. Eben so verhüten häufig blechene Dachrinnen, Ofenpfisen und andere metallische Leitungen, welche der Blitz in Gebäuden antrifft, größere Beschädigungen.

Weitere Abweichungen von den drei letzten Hauptregeln werden nicht selten dann herbeigeführt; wenn niederfallender Regen sowie durch denselben benetzte Wände eine bessere Leitung herstellen.

Von den Wirkungen des Blitzes ist schon oben (in S. 125) im allgemeinen die Rede gewesen. Wir bemerken hier noch, daß diese sich an der Stelle des Aufsprungs, und wenn der Blitz genöthigt gewesen ist, von einem Leiter zum andern überzuspringen, an der Stelle des Absprungs am stärksten zeigen. Metalle werden häufig an der Stelle des Auf- oder Absprungs geschmolzen; dasselbe geschieht außerdem, wenn sie eine zu geringe Stärke haben. Brennbare Gegenstände werden selbst von sehr heftigen Blitzen nicht immer entzündet, so wie ja auch Schießpulver von einem kräftigen Schläge einer electrischen Flasche zerstreut, aber nicht entzündet wird.

Wenn die Oberfläche der Erde aus einem sehr schlechten Leiter besteht, dringt der Blitz auch in die Tiefe ein, bis er eine feuchte Schicht erreicht. Schlägt der Blitz in trockenes sandiges Erdreich, so werden die Quarzkörner des Sandes geschmolzen, wodurch die sogenannten Blitzröhren entstehen, welche oft eine Länge von 20 — 30 Fuß erreichen, während ihr innerer Durchmesser zwischen einer halben Linie bis zu 1 oder 2 Zollen wechselt.

Die Blitzröhren sind zuerst von Hengen, welcher dieselben 1805 in den Sandhügeln der Senner Heide in Westphalen aufgefunden hat, als Erzeugnisse des Blitzes erkannt worden. Später sind dieselben auch in vielen andern Gegenden in Preußen, Sachsen, am Harze, in England, Brasilien u. s. w. aufgefunden worden. Daß diese Röhren wirklich durch den Blitz gebildet worden sind, ist in mehreren Fällen direct dadurch erwiesen worden, daß man an sandigen Stellen, in welche man den Blitz hatte einschlagen sehen, nachgrub und dergleichen Röhren antraf, welche durch zusammengebundene und zerschmolzene Quarzkörner gebildet waren.

Die stärkste mechanische Wirkung des Blitzes, welche man kennt, wurde an einem Steinkohlenmagazin in der Nähe von Manchester am 6. August 1809 durch

*) Aus der Nichtbeachtung dieses Umstandes mögen oft die unsinnigen Berichte unfundiger oder oberflächlicher Beobachter über den Weg, welchen der Blitz genommen haben soll, entstehen, wie man sie so häufig in Zeitungen findet.

einen heftigen Blitzschlag hervorgebracht, indem eine Mauer von 12 Fuß Höhe und 3 Fuß Dide, welche ein Gewicht von 520 Str. hatte, ohne umzustürzen, so verschoben wurde, daß das eine Ende derselben sich um 9, das andere um 4 Fuß fortbewegt hatte.

Der Blitzableiter besteht aus der Auffangestange und der Ableitungsstange. Die Auffangestange besteht aus (verzinnem) Eisen und endet sich oben in eine vergoldete Spitze oder, was noch besser ist, in eine Spitze von massivem Silber, da Silber von allen Metallen die Electricität am besten leitet und ein dünner Goldüberzug leicht geschmolzen wird. Man nimmt an, daß die senkrechte Auffangestange auf eine Entfernung schützt, welche der anderthalb- bis zweifachen Höhe gleich ist, um welche sie die höchsten benachbarten Theile des Gebäudes überragt. Ein langes Gebäude wird also mehrere Auffangestangen erfordern, zu denen auch eben so viele Ableitungsstangen nöthig werden. — Die mit der Auffangestange verbundene Ableitungsstange ist gewöhnlich eine eiserne Stange von $\frac{3}{4}$ Zoll ins Geviert, welche man zum Schutze gegen den Rost mit Oelfarbe überzieht, die man mit Kienruß gemischt hat, wodurch das Leitungsvermögen des Ueberzuges erhöht wird. Sie wird über das Dach und an dem Gebäude herab in den Boden bis zu einer Tiefe, in welcher sich beständig feuchtes Erdreich findet, oder noch zweckmäßiger in einen Brunnen geleitet, welcher nicht zu andern Zwecken benutzt wird, kein schmutziges Wasser enthält und auch in der trockensten Jahreszeit nicht versiegt. Man trifft dann die Einrichtung so, daß sich der in den Brunnen herabreichende Theil des Blitzableiters bequem herausnehmen läßt, um von Zeit zu Zeit nachzusehen, ob derselbe vom Wasser angegriffen und einer Wiederherstellung bedürftig ist, so wie überhaupt solche Theile des Blitzableiters, welche vom Roste gelitten haben, erneuert werden müssen. Um eine hinreichende Verbindung mit dem unterirdischen Wasser herzustellen, läßt man das unterste Ende desselben sich in mehreren eisernen Stangen verzweigen, welche mit dem Blitzableiter so wie auch alle andern Theilen desselben unter sich aufs sorgfältigste zu verbinden sind. — Größere Metallmassen in oder an dem Gebäude, metallene Dachbedeckungen, blecherne Rinnen, eiserne Stangen u. s. w. müssen ebenfalls mit dem Blitzableiter leitend verbunden sein. Wenn auch durch diesen nicht, wie man früher angenommen hat, die Zahl der Blitzschläge vermindert wird, so macht doch ein sorgfältig gearbeiteter Blitzableiter dieselben für die Gebäude gefahrlos. Besonders lehrreich sind in dieser Hinsicht die an dem Strasburger Münster gemachten Erfahrungen. Derselbe ist erst 1835 mit einem Blitzableiter versehen worden, nachdem er früher so oft durch Blitzschläge beschädigt worden war, daß die jährlichen Reparaturkosten durchschnittlich 1000 Franken betragen. Von 1835 an bis jetzt (1868) hat weder der Thurm noch die Kirche gelitten, obgleich 1843 sogar innerhalb einer Minute zwei Blitzschläge den Ableiter des Thurmes trafen.

Bei Menschen, welche vom Blitze getödtet werden, erfolgt der Tod augenblicklich. Man trifft dieselben häufig nach dem Tode noch ganz in der Stellung, in welcher sie sich unmittelbar vorher befunden hatten. Die Verletzungen sind mehrentheils nur oberflächlich, selten werden innere Theile beschädigt; der Tod scheint vorzüglich in Folge der heftigen Affection des Nervensystems einzutreten, dessen Reizbarkeit zerstört wird.

Verhältnismäßig finden nur wenige Menschen ihren Tod durch den Blitz. Nach Boudin werden in Frankreich jährlich im Durchschnitt etwas mehr als 100 Menschen unmittelbar durch den Blitz getödtet und etwa 200 finden im Ganzen jährlich in Folge von Blitzschlägen ihren Tod. — Um die Gefahr, vom Blitze erschlagen zu werden, noch zu vermindern, kann man während eines Gewitters folgende Regeln beobachten:

Man hüte sich besonders, in Gebäuden in einer unterbrochenen Leitung die vorhandenen Lücken mit seinem Körper auszufüllen. Am gefährlichsten sind die Stellen unter Kronleuchtern, welche in metallenen Ketten hängen, und unter Drahtzügen, ferner in der Küche unter dem Rauchfang, da der Ruß im Schornstein ein ziemlich guter Leiter ist. Auch sind an diesen Stellen wirklich häufig Menschen vom Blitze getödtet worden. Auch die Nähe der Spiegel, welche hinten mit Metall belegt sind, der eisernen Stangen in Fenstern und überhaupt größerer Metallmassen kann die Gefahr vermehren. Der beste Platz ist die Mitte einer geräumigen und hohen Stube; in einem niedrigen Zimmer thut man besser, zu sitzen als zu stehen.

Daß ängstliche Schließen der Fenster eines mit Menschen angefüllten Zimmers vermehrt nicht bloß unnöthiger Weise die Schwüle und Beklommenheit, sondern auch

die Gefahr des Erstickens in dem Falle, daß wirklich ein Blitzstrahl in das Zimmer dringen sollte. Zugluft, zumal trockene, vergrößert die Gefahr nicht. Dagegen kann man allenfalls das Feuer auf dem Küchenherde ausgehen lassen, da aufsteigender Rauch dem Blitze den Sprung nach dem Schornsteine erleichtert.

Auf der Straße ist man in der Nähe der Mauern, vorzüglich unter Thüren und Thorwegen mehr gefährdet, als in der Mitte der Straße; besonders dürften solche Stellen, wo das Wasser von den Dächern in starken Güssen niederstürzt, zu meiden sein.

Daß im Freien viele Menschen unter Bäumen, Heubäufen u. dgl. erschlagen worden sind, ist bekannt; andererseits kann es aber auch Gefahr bringen, im flachen Felde als der höchste Gegenstand dazustehen; besser ist es, sich in der Nähe eines hohen Baumes, aber wenigstens zehn Schritt von den längsten Zweigen entfernt, zu befinden. Da es für die Gesundheit, um den Regengüssen zu entgehen, natürlich am besten ist, ein Obdach zu gewinnen, so bemerken wir noch, daß schnelles Laufen die Gefahr nicht wesentlich vermehrt.

***§. 137. Der Rückschlag, das St. Elmsfeuer und das Wetterleuchten.**

Zuweilen sollen Menschen während eines Gewitters electriche Schläge empfunden haben, ohne selbst vom Blitze getroffen zu sein. Eben so hat man in Gebäuden an spitzigen Gegenständen, Messern, Gabeln u. dgl., electriche Funken in dem Augenblicke wahrgenommen, in welchem ein Blitzstrahl an dem Ableiter desselben oder eines benachbarten Hauses niederfuhr. Diese Erscheinungen, welche man auch wohl als den electriche Rückschlag bezeichnet hat, dürften als Wirkungen des oben (§. 130) näher charakterisirten Nebenstromes*) anzusehen sein.

Des Abends oder des Nachts bemerkt man zuweilen während eines Gewitters oder überhaupt bei einem stark electriche Zustande der Luft, daß die Spitzen hoher Gegenstände, die metallenen Spitzen der Thürme, der Masten auf Schiffen, hoher Bäume u. dgl. leuchten. Man nennt diese Erscheinung, welche offenbar durch das Ausströmen der Electricität aus Spitzen hervorgebracht wird, das St. Elmsfeuer. Man beobachtet dasselbe häufiger bei heftigen Stürmen und Wintergewittern als bei Sommergewittern, vielleicht weil bei jenen die Wolken gewöhnlich niedriger ziehen. Zuweilen zeigt sich die Erscheinung auch an Gegenständen, welche nur eine geringe Höhe haben. Man kennt Fälle, daß verschiedene Personen, welche sich im Freien befanden, während eines stark electriche Zustandes der Luft an den Händen ihrer Hüte, den Ohren und Mähnen ihrer Pferde, an Gesträuchen und Baumstämmen, die am Wege standen, schwankende Flämmchen bemerkten, welche mit einem schwachen Geräusche verbunden waren.

Vielleicht haben die sogenannten Irrlichter, über welche es noch an genügenden Beobachtungen fehlt, zuweilen eine ähnliche Entstehung.

Des Abends oder des Nachts sieht man öfters helleuchtende Blitze ohne eigentlichen Lichtstrahl und ohne allen Donner. Man nennt dieses Wetterleuchten. Nicht selten zeigt sich dasselbe in bedeutender Höhe über dem Horizonte, zuweilen sogar am wolkenleeren Himmel. Das Wetterleuchten kann theils von Gewittern herrühren, welche allzu entfernt sind, als daß wir den Donner zu vernehmen vermöchten, theils durch den Widerschein solcher Blitze am Himmel entstehen, welche von Wolken unter dem Horizont ausgehen. Endlich sehen wir auch aus den stark geladenen Conductoren unserer Electricitätsmaschinen aus hervorragenden Stellen im Dunkeln Lichtbüschel aus-

*) Am 4. Mai 1855 wurden auf dem Felde bei Montebaur während eines Gewitters 126 Schafe und ein Hund wahrscheinlich durch den electriche Rückschlag getödtet.

strömen, welche nur von einem schwachen Knistern begleitet sind, und wir dürfen daher wohl mit Recht annehmen, daß dergleichen electriche Ausstrahlungen auch bei stark geladenen Wolken vorkommen. Daß die Erscheinung sich nicht bei hellem Tageslichte, sondern nur im Dunkeln zeigen kann, ist von selbst einleuchtend.

Die Volkssprache knüpft an die Erscheinung des Wetterleuchtens auch wohl den Ausdruck: das Wetter kühlt sich ab. Eben so ist es eine bekannte Erfahrung, daß auf die dem Gewitter vorangehende Hitze in den meisten Fällen kühlere Witterung folgt. Wir haben oben die Anhäufung der Electricität in der Gewitterwolke als eine Folge rascher Verdichtung der in der Atmosphäre vertheilten Wasserdämpfe dargestellt. Bekanntlich aber werden Dämpfe durch Abkühlung verdichtet. Gewöhnlich sieht man die nach dem Gewitter eintretende kältere Witterung als eine Folge von diesem an; in den meisten Fällen dürfte jedoch umgekehrt das Gewitter eine Folge einer in den oberen Regionen plötzlich eingetretenen kalten Luftströmung sein, welche hier eine rasche Verdichtung von Wasserdämpfen und Anhäufung von Electricität bewirkt und erst später auch in die unteren Regionen einbringt und die Temperatur derselben erniedrigt.

§. 138. Das Nordlicht.

Wir haben schon oben bemerkt, daß in den höchsten nördlichen Breiten die Gewitter ganz aufhören. An die Stelle derselben scheinen die Nordlichter zu treten. Sie zeigen sich besonders häufig in den dem nördlichen Magnetpole nahe gelegenen Gegenden Amerikas und werden hier zu gewissen Zeiten fast jede Nacht wahrgenommen. Das Licht derselben ist zuweilen so intensiv, daß es selbst am Tage bemerkt wird. Der Häufigkeit und der Glanz der Nordlichter nimmt im allgemeinen mit der Entfernung vom magnetischen Nordpole ab; doch werden selbst zwischen den Wendekreisen noch zuweilen des Nachts Nordlichter bemerkt. — Auf der südlichen Erdhälfte zeigen sich in ähnlicher Art Südlichter.

Das Nordlicht erscheint am Himmel als ein hellleuchtender, ein dunkleres Segment umschließender, bogenförmiger Streifen, dessen Mittelpunkt ohngefähr im magnetischen Meridiane liegt. Von dem hellen Lichtbogen, welcher abwechselnd in gelbe, rothe und violette Farbe spielt, fahren von Zeit zu Zeit nach allen Richtungen Lichtbüschel aus, welche sich bis zum Zenith und über dasselbe hinaus erstrecken und mit dunkeln Streifen wechseln. Einige Beobachter wollen in höheren Breiten zur Zeit eines sehr lebhaften Nordlichtes ein knisterndes Geräusch bemerkt haben.

Daß das Nordlicht eine electriche Erscheinung ist, geht besonders daraus hervor, daß es die Magnetnadel afficirt (s. oben §. 115) und sein Mittelpunkt in die ohngefähre Richtung des magnetischen Meridians fällt. Auch hat die ganze Erscheinung desselben mit dem Ausströmen der Electricität im Dunkeln große Aehnlichkeit.

Die Wichtigkeit dieser Ansicht wird durch die Entdeckung Faraday's (vergl. unten §. 162, Anm.) bestätigt, daß ein um seine Aze rotirender Magnet electriche Ströme erzeugt.

Während eines sehr glänzenden Nordlichtes, welches sich fast die ganze Nacht hindurch zwischen dem 28. und 29. August 1859 zeigte, wurden in Deutschland und Frankreich an den Telegraphendrähten starke electriche Ströme beobachtet, welche ein zeitweises Anziehen der electro-magnetischen Auler auf den verschiedenen Stationen bewirkten und zum Theil die Läutewerke in Bewegung setzten.

B. Dynamische Electricität.

§. 139. Die Electricität im Zustande der Ruhe und der Bewegung.

Wenn wir die im Vorhergehenden aufgeführten electricischen Erscheinungen noch einmal überblicken, so stellt sich uns als das Hauptprincip das der *Influenz* heraus: Jeder positiv oder negativ electricisirte Körper A zieht in jedem in seiner Nähe befindlichen Körper B die ungleichnamige Electricität an und stößt die gleichnamige ab. Auf diesem Gesetze beruhen zunächst die Erscheinungen der electricischen Anziehung und Abstoßung überhaupt, ferner die Erscheinungen des *Electrophors*, der electricischen Flasche, des *Condensators* u. a. m. Werden die beiden Körper A und B, als welche wir z. B. die innere und äußere Belegung einer (positiv geladenen) electricischen Flasche annehmen wollen, durch einen Leiter mit einander verbunden, so gleichen sich durch denselben die entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen aus, indem von der inneren nach der äußeren Belegung hin positive und von der äußeren nach der inneren negative Electricität strömt. Der beide Belegungen verbindende Leiter wird also von einem zwiefachen electricischen Strome nach entgegengesetzten Richtungen durchlaufen. Dasselbe gilt überhaupt von jedem Leiter, durch welchen die Ausgleichung entgegengesetzter Electricitäten vermittelt wird. Wir unterscheiden hiernach die Electricität im Zustande der Ruhe und im Zustande der Bewegung oder den electricischen Strom. Die Wirkungen der ersteren Electricität, welche wir die *statische* nennen, bestehen ausschließlich in Anziehung und Abstoßung. Als Wirkungen der bewegten Electricität, welche die *dynamische* genannt wird, haben wir theils mechanische, Durchbohrung und Zersplitterung, theils physiologische, die electricische Erschütterung, theils Entwicklung von Licht und Wärme, Erhitzung und Entzündung von Körpern, durch welche der Strom hindurch geht, und endlich magnetische, Magnetisirung von Stahlnadeln, neben welchen der Strom senkrecht vorbeigeführt wird, kennen gelernt.

Da, wie wir gesehen haben, sich die Electricität fast augenblicklich fortpflanzt, so war in allen früher betrachteten Fällen der electricische Strom nur ein momentan vorübergehender. Dem Eintritte desselben ging jedoch allemal eine mehr oder weniger lange Zeit dauernde Anhäufung statischer Electricität vorher. Wir haben daher die im Vorhergehenden betrachteten electricischen Erscheinungen vorzugsweise *statische* genannt. In den nun folgenden Paragraphen werden wir uns hauptsächlich mit den Wirkungen anhaltender (continuirlicher) electricischer Ströme beschäftigen, welche wir zum Unterschiede von den vorher behandelten Erscheinungen in die Benennung *dynamische* zusammenfassen. Während bei jenen die Electricität vor der Entladung, dem Eintritte des Stromes, fast durchgehends eine hohe Spannung zeigte, ist die electricische Spannung bei den nun zu erörternden Erscheinungen entweder äußerst gering oder bei weitem in den meisten Fällen ganz unmerklich.

§. 140. Galvani's Entdeckung und Volta's Erklärung.

Im Jahre 1786 beobachtete Galvani, Professor der Anatomie zu Bologna, daß Froschschenkel, welche er in der Absicht, die physiologischen Wirkungen der Electricität zu beobachten, von der Haut entblößt und am oberen Ende vermittelt kupperner Drähte an einem eisernen Geländer aufgehängt hatte, in heftige Zuckungen geriethen, als die Füße derselben durch einen Zufall mit dem Geländer in Berührung kamen. Galvani glaubte, daß

die Ursache dieser Erscheinungen in einer besonderen thierischen Electricität zu suchen sei^{*)}. Alexander Volta, Professor der Physik zu Padua, welcher Galvani's Versuche einer sorgfältigen Prüfung unterwarf, zeigte jedoch, daß überhaupt jedesmal, wenn zwei verschiedene Metalle, in den angeführten Versuchen Kupfer und Eisen, in Berührung kommen, dieselben sich electricisch erregen, und erklärte daher die angeführten Zuckungen für eine Folge der durch den Froschschenkel sich wieder ausgleichenden entgegengesetzten Electricitäten der beiden Metalle.

Um die Richtigkeit dieser Behauptung darzutun, bediente sich Volta einer Doppelsplatte aus Kupfer und Zink, k und z (Fig. 159), welche er an den Berührungsstellen zusammenlöthete. Wenn er nun die Zinkplatte mit der Hand ableitend berührte, zeigte die Kupferplatte am Condensator negative Electricität. Wenn er dagegen die Kupferplatte in der Hand hielt, so zeigte die Zinkplatte am Condensator positive Electricität.

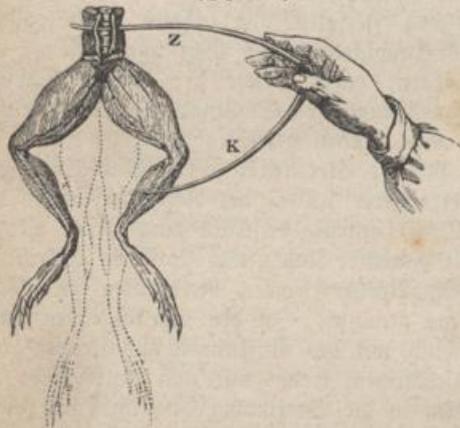
(Fig. 159.)



Dieselbe Erscheinung findet im wesentlichen statt, so oft zwei Metalle, überhaupt zwei gute Leiter der Electricität mit einander in Berührung kommen.

Man unterscheidet nach Volta Erreger oder Electromotoren der ersten Klasse, zu denen alle Metalle und die Kohle gehören, und Erreger der zweiten Klasse, zu denen man die Flüssigkeiten, Wasser, Säuren, Auflösungen der Alkalien, Salze u. s. w. rechnet.

(Fig. 160.)



Nach Grove findet zwischen einer Kupfer- und einer Zinkplatte selbst dann schon eine electricische Erregung statt, wenn dieselben einander bis auf einen sehr kleinen Abstand genähert werden.

Die von Galvani zuerst gemachten Beobachtungen lassen sich am bequemsten auf die Art wiederholen, daß man an dem Schenkelpaare eines kurz vorher getödteten Frosches nach Abziehung der Haut den Rückenerv und den Muskel mit zwei verschiedenartigen Metallstreifen berührt und diese mit einander in Berührung bringt, worauf eine lebhafte Zuckung der Schenkel eintritt. Diese Erregbarkeit ist jedoch kurz nach dem Tode des Thieres am stärksten, nimmt rasch ab und hört nach einigen Stunden ganz auf.

Die erste Veranlassung zu Galvani's Entdeckung gab der Umstand, daß in einem Zimmer, in welchem eine Electricitätsmaschine stand, auf einem Tische enthäutete Frösche lagen, welche zu einer Brühe für Galvani's erkrankte Frau bestimmt waren, und daß ein Gefüße zufällig in dem Augenblicke, in welchem aus dem Conductor der Electricitätsmaschine ein Funken gezogen wurde, den Cruralnerv eines enthäuteten Frosches mit einem Messer berührte, in Folge dessen die Schenkelmuskeln des Frosches in eine heftige Zuckung geriethen, was sich leicht aus dem Principe der electricischen Influxion erklärt. Indem nun Galvani diese ihm auffallende Erscheinung in der oben angegebenen Weise weiter verfolgte, gelangte er zu der nicht bloß für die Electricitätslehre, sondern für die gesammte Physik so äußerst wichtigen Entdeckung.

*) Vergl. unten §. 163.

✓ §. 141. Gesetze der electricischen Erregung.

Von den Electromotoren der ersten Klasse gelten folgende Hauptgesetze:

1) Wenn zwei Metalle sich berühren, so erregen sich dieselben gegenseitig electricisch; in dem einen sammelt sich mehr positive, in dem anderen mehr negative Electricität an. So lange die gehörig isolirten Metalle sich berühren, binden sich die erregten Electricitäten größtentheils, in ähnlicher Art, wie die entgegengesetzten Electricitäten der beiden Belegungen der electricischen Flasche oder des Condensators; sie werden dagegen frei, wenn man die Metalle von einander trennt. — Bringt man zwei sorgfältig abgeschliffene Metallplatten, z. B. eine Zink- und eine Kupferplatte, welche man an isolirenden Handgriffen festhält, mit einander in innige Berührung, so zeigt nach der Trennung die Zinkplatte an einem empfindlichen Electroscop deutlich positive, die Kupferplatte negative Electricität.

Aus diesen Versuchen schließen wir, daß bei der Berührung zweier Metalle, Zink und Kupfer, eine Störung des electricischen Gleichgewichts, eine Vertheilung der entgegengesetzten Electricitäten in der Art stattfindet, daß vom Kupfer nach dem Zink positive, vom Zink nach dem Kupfer negative Electricität übergeht, und wir schreiben diese Vertheilung der Wirkung einer besondern, bei der Berührung der beiden Metalle sich äuffernden Kraft zu, welche wir die electromotorische Kraft nennen.

2) Die Erreger der ersten Klasse lassen sich in eine solche Reihe ordnen, daß jedesmal der folgende, mit einem vorhergehenden in Berührung gebracht, positive, der vorhergehende aber negative Electricität erhält. Diese Reihe, Spannungsreihe, ist für die wichtigsten Electromotoren folgende:

Kupfer	—	Kohle
Zink		Platin
Froschbein.		Gold
		Silber
		Kupfer
		Eisen
		Zinn
		Blei
		Zink
		+

3) Die electricische Erregung ist um so größer, je weiter die in Berührung zu bringenden Metalle in der aufgeführten Spannungsreihe von einander abstehen. Sie ist also am größten zwischen Kohle oder Platin und Zink. — Die electricischen Differenzen zwischen zwei auf einander folgenden Gliedern sind jedoch sehr ungleich. So findet insbesondere zwischen Blei und Zink ein auffallender Sprung statt, so daß Blei und Zink in der Berührung sich (ohne auffälliger Sprung) eben so kräftig erregen, als Platin und Blei, (also in der ersten Verbindung Blei eben so stark negativ electricisch wird, als in der zweiten positiv).

4) Wenn mehrere Metallplatten, (z. B. Kupfer, Gold, Zinn, Zink) über einander geschichtet werden, so ist die electricische Spannung die nämliche, als wenn die beiden Endplatten (Kupfer und Zink) allein und unmittelbar sich berühren.

5) Es ist daher einerlei, ob zwei Metalle sich unmittelbar berühren oder durch ein drittes, z. B. durch einen metallischen Draht verbunden sind.

6) Die electrische Spannung ist dieselbe, wenn die sich erregenden Metalle an einer oder mehreren Stellen sich berühren; dagegen ist wesentlich, daß zwischen denselben wirklich metallische Berührung stattfindet; die geringste Oxydschicht oder Verunreinigung an den sich berührenden Stellen kann die Wirkung bedeutend schwächen oder ganz aufheben.

Die Erreger der zweiten Klasse bilden nicht, wie die Erreger der ersten Klasse, eine bestimmte Spannungsreihe und befolgen überhaupt weniger bestimmte Gesetze. Im allgemeinen lassen sich über dieselben folgende Sätze aufstellen:

7) Wenn man einen Erreger der ersten Klasse mit einem Erreger der zweiten in Berührung bringt, z. B. eine Metallplatte in Wasser taucht, welchem man etwas Säure zugefugt hat, so zeigt das Metall am hervorragenden Ende (in den meisten Fällen) freie negative und folglich die Flüssigkeit freie positive Electricität.

8) Mit den meisten Flüssigkeiten, insbesondere mit verdünnten Säuren, werden die positiven Metalle, vorzüglich Zink, am stärksten negativ electrisch; die electrische Spannung ist schwächer bei den mehr negativen Metallen, Blei, Kupfer, Silber u. s. w.

9) Wenn man in eine Flüssigkeit zugleich zwei Metalle (wie Kupfer und Zink), welche durch dieselbe ungleich erregt werden, so eintaucht, daß die Metalle sich selbst in keinem Punkte berühren, so zeigt das stärker erregte (Zink) am hervorragenden Ende freie negative, das schwächer erregte (Kupfer) freie positive Electricität.

In concentrirter Salpetersäure werden nach den Untersuchungen von Buff Gold, Platin, Kupfer und Eisen nicht negativ, sondern positiv erregt; Gold und Platin zeigen dieses abweichende Verhalten selbst in verdünnter Schwefelsäure.

Die vollständigere Spannungsreihe ist für die bekannteren einfachen Stoffe vom negativen zum positiven fortschreitend ohngefähr folgende:

— Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Chlor, Brom, Jod, Phosphor, Arsenik, Kohle, Chrom, Antimon, Platin, Gold, Quecksilber, Silber, Kupfer, Wismuth, Kobalt, Nickel, Eisen, Zinn, Blei, Zink, Wasserstoff, Mangan, Aluminium, Natrium, Kalium +.

§. 142. Galvanische Kette.

Durch die Verbindung zweier Electromotoren der ersten Klasse und eines Electromotors der zweiten Klasse entsteht die galvanische Kette. Als Erreger der ersten Klasse wendet man wegen ihres bedeutenden electrischen Gegensatzes und verhältnismäßig billigen Preises häufig Zink und Kupfer, (in der weiter unten anzuführenden Grove'schen Kette Zink und Platin, in der Bunsen'schen Zink und Kohle) an; zum Erreger der zweiten Klasse nimmt man gewöhnlich die verdünnte Auflösung eines Salzes (Kochsalz, Salmiak) oder einer Säure (Schwefelsäure, Salpetersäure). Man verbindet die drei Glieder der Kette so, daß sich die Flüssigkeit zwischen den beiden Metallen befindet, indem man die Metalle entweder in die Flüssigkeit eintaucht oder zwischen dieselben eine mit der Flüssigkeit getränkte Papp- oder Luchscheibe legt. Die Kette heißt geschlossen, wenn die Metalle sich berühren, was unmittelbar oder mittelbar durch einen beide verbindenden Metalldraht geschehen kann. Die Kette heißt geöffnet, wenn zwischen den Metallen weder mittelbare noch unmittelbare Berührung stattfindet.

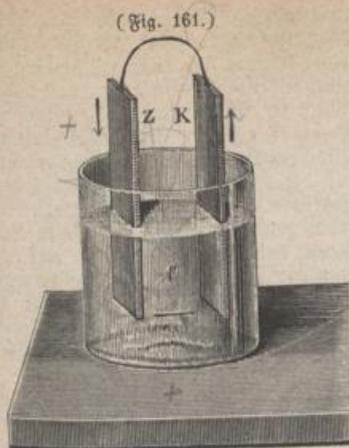


Fig. 161 stellt eine geschlossene galvanische Kette dar; zwei Metalle K (Kupfer) und Z (Zink) tauchen in eine gefäuerte Flüssigkeit *f* und sind außerhalb derselben durch einen Draht leitend verbunden.

In der geöffneten Kette zeigt, wie wir oben (S. 141, 9) gesehen haben, das durch die Flüssigkeit stärker erregte Metall, Zink, am hervorragenden Ende freie negative, das schwächer erregte Metall, Kupfer, freie positive Electricität. Wird die Kette geschlossen, indem die aus der Flüssigkeit hervorragenden Enden der beiden Metalle entweder in unmittelbare Berührung gebracht oder durch einen Draht verbunden werden, so muß in Folge der Anziehung der in der

angegebenen Art erregten entgegengesetzten Electricitäten durch den Schließungsbogen der Kette vom Kupfer zum Zink positive, vom Zink zum Kupfer negative Electricität übergehen.

In der geschlossenen galvanischen Kette wirken aber auch die Metalle selbst aufeinander erregend ein, und diese gegenseitige Erregung der beiden Metalle ruft, (wie wir oben in S. 141, 1 gesehen haben,) ebenfalls einen Uebergang von positiver Electricität vom Kupfer zum Zink und von negativer Electricität vom Zink zum Kupfer hervor, so daß also beide electromotorischen Kräfte, die electricische Erregung zwischen den beiden Metallen und der Flüssigkeit und die Erregung zwischen den Metallen selbst, in ganz gleichem Sinne wirksam sind und sich daher in ihren Wirkungen verstärken.

Indem aber alle drei Leiter, die beiden Metalle und die Flüssigkeit, in ununterbrochener Verbindung stehen, so findet auch zwischen denselben eine unausgesetzte electricische Erregung und eine fortwährende Entladung der erregten entgegengesetzten Electricitäten statt, so daß also in der geschlossenen Kette durch den Schließungsbogen derselben fortwährend positive Electricität vom Kupfer zum Zink und negative Electricität vom Zink zum Kupfer überströmt, während in der zwischen beiden Metallen befindlichen Flüssigkeit diese beiden Ströme natürlich die entgegengesetzte Richtung befolgen, (nämlich durch die Flüssigkeit vom Kupfer zum Zink negative, vom Zink zum Kupfer positive Electricität übergeht).

Da mit der Richtung des einen dieser beiden Ströme auch die des andern gegeben ist, so werden wir uns im Folgenden auf die Anführung des einen, nämlich des positiven beschränken. Wir sprechen demgemäß das folgende Hauptgesetz aus:

In der geschlossenen galvanischen Kette geht durch den Schließungsbogen derselben der positive Strom vom Kupfer zum Zink (und durch die zwischen beiden Metallen befindliche Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer).

Wenn man eine Leidner Flasche durch einen Metalldraht, welcher beide Belegungen verbindet, entladet, so durchläuft denselben, wie wir in S. 139 gesehen haben, ebenfalls ein zweifacher, positiver und negativer, Strom in entgegengesetzten Richtungen. Dieser Strom unterscheidet sich aber von dem continuirlichen Ströme der galvanischen Kette durch seine auf einen Moment beschränkte Dauer. Auch wenn wir die Scheibe einer (gewöhnlichen) Electricitätsmaschine fortwährend umdrehen und den positiven Conductor mit der Erde (oder mit dem negativen Conductor) durch einen Draht verbinden, so

wird dieser von keinem continuirlichen Strome durchlaufen. Denn einmal berühren sich Reibzeug und Reiber immer nur in einzelnen Punkten, und zweitens findet zwischen dem Reiber und den Spizen des Conductors immer nur dann ein Uebergang der Electricität statt, wenn diese im Reiber eine hinreichende Spannung erlangt hat, um den Leitungswiderstand der trennenden Luftschicht zu überwinden. In einer geschlossenen galvanischen Kette stehen dagegen alle drei Glieder in einem innigen leitenden Zusammenhange, und da die in der dreifachen Berührung thätigen electromotorischen Kräfte unausgesetzt fortwirken, so muß die Kette sich immer wieder aufs neue laden und entladen, und folglich bei der ungeheuern Geschwindigkeit, mit welcher sich die Electricität fortpflanzt, der electriche Strom den Schließungsdraht der Kette in jeder Secunde unzähligemal durchlaufen. Wenn daher die Maschinenelectricität im allgemeinen die galvanische an Spannung bedeutend übertrifft, so finden dagegen die Wirkungen der ersteren nur unterbrochen, gleichsam stoßweise statt, während die letztere vielmehr einem ununterbrochen fließenden Strome zu vergleichen und weit mehr geeignet ist, anhaltende Wirkungen hervorzubringen, weshalb auch gerade die galvanische Electricität bereits in Gewerben mehrfache Anwendung gefunden hat.

Da die Electricität in der (einfachen und mehrentheils auch in der zusammengesetzten) galvanischen Kette eine weit geringere Spannung als die Maschinen-Electricität besitzt, so bietet die Isolirung derselben weniger Schwierigkeit dar; es ist daher auch das Gelingen der im Folgenden anzuführenden Versuche über galvanische Electricität von der Beschaffenheit der Witterung ganz unabhängig.

Die Richtung des electriche Stromes in der geschlossenen galvanischen Kette hängt nicht allein von der Stellung ab, welche die beiden festen Leiter in der im vorhergehenden Paragraphen aufgeführten Spannungsreihe einnehmen, sondern wird auch wesentlich durch die Beschaffenheit des flüssigen Leiters bedingt. Man kann im allgemeinen annehmen, daß der positive Strom von dem Metalle, welches von der Flüssigkeit am wenigsten angegriffen wird, nach demjenigen hingeht, welches die stärkste chemische Veränderung erleidet.

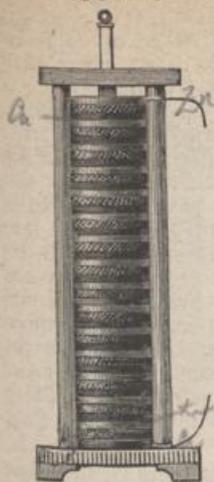
Die electromotorische Wirksamkeit des gewöhnlich durch beigemischte Metalle und Kohle verunreinigten Zinks wird bedeutend erhöht, wenn man dasselbe vorher amalgamirt; dieses geschieht, indem man dasselbe zuerst mit verdünnter Schwefelsäure reinigt und dann mit Quecksilber mittelst eines in die verdünnte Säure getauchten Lappens so lange reibt, bis es eine vollkommen blanke Oberfläche darbietet. Um die Amalgamation in immer gleichem Maße zu unterhalten, gießt man während des Gebrauches der Batterie in die Zellen, in denen die Zinkelemente stehen, etwas Quecksilber, so daß der Boden eben bedeckt ist. Die Wirksamkeit der Batterie wird hierdurch erhöht und andauernder. — Chemisch reines Zink wird von verdünnten Säuren gar nicht oder nur schwach angegriffen. Das gewöhnliche, unreine Zink wird dagegen von Säuren rasch aufgelöst, indem dasselbe durch die beigemengten Stoffe, Metalle und Kohle, welche sich gegen das Zink electro-negativ verhalten, stark positiv erregt wird. Es bilden daher diese Beimengungen mit dem Zink und der Flüssigkeit schon für sich eine galvanische Kette, deren electriche Strom aber nicht durch den das Zink mit dem Kupfer verbindenden Schließungsdraht hindurch geht. — Bei dem amalgamirten Zink wird die Oberfläche desselben mit einer Schicht von Amalgam bedeckt, welches sich in hohem Maße electro-positiv verhält. Es kommen nämlich die Amalgame mehrentheils in der Spannungsreihe bei weitem mehr nach der positiven Seite hinzustehen, als man nach der Stelle, welche die Gemengtheile für sich in dieser Reihe einnehmen, vermuthen sollte, wie schon Ritter (um's Jahr 1800) gefunden hat.

§. 143. Die Volta'sche Säule oder Batterie.

Wir verdanken diese für die galvanische oder Contactelectricität so wichtige Vorrichtung dem Scharfsinne Volta's, welcher dieselbe zuerst im Jahre 1800 öffentlich bekannt gemacht hat.

Wenn man mehrere Kupfer- und Zinkplatten übereinander schiebt, so wird hierdurch die Wirkung, wie wir bereits oben gesehen haben, nicht verstärkt, sondern sie bleibt dieselbe, als wenn die oberste und unterste Platte sich unmittelbar berührten. Schaltet man aber zwischen die einzelnen Plattenpaare einen feuchten Leiter ein, so zeigen sich die Erscheinungen der galvanischen Electricität in verstärktem Maße. Bei den Säulen, wie sie

(Fig. 162.)



ursprünglich von Volta construiert worden sind (Fig. 162), wendet man als feste Leiter gewöhnlich kreisförmige oder viereckige Kupfer- und Zinkplatten von zwei bis vier Zoll Durchmesser und als feuchten Zwischenkörper dünne Papp- oder Luchscheiben an, welche man in eine Auflösung von Kochsalz in Essig oder Salmiak in Wasser getaucht hat. Man schichtet nun diese Körper in der Ordnung Zink, Feuchtigkeit, Kupfer, Zink, Feuchtigkeit, Kupfer u. s. w., oder in der umgekehrten Folge Kupfer, Feuchtigkeit, Zink, Kupfer, Feuchtigkeit, Zink u. s. w. bis zu 50 und 100 Plattenpaaren über einander. Als Unterlage dient ein Gestell von Holz, auf welchem drei senkrecht in die Höhe gehende Glasstäbe angebracht sind, welche die Platten zusammenhalten.

Das mit der Kupferplatte schließende Ende der Säule wird (aus sogleich zu erörternden Gründen) der positive, das mit der Zinkplatte schließende Ende der negative Pol genannt. An die Pole sind Drähte befestigt, durch

welche man dieselben bequem mit einander oder mit einem Körper, durch welchen der elektrische Strom hindurch geleitet werden soll, verbinden kann.

Befindet sich die Säule im vollkommen isolirten Zustand, und bringt man den Kupferpol mit einem empfindlichen Electrometer, z. B. mit einem Goldblattelectrometer, in leitende Verbindung, so divergiren die Blättchen mit positiver Electricität; dagegegen gehen sie mit negativer Electricität auseinander, wenn sie mit dem Zinkpole verbunden werden. — Beide Electricitäten nehmen von den Enden, Polen, nach der Mitte der Säule hin ab, so daß die Säule in diesem Zustande große Aehnlichkeit mit einem Magneten hat.

Bringt man den negativen (Zink-) Pol mit der Erde in leitende Verbindung, so vermehrt sich die elektrische Spannung am entgegengesetzten positiven (Kupfer-) Pole. — Dasselbe gilt von der negativen Electricität des Zinkpols, wenn man den positiven (Kupfer-) Pol mit der Erde leitend verbindet.

Werden beide Pole unter sich oder mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht, so hört überhaupt in der Säule die elektrische Spannung auf; sie kehrt wieder, nachdem man diese Verbindung aufgehoben hat.

Ist die Batterie geschlossen, indem man beide Pole durch einen Leiter mit einander verbunden hat, so geht durch diesen ein continuirlicher Strom, und zwar vom Kupfer zum Zink positive, vom Zink zum Kupfer negative Electricität, indem die Batterie in Folge der elektrischen Erregung der einzelnen Glieder sich gleichsam immer wieder von neuem ladet und durch den beide Pole verbindenden Schließungsbogen entladet.

Die mit den Polen der Batterie verbundenen Leitungsdrähte sind von Faraday Electroden (Wege, auf denen der elektrische Strom zugeleitet wird,) und zwar der mit dem positiven Pole verbundene Anode, der am negativen Pole angebrachte Kathode genannt worden.

Statt die Zink- und Kupferplatten, wie oben angegeben, durch zwischengelegte Papp- oder Luchscheiben zu trennen, kann man dieselben auch in mit verdünnter Säure oder mit Salzlösung gefüllte Gefäße tauchen, indem man dann jede Kupferplatte der vorangegangenen Zelle mit der Zinkplatte der folgenden Zelle durch einen Kupferstreifen verbindet, wie dieses Fig. 163 zeigt.

Die verstärkte Wirkung der Volta'schen Säule oder Batterie läßt sich in folgender Art verdeutlichen: Denken wir uns eine Säule von der Anordnung

(Fig. 163.)



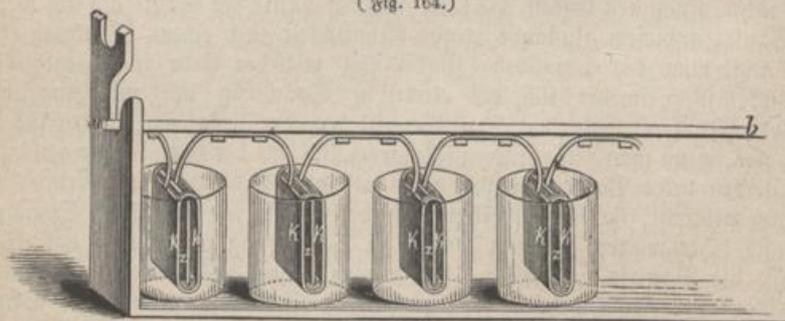
ZFKZFKZFKZFK . . .

so ladet sich die Kupferplatte der ersten der zur Säule verbundenen Ketten in Folge der zwischen den einzelnen Gliedern dieser Kette stattfindenden electricischen Erregung, wie wir oben (§. 142) gesehen haben, mit positiver Electricität, welche sich durch alle mit dieser Platte in Verbindung stehenden Platten bis zur äußersten Kupferplatte fortpflanzt. Da

nun in gleicher Weise sich auch jede folgende Kupferplatte mit positiver Electricität ladet, welche sich in der angegebenen Richtung bis zur letzten Kupferplatte fortpflanzt, so ergibt sich, wenn wir die Stärke einer einzelnen Ladung mit $+E$ bezeichnen und die Säule aus n Plattenpaaren besteht, für die letzte Kupferplatte die Ladung $+nE$. Aus ganz gleichen Gründen ladet sich die Zinkplatte jeder einzelnen Kette vermöge der zwischen den Gliedern derselben stattfindenden electricischen Erregung mit negativer Electricität, welche sich nach der andern Seite hin bis zur äußersten Zinkplatte ausbreitet, so daß wir die Größe der gesammten Ladung dieser Platten durch $-nE$ auszudrücken haben. — Die electricische Spannung an den Polen einer Volta'schen Säule muß daher nahezu in gleichem Verhältnisse mit der Zahl der Plattenpaare zunehmen.

Die Wirkungen einer Volta'schen Säule von der oben angegebenen Construction sind unmittelbar nach der Aufrihtung derselben am kräftigsten und nehmen dann rasch ab. Der Grund hiervon ist die unausgesetzte Berührung der Metallplatten mit der Flüssigkeit und die Veränderungen, welche dieselben in Folge hiervon erleiden. (Vergl. unten §. 144.) Um wieder kräftige Wirkungen zu erhalten, muß man die Säule auseinander nehmen, die Platten reinigen und dann aufs neue aufbauen, was einen bedeutenden Zeitaufwand erfordert. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, hat man die Einrichtung der Volta'schen Säule mannigfaltig abgeändert. Eine der bequemsten und einfachsten Abänderungen ist der Trogapparat von Volta (Fig. 164). Dieser besteht aus mehreren mit verdünnter Säure*) gefüllten Gläsern,

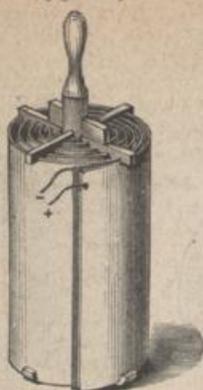
(Fig. 164.)



innerhalb deren sich die Plattenpaare befinden. Die Kupferplatte kk jeder Zelle umgibt die Zinkplatte z , welche durch einen angelötheten Kupferstreifen mit der Kupferplatte der folgenden Zelle verbunden ist. Nur die Kupferplatte der ersten und die Zinkplatte der letzten Zelle sind nicht verbunden, sondern laufen in freie Drähte aus, welche die Pole bilden. Die kupfernen Streifen, welche das Zink der vorhergehenden Zelle mit dem Kupfer der folgenden verbinden, sind an eine hölzerne Latte ab angenagelt, vermittelst deren sich sämtliche Platten aus den mit Säure gefüllten Gläsern ausheben lassen. Diese Einrichtung gewährt den Vortheil, daß man die Platten nach Beendigung eines Versuches rasch außer Berührung mit der gesäuerten Flüssigkeit bringen und nach den nöthigen Vorbereitungen für einen folgenden Versuch diese Verbindung leicht wieder herstellen kann.

*) Man nimmt gewöhnlich auf 100 Theile Wasser $2\frac{1}{4}$ Th. concentrirte Schwefelsäure und 2 Th. Salpetersäure.

(Fig. 165.)



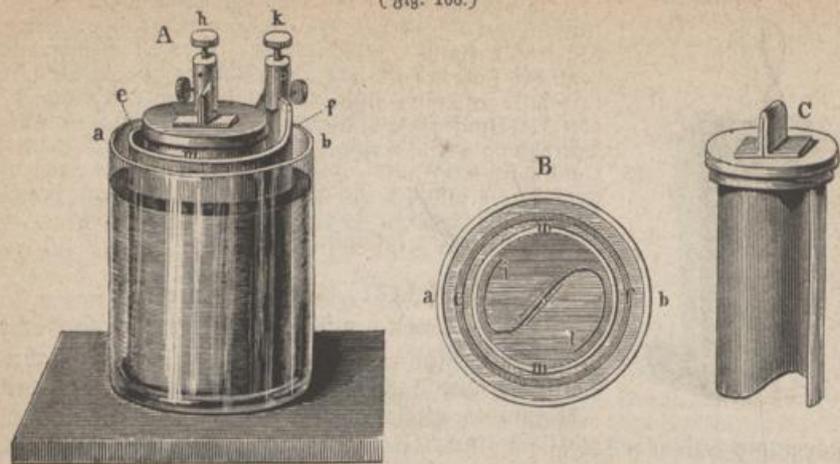
In vielen Fällen thut auch eine einfache Zink-Kupferkette in der Form der Hare'schen Spirale, welche Fig. 165 darstellt, gute Dienste. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Schließungsdraht der Kette sehr kurz ist, oder wenn derselbe durch einen nicht sehr langen, aber verhältnißmäßig dicken Draht gebildet wird. — Diese Vorrichtung besteht aus zwei beträchtlich großen Platten von Kupfer und Zink, welche, um sie in ein mit verdünnter Säure gefülltes Gefäß eintauchen zu können, spiralförmig in einander, doch so gewunden sind, daß sie sich an keiner Stelle berühren.

***§. 114. Constante Ketten.**

Ehe wir von den Wirkungen der einfachen oder zusammengesetzten galvanischen Kette handeln, haben wir uns noch mit einigen Abänderungen derselben bekannt zu machen, welche dem Zwecke dienen, einen andauernden Strom von möglichst gleichmäßiger Stärke zu liefern. Die einfachen oder zusammengesetzten Ketten von der älteren Einrichtung, wie wir dieselben bisher beschrieben haben, geben nur unmittelbar nach der Zusammenfügung kräftige Wirkungen. Die Stärke des Stromes, welchen dieselben liefern, ist nicht von Dauer, sondern nimmt rasch ab. Wie wir nämlich weiter unten sehen werden, findet, wenn man die Poldrähte einer Kette in Wasser leitet, eine Zerlegung des Wassers in der Art statt, daß am positiven Pole Sauerstoff, am negativen Wasserstoff auftritt. In gleicher Weise wird auch das Wasser in jeder der Zellen, welche die Batterie zusammensetzen, zerlegt. Indem in Folge hiervon das positive Metall, Zink, sich mit einer Oxydschicht bekleidet, und an dem negativen Erreger, Kupfer, Platin oder Kohle, sich in kleinen Blasen eine Schicht von Wasserstoff ablagert, wird der ursprüngliche Zustand der Batterie immer mehr verändert und die Wirksamkeit derselben geschwächt. Dieser Uebelstand wird nun in den sogenannten constanten Ketten, welche durch eine weit anhaltendere und gleichmäßigere Wirksamkeit vor denen der älteren Einrichtungen einen entschiedenen Vorzug haben, vermieden oder doch wesentlich vermindert. Eine Eigenthümlichkeit dieser Ketten ist, daß bei denselben zwei Flüssigkeiten angewendet werden, welche durch eine poröse Scheidewand, gewöhnlich durch eine Zelle von unglasirtem Thon, welche, ohne den leitenden Zusammenhang zwischen den beiden Flüssigkeiten aufzuheben, das Zusammenfließen derselben verhindert, von einander getrennt sind. Das positive Metall wird nur von der einen, das negative nur von der andern Flüssigkeit umspült.

Wir heben unter den constanten insbesondere die Grove'sche Zink-Platin-kette, welche von allen die kräftigsten Wirkungen liefert (Fig. 166), hervor. A zeigt eine Ansicht, B einen horizontalen Durchschnitt einer solchen Kette. Ein Glasgefäß ab ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt; in diese taucht ein hohler, unten offener Zinkcylinder ef, und innerhalb dieses letztern befindet sich ein unten geschlossener hohler Thoncylinder mm, welcher mit concentrirter Salpetersäure gefüllt ist. In diese taucht ein Platinblech m, welches, um eine größere Fläche mit der Flüssigkeit in Berührung zu bringen, sförmig gebogen ist, wie dies die besondere Abbildung C dieser Platte zeigt. Der Thoncylinder ist durch einen hölzernen Deckel geschlossen, um die Ausbreitung der das Athmen belästigenden Dämpfe von salpetriger Säure

(Fig. 166.)



zu verhindern. An dem Platinblech und an dem Zinkcylinder sind die Klemmschrauben h und k angebracht, durch welche Drähte mit denselben verbunden werden können.

Sollen mehrere Grove'sche Ketten zu einer Batterie vereinigt werden, so verbindet man den Zinkcylinder der ersten Zelle durch einen Draht mit dem Platinblech der zweiten, den Zinkcylinder der zweiten mit dem Platinblech der dritten Zelle u. s. w. Ein an dem unverbundenen Platinblech (der ersten Zelle) befestigter Draht bildet den positiven Pol, und eben so bildet ein an dem unverbundenen Zinkcylinder (der letzten Zelle) befestigter Draht den negativen Pol.

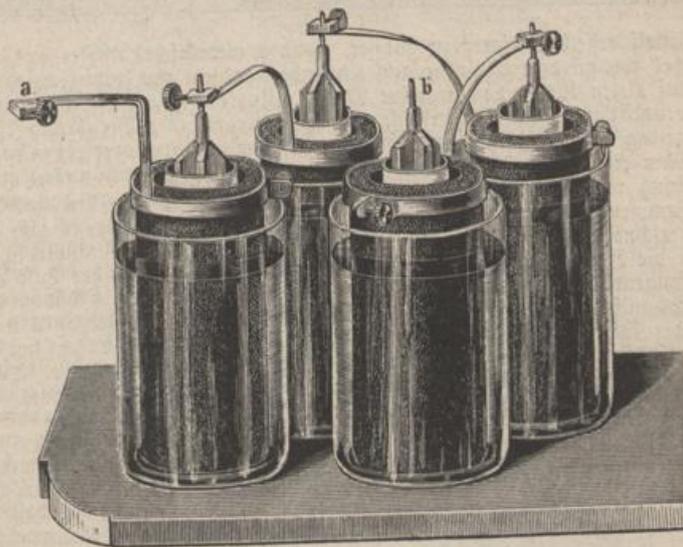
Die andauernde Wirksamkeit dieser Kette beruht auf Folgendem: So wie in jeder galvanischen Kette wird auch hier das positive Metall Zink oxydirt, indem das dieses Metall umspülende Wasser zerlegt wird und der Sauerstoff desselben sich mit dem Zink zu Zinkoxyd verbindet, welches von der Säure aufgelöst wird. Das entbundene Wasserstoffgas aber, welches von dem negativen Metalle, Platin, angezogen wird, kann nicht anders an dieses herantreten, als daß es vorher durch die das Platin umspülende Salpetersäure hindurchgeht. Indem aber diese Säure sehr geneigt ist, an leicht oxydirbare Körper, wie z. B. Wasserstoff, Sauerstoff abzugeben und dieselben zu oxydiren, wird der in Folge der Oxydation des Zinks frei gewordene Wasserstoff sofort wieder zu Wasser oxydirt, so daß sich also niemals, wie in den veränderlichen Ketten, das negative Metall, hier Platin, mit einer Schicht von Wasserstoff bekleiden kann, sondern unausgesetzt in unmittelbarer Verührung mit der dasselbe umspülenden Flüssigkeit, Salpetersäure bleibt.

Eine ganz ähnliche Einrichtung wie die Zink-Platinkette hat die ebenfalls sehr wirksame Zink-Eisenkette, nur daß man bei derselben das Eisen nicht in Form von dünnen Blechen, sondern von starken Stäben anwendet. Die Anwendung des Eisens in diesen Ketten beruht darauf, daß sich dasselbe in sehr concentrirter Salpetersäure mit einer Oxydschicht überzieht, welche dasselbe gegen die weiteren Angriffe der Säure schützt und in ihrem electrischen Verhalten dem Platin sehr nahe steht. — Man nennt diese merkwürdige Eigenschaft des Eisens die Passivität desselben. — Man muß aber hierbei eine stark concentrirte Salpetersäure anwenden, indem das Eisen, wenn die Concentration der Säure unter einen gewissen Punkt herabgekommen ist, von der Säure dann mit großer Heftigkeit und unter starker Entwicklung von

salpeterigsauren Dämpfen angegriffen wird, weshalb man sich derselben nur noch selten bedient.

Von dem angeführten Uebelstande frei ist die Bunsen'sche Zink-Kohlenlette, welche an Wirksamkeit der Zink-Platinkette sehr nahe, aber um vieles billiger kommt und daher besonders häufig angewendet wird. Bei der Zink-Kohlenlette befindet sich in einem gläsernen, mit concentrirter Salpetersäure angefüllten Gefäße ein beiderseits offener Cylinder von ausgeglühter Steinkohle, in diesem ein unten geschlossener Cylinder von porösem Thon, welcher mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt ist, und innerhalb dieses letzteren ein vierkantiger Zinkfolben. Sollen mehrere dieser Ketten zu einer Batterie (Fig. 167) verbunden werden, so wird der aus dem Glase hervor-

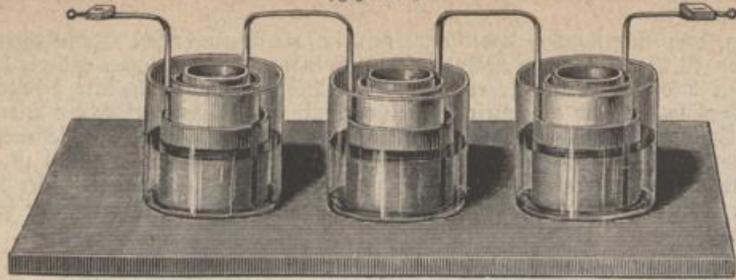
(Fig. 167.)



ragende Rand des Kohlencylinders mit einem kupfernen Ringe umgeben, welcher durch eine Schraube fest angezogen werden kann. Ein an diesen Ring angelötheter kupferner Streifen wird vermittelst einer Klemmschraube mit dem Zinkfolben der folgenden Zelle verbunden. Der an den kupfernen Ring, welcher den Kohlencylinder der ersten Zelle umfaßt, angelöthete Kupferstreifen a bildet den positiven Pol und das hervorragende Ende b des Zinkfolbens der letzten Zelle den negativen Pol. Auch hier bleibt das negative Metall, die Kohle, fortwährend mit derselben Flüssigkeit, der Salpetersäure, in ungestörter Berührung, indem das sich entbindende Wasserstoffgas sogleich wieder auf Kosten der Salpetersäure oxydirt wird, wodurch sich salpeterige Säure bildet. Die so eben beschriebenen Zinkkohlen- und Zinkplatinletten übertreffen die älteren Ketten nicht bloß in der Dauer, sondern auch in der Stärke ihrer Wirkungen.

Einen zwar beträchtlich schwächern, aber noch gleichmäßiger andauernden Strom, als die eben beschriebenen Ketten ihn liefern, gibt die Zink-Kupferkette, welche zuerst von Becquerel, der überhaupt als Erfinder der constanten Ketten anzuführen ist, angegeben worden ist. Nach der Einrichtung, welche diesen Ketten Daniell, nach dem sie auch gewöhnlich Daniell'sche genannt werden, gegeben hat, befindet sich, wie bei der Bunsen'schen Zinkkohlenlette, das Zink, welches hier die Form eines hohlen Cylinders hat, in verdünnter Schwefelsäure, mit welcher der poröse Thoncyylinder angefüllt ist. Statt des diesen Thoncyylinder äußerlich umgebenden Kohlencylinders wird jedoch hier ein Cylinder aus dünnem Kupferblech und statt der Salpetersäure eine Auflösung von Kupfervitriol angewendet. Fig. 168 stellt drei mit einander verbundene Daniell'sche Elemente dar. — Auch bei diesen Ketten findet keine Entwicklung von Wasserstoffgas statt; denn der durch Oxydation des Zinks von dem Sauerstoff, — mit welchem er in dem Wasser verbunden war, — getrennte Wasserstoff wirkt reducirend auf das in der Kupfervitriollösung aufgelöste Kupferoxyd, vereinigt sich mit

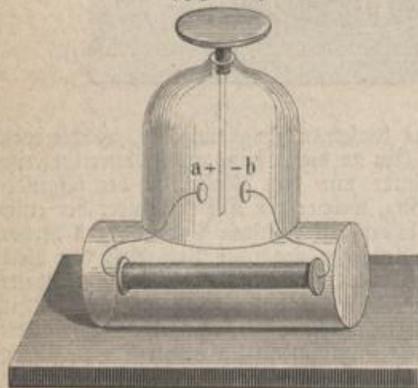
(Fig. 168.)



dem Sauerstoff desselben wieder zu Wasser, wodurch metallisches Kupfer ausgeschieden wird, welches sich an dem Cylinder aus Kupferblech absetzt und denselben verdickt, so daß auch bei diesen Ketten das negative Metall, Kupfer, mit der Flüssigkeit in unmittelbarer und durch keine Wasserstoffgasschicht unterbrochener Berührung bleibt.

Eine geringere Wichtigkeit besitzen die so genannten trockenen oder Zamboni'schen Säulen. Man erhält eine solche sehr einfach, wenn man Bogen von unächtem Silberpapier (Zinn) mit Bogen von unächtem Goldpapier (Kupfer) an den unbedruckten Seiten zusammenleimt, dieselben hierauf in Scheiben, etwa von der Größe eines Thalers, zerschneidet und 1000 bis 2000 dieser Scheiben so über einander schichtet, daß immer die Zinn- und die Kupferseite sich berühren. Das aus der Luft Feuchtigkeit einsaugende Papier vertritt die Stelle des flüssigen Leiters. Die Säulen zeigen fast nur mechanische Wirkungen. Die physiologischen, chemischen Wirkungen u. s. w. sind entweder äußerst schwach oder ganz unmerklich. Bohnenberger hat diese Säule zur Construction eines äußerst empfindlichen Electroscoops benutzt, welches sich vorzüglich zur sicheren Anstellung des Volta'schen Fundamentalversuchs eignet. Nach der von Fechner vorgeschlagenen Vereinfachung befindet sich eine Zamboni'sche

(Fig. 169.)



Säule (Fig. 169), welche in eine Glasröhre eingeschlossen ist, in horizontaler Lage unter einer gläsernen Glocke, welche dazu dient, den Luftzug abzuhalten. Von den Polen der Säule gehen zwei Drähte, a und b, aus, welche sich in zwei einander gegenüberstehende Metallplatten endigen. Zwischen diesen hängt an einem die Glasglocke durchbohrenden Metallstäbchen, welches oben eine metallene Platte trägt, ein schmales Goldblättchen in der Mitte herab, welches, da es von beiden Polplatten ziemlich gleich stark angezogen wird, in Ruhe bleibt. So wie man aber der oberen Metallplatte einen auch nur schwach elektrisirten Körper nähert oder mit derselben in Berührung bringt, so wird das Blättchen, auf welches bis dahin beide Pole gleich

stark anziehend wirkten, von dem einen abgestoßen und von dem andern angezogen und zeigt durch seinen Ausschlag die Electricität des zu prüfenden Körpers an.

§. 143. Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes.

Nachdem wir im Vorhergehenden die gebräuchlichsten Einrichtungen der galvanischen, einfachen oder zusammengesetzten Kette kennen gelernt haben, wenden wir uns nun zu den höchst mannigfaltigen Wirkungen dieses wichtigen Apparates. Wir theilen diese in physiologische Wirkungen, in Erregung von Licht und Wärme, in chemische und in magnetische Wirkungen ein. Wir beginnen mit den physiologischen Wirkungen, welche ja auch zuerst zur Entdeckung dieser Art von Electricitätserregung geführt haben.

Wenn man die Pole (oder Poldrähte) einer aus zahlreichen Plattenpaaren bestehenden Volta'schen Säule mit den angefeuchteten Fingern berührt, so empfindet man eine Erschütterung; bleibt man in fester Verbindung mit den Polen, so fühlt man nur an etwa verwundeten Stellen einen stechenden Schmerz; sonst hört bei schwachen Säulen alle Empfindung auf, bei stärkeren stellt sich ein brennendes Gefühl ein. Die Erschütterung kehrt wieder, wenn man die Säule öffnet. (Sie wird stärker empfunden, wenn die Poldrähte sich in größere Metallstücke enden, welche man mit den Händen ansaßt, oder wenn man die Poldrähte in zwei Gefäße mit gesäuertem Wasser leitet und hierin die Hände taucht. Diese Verstärkung beruht darauf, daß die Haut ein schlechter Leiter ist und die Vermehrung der Berührungspunkte dem electrischen Strome den Uebergang in den menschlichen Körper erleichtert.)

Bringt man den einen Poldraht einer einfachen oder aus wenigen Elementen bestehenden Kette — bei zahlreichen Elementen würde die Wirkung zu heftig sein — in die Nähe des Auges, indem man mit demselben die Stirn oder Wange berührt, während man den anderen Poldraht mit einem anderen Theile des Körpers in Berührung bringt, z. B. mit der Hand ansaßt, so nimmt man beim Schließen und eben so beim Oeffnen der Kette einen Lichtschein wahr.

Bringt man die Zunge mit dem positiven oder negativen Poldrahte in Berührung, so hat man in dem einen Falle einen sauern, im andern einen eigenthümlichen Geschmack, welcher gewöhnlich als laugenartig bezeichnet wird.

Führt man den einen Poldraht einer aus zahlreichen Elementen bestehenden Batterie ins Ohr, während man den andern mit dem angefeuchteten Finger berührt, so hört man ein eigenthümliches Geräusch.

Auf den Geruchssinn scheint der galvanische Strom keine besondere Wirkung auszuüben.

Man kann die Einwirkung des galvanischen Stromes auf den Gesicht- und Geschmackssinn am einfachsten beobachten, wenn man das eine Ende eines silbernen Löffels mit dem innern Augenwinkel oder mit dem angefeuchteten Augenlide und das eine Ende eines Streifens Zinblech mit der Zunge und dann beide Metalle mit einander in Berührung bringt, oder wenn man das Zink an das Auge und das Silber an die Zunge hält.

Die physiologischen Wirkungen einer galvanischen Batterie werden durch rasch auf einander folgendes Oeffnen und Schließen der Kette sehr gesteigert. Für diesen Zweck dient das von Neeff (1835) angegebene Vlihrad. Dieses besteht aus einer kupfernen Scheibe, welche am Rande rechteckige, mit Ebenholz ausgelegte Einschnitte hat und um eine metallne, mit dem einen Pole der Batterie zu verbindende Ase sich rasch herum drehen läßt. Bei der Umdrehung der Scheibe kommt ein mit dem andern Pole in Verbindung stehender Kupferdraht bald mit dem Holze, bald mit dem Metalle in Berührung. Schaltet man nun in diese Kette an irgend einer Stelle den menschlichen Körper ein, so können durch rasches Umdrehen der Scheibe auch bei einer nur aus wenigen Elementen bestehenden Batterie, welche für sich nur schwache physiologische Wirkungen gibt, die Erschütterungen bis zum Unerträglichen gesteigert werden.

Dasselbe kann auch, jedoch in unvollkommnerem Maße, durch eine Holzseile erreicht werden, welche man mit dem einen Poldraht verbindet, während man mit dem andern Poldrahte rasch über die Seile hin und her fährt.

§. 146. Galvanische Licht- und Wärme-Erscheinungen.

Wenn man die Poldrähte einer galvanischen Batterie mit einander in Berührung bringt, so erscheint ein heller Funken; derselbe zeigt sich eben so beim Oeffnen der Kette. (Der Funken ist besonders lebhaft, wenn die sich berührenden Enden der Drähte amalgamirt sind, oder wenn man den einen Poldraht in Quecksilber getaucht hat und dann auch den anderen Poldraht mit der Oberfläche dieses Metalles in Berührung bringt.)

Ein ungemein lebhaftes Licht, welches die Augen nicht zu ertragen vermögen, erhält man, wenn man den Strom einer kräftigen Batterie zwischen zwei einander genäherten Kohlenspitzen übergehen läßt*).

Läßt man den Strom einer wirksamen Kette durch einen dünnen Draht gehen, so erhitzt sich derselbe. Diese Erhitzung kann sich so weit steigern, daß der Draht glühend oder geschmolzen wird. (Der Versuch gelingt um so leichter, je kürzer und dünner der Draht ist.) — Dünnes Goldblatt, welches man zwischen die Poldrähte bringt, verflüchtigt sich, indem zugleich lebhaft Funken von grünlicher Farbe sich zeigen.

Man benutzte die Erhitzung dünner Drähte durch einen electricischen Strom beim Sprengen von Felsen, um das hierzu dienende Pulver auf gefahrlose Weise aus weiter Ferne zu entzünden. In der hierzu bestimmten Patrone ist nämlich ein feiner Draht angebracht und an seinen Enden mit zwei stärkeren, hinreichend langen Drähten verbunden. Werden diese nun mit den Polen einer Volta'schen Batterie in Verbindung gebracht, so wird beim Schließen der Kette der feine Draht glühend und entzündet das Pulver. Eben so macht man hiervon Gebrauch, um vermittelst Drähten, welche mit einem isolirenden Ueberzuge (Gutta-Percha) bekleidet sind, Pulver unter Wasser zu entzünden.

Der electricische Funke zeigt sich selbst bei kräftigen Batterien erst dann, wenn die Poldrähte einander bis auf einen äußerst kleinen Abstand genähert werden. Es ist dies eine Folge der geringen Spannung der Electricität an den Polen der Batterie. Jacobi fand durch genaue Messung, daß bei einer Batterie von 12 Zink-Platinpaaren die Pole bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne daß sich ein Funke zeigte. Cassiot setzte eine Batterie aus 3250 sorgfältig isolirten und mit Regenwasser gefüllten Bechern, von denen jeder einen Zink- und einen Kupfercylinder enthielt, zusammen; im geöffneten Zustande zeigten die Pole derselben eine bedeutende Spannung; bei einer Annäherung der Pole auf 0,02 Zoll sprangen zwischen denselben während fünf Wochen beständig Funken über.

Nachdem die Poldrähte einmal in Berührung gebracht worden sind, findet die Entladung noch statt, wenn man dieselben allmählich etwas von einander entfernt. Es ist dies eine Folge der in der Berührung erhitzten, oxydirten und nach der Trennung von dem einen zum andern Pol übergeführten feinen Metalltheilchen. Der Lichtbogen, welcher auf diese Art erzeugt wird, ist daher bei leicht oxydirbaren Metallen größer als bei Platin oder Silber, und er ist zwischen Kohlenspitzen am größten wegen der geringen Cohäsion ihrer Theile. Auch bei der Erzeugung des Lichtbogens zwischen Kohlenspitzen werden dieselben einander erst bis zur Berührung genähert und dann bis zu einem angemessenen Abstände von einander entfernt. — Obschon der galvanische Lichtbogen das Drummond'sche Kalklicht an Intensität übertrifft, so stehen der allgemeinen Anwendung desselben die Kostspieligkeit und der Umstand entgegen, daß ein so intensives, auf einen Punkt concentrirtes Licht sich weniger zur Erleuchtung größerer Räume als ein auf mehreren Stellen vertheiltes, mäßiges Licht eignet. Dagegen kann dasselbe mit Vortheil benutzt werden, wenn es darauf ankommt, wie bei manchen Theatereffecten, ein sehr starkes Licht auf kurze Zeit zu erzeugen.

Sehr auffallend und noch nicht hinreichend erklärt ist die Erscheinung, daß, wenn man den Lichtbogen durch eine kräftige Batterie zwischen Metalldrähten erzeugt, der positive Poldraht sehr bald glühend und zuletzt geschmolzen wird, während der negative verhältnißmäßig kalt bleibt.

Der galvanische Strom bietet auch das Mittel dar, die höchsten Hitzegrade zu erzeugen. Indem Desprez in Frankreich zwei Batterien combinirte, von denen die eine aus 600 Bunsen'schen Elementen bestand, gelang es ihm, Kohle zu schmelzen und selbst zu verflüchtigen.

*) Man kann sich hierbei vorthellhaft des unten in §. 149 abgebildeten Apparates bedienen, indem man die Kohlenstücke mit Kupferdrähten umwickelt, deren Enden man zwischen den Klemmen f und g befestigt.

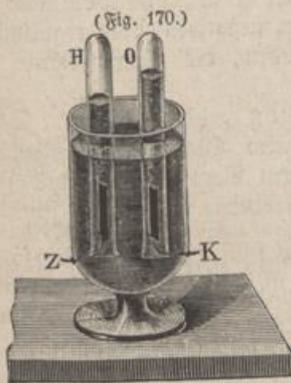
Nach Joule und Lenz ist die durch den electricen Strom in einem Drahte entwickelte Wärmemenge dem Quadrate der Stromstärke und dem Leitungswiderstande des Drahtes direct proportional. — Wenn man eine Kette aus abwechselnden, zusammengelöteten, gleich dünnen und gleich schmalen Platin- und Silberstreifen herstellt und durch dieselbe einen electricen Strom leitet, so er- glühen schon bei mäßiger Stärke des Stromes die Platinstreifen, während die Silber- streifen dunkel bleiben, indem Platin (S. unten §. 153, Anm.) 9mal schlechter als Silber leitet und sich daher zufolge des angeführten Gesetzes stärker als Silber erwärmt.

Die zuerst von Grove gemachte Beobachtung, daß ein durch den electricen Strom glühend gemachter Platindraht aufhört zu leuchten, wenn er in eine Atmosphäre von Wasserstoffgas gebracht wird, findet nach Clausius darin ihre Erklärung, daß erhitzte Körper in verschiedenen Gasen mit ungleicher Schnelligkeit, von allen Gasen am raschesten im Wasserstoffgase, erkalten.

Zur Entzündung des Pulvers bei Minen können auch die inducirten Ströme ge- braucht werden. In neuerer Zeit hat man für diesen Zweck auch die Maschinen- Electricität mit Vortheil benutzt.

§. 147. Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.

Der galvanische Strom bietet eins der kräftigsten Mittel dar, die chemisch zusammengesetzten Körper in ihre Bestandtheile zu zerlegen. Leitet man von jedem Pole einen Platindraht in Wasser, so wird dasselbe in seine Bestand- theile zerlegt, und zwar entwickelt sich am positiven Poldrahte das Sauerstoffgas, am negativen das Wasserstoffgas. Fängt man diese Gase besonders auf, indem man durch den Boden eines mit Wasser



gefüllten Gefäßes (Fig. 170) zwei Drähte K und Z hindurchführt, über jeden ein eben- falls mit Wasser gefülltes Gläschen stellt und die Drähte mit den Polen der Batterie ver- bindet, so erhält man in dem Gläschen H, in welches der negative Poldraht Z führt, dem Volumen nach doppelt soviel Wasserstoff, als in dem anderen Gläschen O, in welches der positive Poldraht K führt, Sauerstoff. (Die Menge der erhaltenen Gase ist unter übrigens gleichen Umständen um so größer, je mehr man beide Drähte einander nähert, und je größer die Berührungsfläche ist, welche sie dem Wasser darbieten, weil dieses weit

weniger gut als die Metalle die Electricität fortleitet. Man wendet da- her, wenn es sich darum handelt, möglichst viel Gas zu erhalten, statt der Platin- drähte Platten von Platinblech an, welche man an die Poldrähte anlötet. Die Gasmenge wird ferner vermehrt, wenn man dem zu zerlegenden Wasser etwas Säure zusetzt, indem hierdurch die Leitungsfähigkeit des Wassers ver- mehrt wird.) — Der Sauerstoff verbreitet, wenn er in größerer Menge entwickelt wird, einen Geruch nach Ozon. (Vergl. oben §. 85 u. §. 122.)

Besteht der Theil des positiven Poldrahtes, welcher in's Wasser taucht, aus einem unedlen Metalle, so erhält man kein freies Sauerstoffgas, sondern dasselbe verbindet sich mit dem unedlen Metalle, welches oxydirt wird. Durch den electricen Strom können also nicht bloß zusammengesetzte Körper zerlegt, sondern auch chemische Verbindungen hervorgebracht werden.

So wie das Wasser, so lassen sich auch andere Dryde durch den galva- nischen Strom zerlegen; hierbei sammelt sich der Sauerstoff allemal am positiven, das Radical am negativen Pole an.

W=i²R

Im Jahre 1807 gelang es Davy zuerst, die Alkalien und alkalischen Erden, welche bisher allen Zerlegungsversuchen auf chemischem Wege widerstanden hatten, in ihre Bestandtheile zu zerlegen. Wenn man z. B. ein Stück angefeuchtetes Kali auf ein Silber- oder Platinblech legt, welches mit dem positiven Pole einer kräftigen Volta'schen Säule verbunden ist, und das Kali mit dem Silber- oder Platindrahte des negativen Poles berührt, so erscheinen sehr bald um den Draht kleine metallisch glänzende Kügelchen des Kalium-Metalles, welche sich jedoch in kurzer Zeit an der Luft wieder oxydiren. Taucht man dieselben in Wasser, so entsteht eine lebhafte Verbrennung, indem das Kalium sich mit dem Sauerstoff des Wassers verbindet. — (Wegen dieser großen Verwandtschaft des Kaliums zum Sauerstoff kann man dasselbe nur unter Steinöl, welches aus Kohlenstoff und Wasserstoff besteht, aufbewahren.)

So wie die Sauerstoffbedingungen lassen sich auch andere zusammengesetzte Körper durch den electrischen Strom zerlegen; immer scheidet sich der eine Bestandtheil am positiven, der andere am negativen Pole aus; so tritt z. B. bei der Zerlegung eines Salzes die Säure am positiven, die Base am negativen Pole auf. Besteht die letztere aus einem leicht reducirbaren Metalle, so erhält man an dem negativen Pole nicht das Oxyd desselben, sondern das reine Metall, während der Sauerstoff sich am positiven Pole entbindet. Leitet man z. B. die Poldrähte der Batterie in eine Kupfervitriollösung, so wird am negativen Pole regulinisches Kupfer und am positiven Sauerstoff ausgeschieden, die Schwefelsäure aber bleibt in der Flüssigkeit aufgelöst.

Auch die sogenannten Metallvegetationen gehören hieher. Taucht man in eine verdünnte Auflösung von essigsaurem Bleioxyd, Bleizucker^{*)}, einen Zinkstab, so scheidet sich wegen der größeren Verwandtschaft des Zinks zum Sauerstoffe metallisches Blei aus. Das reducirte Blei, das Zink und die Flüssigkeit bilden nun eine galvanische Kette, und da das Blei in der Berührung mit Zink negativ, das Zink aber positiv electrisch wird, so findet die fortschreitende Reduction des Bleies nicht an dem Zink, sondern an den Spitzen des schon reducirten Bleies statt, an welches sich immer neue Schüppchen metallischen Bleies ansetzen und so den Bleibaum vergrößern.

Eben so wird aus einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd, wenn man in dieselbe einige Tropfen Quecksilber bringt, das Silber gefällt (Silber- oder Dianenbaum). Taucht man in eine (angesäuerte) Kupfervitriollösung ein blankes Stück Eisen, z. B. eine Messerklinge, so überzieht sich dasselbe mit einer Kupferschicht u. dgl. m. Im allgemeinen werden überhaupt die mehr negativen Metalle durch die mehr positiven aus ihren Auflösungen ausgeschieden.

Chemisch reines (oder amalgamirtes) Zink wird von verdünnten Säuren gar nicht oder nur schwach angegriffen. Bringt man dasselbe aber mit einem electronegativen Metalle, Kupfer, Silber, Gold u. dgl. in Berührung, so oxydirt sich das Zink, während sich an dem negativen Metalle ein Strom von Wasserstoffgas entwickelt. — Taucht man Kupfer für sich allein in Salzwasser, so oxydirt sich dasselbe; verbindet man dasselbe aber mit einem Stück Zink, so oxydirt sich dieses, während das Kupfer unverändert bleibt.

^{*)} Eine angemessene Mischung ist 1 Quentchen Bleizucker, 24 Loth Wasser und $\frac{1}{2}$ Quentchen concentrirter Essig.

Ueberhaupt kann man Metalle gegen die Oxydation dadurch schützen, daß man sie mit Metallen verbindet, durch welche sie kräftig negativ electrisch erregt werden. So sichert man stählerne Nadeln gegen den Rost durch Beimengung kleiner Stückchen Zink; die kupfernen Beschläge der Seeschiffe lassen sich nach Davy's Vorschlag durch an denselben befestigte Streifen von Zinn, Eisen oder Zink gegen den Rost schützen. — Eisen wird durch einen dünnen Ueberzug von Zink gegen den Rost geschützt. (Man nennt das verzinkte Eisen, weil seine größere Dauerhaftigkeit auf einem galvanischen Proceß beruht, häufig galvanisirtes Eisen.)

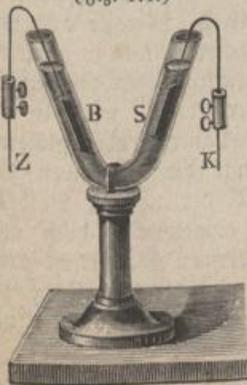
Andererseits rostet Eisen, welches mit Kupfer in Berührung ist, leicht, wenn es naß wird. — Dachbedeckungen von Zink leiden sehr vom Roste, wenn die einzelnen Platten durch Nägel von Kupfer oder Eisen mit einander verbunden sind; man wendet daher besser Nägel von Zink an.

Um auf dem oben angegebenen Wege Kalium darzustellen, bedarf man sehr kräftiger Batterien. Man kann dasselbe jedoch auch durch schwächere Batterien erhalten, wenn man in das auf der Platinplatte ruhende Stück Kali eine kleine Höhlung macht und in dieselbe etwas Quecksilber bringt, in welches man den negativen Poldrabt eintaucht. Das ausgeschiedene Kalium verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem Amalgam.

Wenn man auf eine blankte Silberplatte einige Tropfen einer Auflösung von essigsaurem Kupferoxyd oder Bleioxyd bringt und in dieselbe ein zugespitztes Zinkstäbchen so eintaucht, daß die Spitze das Silber berührt, so schlägt sich das Kupfer oder Blei in farbigen Ringen auf der Silberplatte nieder. Man erhält diese Ringe, welche die Nobilitischen Farbenringe genannt werden, noch schöner, wenn man die Silberplatte mit dem negativen Pole einer 3-gliedrigen galvanischen Kette verbindet und in die Flüssigkeit den positiven Poldrabt so eintaucht, daß er das Silber nicht berührt. — Man bringt diese farbigen Ringe häufig zur Verschönerung auf kleinen messingenen Geräthschaften, Tischglocken, Fideibusbechern u. dgl. m. an, indem man dieselben in eine Auflösung von Bleioxyd in Aegkallilauge, welche sich in einem bleiernen oder messingenen Gefäße befindet, taucht und die Geräthschaft mit dem negativen Pole, das metallene Gefäß mit dem positiven Pole einer etwa dreigliedrigen Daniell'schen Kette verbindet.

Wenn man in eine concentrirte Auflösung von Zinnchlorür, welcher man etwas Salzsäure zugesetzt hat, einen blanken Zinnstab stellt und auf die Auflösung vorsichtig Wasser stießen läßt, so beginnt sogleich die Reduction von metallischem Zinn, welches in schönen glänzenden Krystallen anschießt. Der Versuch fällt noch glänzender aus, wenn man in die Auflösung zwei Platindrähte taucht und dieselben mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet. Es findet dann sofort die Ausscheidung des Zinns in schönen großen Krystallblättchen an dem Platindrabte statt, welcher mit dem negativen Pole der Batterie verbunden ist. Vertauscht man die Poldrähte, so verschwinden diese Metallblättchen wieder rasch, um bald darauf an dem andern Platindrabte, welcher jetzt mit dem negativen Pole in Verbindung steht, zu erscheinen.

(Fig. 171.)



Die Zerlegung der Salze der Alkalien durch den galvanischen Strom, das Auftreten der Säure am positiven, der Base am negativen Pole, läßt sich in sehr anschaulicher Weise zeigen, wenn man eine U-förmig gebogene Röhre BS (Fig. 171) z. B. mit einer Auflösung von schwefelsaurem Natron (Glaubersalz) füllt, welche man durch einen Auszug von Weilsenblättern oder Rothkohl blau gefärbt hat. Taucht man in die beiden Schenkel dieser Röhre Platinbleche, welche man mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet, so färbt sich die Flüssigkeit in dem Schenkel S, welcher mit dem positiven Poldrabte K in Verbindung steht, durch die sich hier sammelnde Säure roth, in dem andern Schenkel B aber durch die hier auftretende Base grün. Vertauscht man die Poldrähte, so stellt sich zunächst die blaue Farbe der Flüssigkeit wieder her; bald aber tritt in dem Schenkel, welche vorher roth gefärbt war, die grüne Färbung, in dem andern die rothe Färbung auf.

Bringt man in eine gesättigte Auflösung von Chlorammonium (salzsaures Ammoniak oder Salmiak), auf welche man etwas Terpentinöl gegossen hat, zwei Platinbleche und verbindet dieselben mit den Polen einer kräftigen Batterie, (einer aus 6—8 Elementen bestehenden Bunsen'schen Kette), so entwickelt sich am negativen Pole Wasserstoff; am positiven aber bildet sich eine flüssige Verbindung von Chlor und Stickstoff in Form von kleinen Tropfen, welche, (wenn das Platinblech des positiven Poles etwas schief geneigt ist), in der Flüssigkeit emporsteigen und bei der Berührung mit dem Terpentinöl mit Lebhaftigkeit explodiren.

Wie Faraday zuerst gezeigt hat, werden durch den nämlichen galvanischen Strom oder durch Ströme von gleicher Stärke in gleichen Zeiten immer gleich viele Atome zusammengesetzter Körper, durch welche der Strom hindurchgeht, zerlegt, wie verschiedenartig diese Körper auch sein mögen. Wenn man z. B. einen electrischen Strom durch eine mit Wasser und durch eine andere mit geschmolzenem Chlor Silber gefüllte Zelle leitet, so werden in der ersten Zelle eben so viele Atome Wasser als in der andern Chlor Silber zerlegt.

Das angeführte electrolytische Gesetz gilt zunächst für binäre Verbindungen; für Verbindungen anderer Art erleidet dasselbe verschiedene Modificationen, auf welche wir jedoch hier nicht näher eingehen können. — Vergl. Magnus in Pogg. Ann. Bd. 102 u. 104.

Bei der Zerlegung des Wassers bemerkt man nur an den Poldrähten oder Platten selbst Gasentwicklung, in der übrigen Wassermasse wird, auch wenn die Drähte oder Platten weit von einander abstehen, kein Gasstrom wahrgenommen; man kann nun fragen: wie gelangt der Sauerstoff an den positiven, der Wasserstoff an den negativen Pol, ohne daß eine Gasströmung von einem Pole zum andern sichtbar wird? — Crothuß hat von dieser merkwürdigen Erscheinung nach der electrochemischen Theorie folgende Erklärung gegeben: In den den positiven Pol zunächst berührenden Wassertheilchen wird der electronegative Sauerstoff angezogen und der electropositive Wasserstoff abgestoßen, welcher sich sogleich mit dem electronegativen Sauerstoff der nächstfolgenden Wassertheilchen vereinigt, wodurch wieder Wasserstoff entbunden wird, welcher sich mit dem Sauerstoff der folgenden Wassertheilchen verbindet, und so fort bis zu dem negativen Pole hin, welcher den entbundenen Wasserstoff anzieht.

Die Menge des zwischen den Polplatten zerlegten Wassers kann zugleich als Maß für die Menge der in Bewegung gesetzten Electricität benutzt werden. (Voltameter.)

Endlich führen wir noch an, daß auch durch Maschinenelectricität sich schwache chemische Wirkungen hervorbringen lassen, insbesondere das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt werden kann. Man taucht zu diesem Zwecke zwei feine Platindrähte, welche man in enge gläserne Röhren, Thermometeröhren, eingeschlossen hat, — ohne diese Vorsicht würden die sich nur in geringer Menge entbindenden Gase sofort von der Flüssigkeit absorbirt werden, — in das zu zerlegende Wasser und verbindet den einen Draht mit dem Conductor, den andern mit dem Reibzeuge einer wirksamen Electrifirmaschine. — Die deutlichsten Resultate erhält man mit der oben in S. 121 beschriebenen Hydroelectrifirmaschine.

§. 148. Galvanische Vergoldung und Galvanoplastik.

Diese nützlichen Anwendungen der galvanischen Electricität beruhen im wesentlichen auf der Eigenschaft des electrischen Stromes, Metalle aus ihren Auflösungen, durch welche derselbe geführt wird, am negativen Pole zu reduciren.

Die galvanische Vergoldung besteht im wesentlichen in Folgendem: Der zu vergoldende Gegenstand, z. B. ein silberner Löffel, wird in eine verdünnte Goldauflösung^{*)}, welche sich in einem porzellanenen oder gläsernen Gefäße befindet, gelegt, durch einen Platindraht mit dem negativen Pole einer constanten galvanischen Batterie verbunden und der positive Poldraht ebenfalls in die Flüssigkeit an irgend einer Stelle eingetaucht, doch ohne den Löffel zu berühren, welcher sich bald mit einer dünnen Goldschicht überzieht. — Verbindet man mit dem in die Flüssigkeit eingetauchten Ende des positiven Golddrahtes ein Stück feinen Goldes (einen Ducaten), so wird von

^{*)} Goldchlorid mit Cyankalium in Wasser.

diesem so viel aufgelöst, als am negativen Pole reducirt wird, so daß also der Goldgehalt der Flüssigkeit unverändert bleibt.

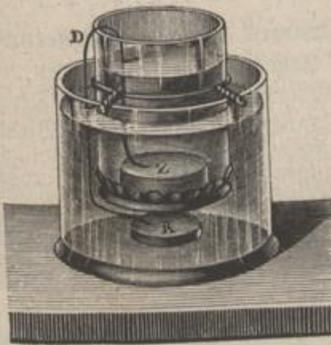
In ähnlicher Art kann man auch Metalle versilbern, verkupfern u. dgl. m. Man sieht leicht ein, daß man für diese Zwecke keines Stromes von großer Stärke, aber von möglichst constanter Wirkung bedarf.

Unter der Galvanoplastik versteht man die Kunst, Nachbildungen von Münzen, gravirten Kupferplatten, Holzschnitten u. dgl. auf galvanischem Wege zu erhalten. Man verfertigt sich zunächst einen Abdruck des nachzubildenden Gegenstandes in Stearin oder in Gutta-Percha, welche man, um dieselben leitend zu machen, mit Graphit überzieht; diese Form befestigt man an dem negativen Poldrahte einer schwachen, aber constanten galvanischen Batterie und taucht dieselbe in eine Auflösung von Kupfervitriol, in welcher der Form gegenüber, doch ohne dieselbe zu berühren, eine mit dem positiven Poldrahte verbundene Kupferplatte eingetaucht ist. Die Form bekleidet sich nun sehr bald mit einem Ueberzuge von reinem Kupfer, welcher nach wenigen Tagen eine solche Dicke erreicht, daß er sich ablösen läßt und eine sehr treue Nachbildung des Originals gewährt. — Das aus der Flüssigkeit niedergeschlagene Kupfer wird durch Auflösung von der mit dem positiven Pole verbundenen Kupferplatte wieder ersetzt.

Die ersten galvanischen Versuche sind fast gleichzeitig um's Jahr 1838 von Jacobi in Petersburg und Spencer in England angestellt worden.

Am einfachsten bedient man sich zu galvanoplastischen Nachbildungen kleiner Gegenstände, wie Münzen, Medaillen u. dgl., einer Bequerel'schen Kette. In einem gläsernen Gefäße, welches die concentrirte und durch Leinwand gefeibete Auflösung von Kupfervitriol enthält, befindet sich ein beiderseits offener gläserner Cylinder, (ein Lampencylinder oder ein Zuckerglas, welchem man den Boden abgesprengt hat). Derselbe ist mit einem dicht anschließenden Drahte umwunden, welcher in drei Arme ausläuft, die auf dem äußeren Glase ruhen und den inneren Cylinder tragen. Dieser ist an

(Fig. 172.)



seinem unteren Ende mit dünner Thierblase umwunden, welche die Stelle des porösen Thoncyllinders vertritt, und mit sehr verdünnter Schwefelsäure — (1 Theil concentrirter Schwefelsäure auf 50 Theile Wasser) — angefüllt. Ein Kupferdraht D ist so gebogen, wie Fig. 172 es zeigt. Dasjenige Ende desselben, welches sich in der Säure befindet, ist mit einer rundlichen Platte Z von amalgamirtem*) Zink, welche nur um einen geringen Abstand von der thierischen Blase entfernt ist, fest verbunden, (am besten an dieselbe angelötet); an dem anderen Ende, welches sich in der Kupfervitriollösung befindet, ist die Form K befestigt. Man erhält diese am leichtesten, indem man die abzubildende und sorgfältig gereinigte Münze mit einem Rande von steifem Papiere umgibt und mit einer Mischung von Stearin und Wachs übergießt, welche man zu gleichen Theilen in einem Löffel geschmolzen und mit etwas Schlemmkreide oder fein gepulvertem Bleiweiß vermengt hat; oder man drückt die Münze mittelst einer Presse in Gutta-Percha ab, welche man vorher in heißem Wasser erweicht und zu einer gleichförmigen Masse sorgfältig durchgeknetet hat. Den so erhaltenen Abdruck überzieht man nun noch mit Hülfe eines Pinsels, wie man ihn beim Tuscheln gebraucht, mit einem Ueberzuge von fein geschlemmtem Graphit. Den Draht D befestigt man an die Form K so, daß er mit diesem Ueberzuge in unmittelbare Berührung kommt. Im übrigen überzieht man diesen Draht, so weit er in die Auflösung von Kupfervitriol taucht, mit Siegelack oder Wachs,

*) S. oben S. 142.

weil ohne einen solchen isolirenden Ueberzug sich an demselben ebenfalls Kupfer reduciren würde. Auch setzt man der Kupfervitriollösung noch einige Stücke ungelösten Vitriols zu, um die Flüssigkeit beständig concentrirt zu erhalten. — Der Proceß wird begünstigt, wenn man nach je 24 Stunden den innern Cylinder nebst dem Drathe D aushebt, die Säure erneuert, das Zinkstück von frischem amalgamirt und die Kupfervitriollösung umrührt, auch wenn die Kupfervitriolkrystalle aufgelöst sind, einige neue hinzufügt. Nach einigen Tagen hat die Kupferablagerung auf der Form die nöthige Dicke erreicht.

Man hat die Galvanoplastik besonders zur Vervielfältigung von gestochenen Kupferplatten und von Holzschnitten mit großem Nutzen angewendet. Man bringt die abzubildende Kupferplatte, nachdem man sie durch Einlegung derselben in eine Auflösung von Chlor Silber in Kochsalzauslösung versilbert hat, zunächst als Form in die Kupfervitriollösung, wodurch man natürlich eine Nachbildung erhält, auf welcher die Erhabenheiten der Originalplatte sich als Vertiefungen darstellen. Wendet man nun den so erhaltenen Kupferabdruck, nachdem derselbe ebenfalls versilbert worden, als Form an, so erhält man eine vollkommen treue, zum Abdruck geeignete Nachbildung der Originalplatte. — Holzschnitte werden in erweichte Gutta-Percha gepreßt; die so entstandene Form wird durch Ueberbürsten von pulverisirtem Graphit leitend und somit zur galvanischen Ablagerung geeignet gemacht*). Auch Büsten, Statuen u. dgl. werden aus Kupfer auf galvanoplastischem Wege hergestellt, indem man erst die einzelnen Theile derselben bildet und dieselben nachher verbindet.

Das einfachste Verfahren bei der galvanischen Vergoldung besteht darin, daß man eine Auflösung von einem Theile Chlorgold, 6 Theilen Cyankalium, 4 Theilen einfach kohlensaurem Kali und 6 Theilen Kochsalz in 50 Theilen Wasser in einem porzellanenen Schälchen mäßig erwärmt, den zu vergoldenden Gegenstand hineinlegt und mit einem Zinkstäbchen berührt. Die zu vergoldenden Gegenstände müssen sorgfältig gereinigt sein, wenn die Vergoldung schön ausfallen soll. Es geschieht dies, indem man dieselben erst mit Lauge, dann mit verdünnter Schwefelsäure wäscht und dann mit Weinsteinpulver überbürstet.

Zu bemerken ist, daß das Cyankalium zu den gefährlichsten Giften gehört.

Die galvanische Vergoldung hat bei zweckmäßigem und sorgfältigem Verfahren gleiche Schönheit mit der Feuervergoldung, welche dagegen durch die Anwendung und Verflüchtigung von Quecksilber für die Gesundheit der Arbeiter sehr nachtheilig ist.

Ausführlichere Belehrung über die Galvanoplastik und galvanische Vergoldung gewähren die gesammten Naturwissenschaften. 2. Aufl. Bd. 1, S. 398 u. folg.

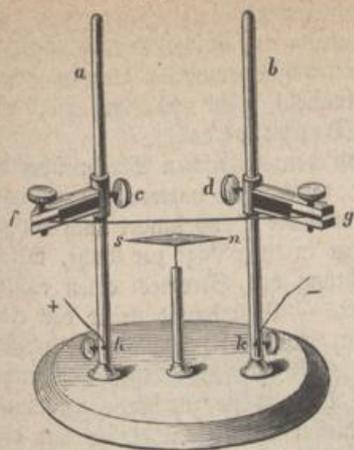
§. 149. Einwirkung des electrischen Stromes auf die Magnetnadel.

Wir haben schon oben (§. 143) auf die Aehnlichkeit einer isolirten, nicht geschlossenen Volta'schen Säule mit einem Magneten hingewiesen. Dennoch ist dieselbe in diesem Zustande auf die Magnetnadel ohne alle Wirkung. Diese Wirkung tritt erst ein, wenn die Säule geschlossen ist, und wurde zuerst von Dersted, Professor in Kopenhagen, im Jahre 1820 beobachtet. Da indeß die magnetischen Wirkungen weniger von der Anzahl, sondern fast ausschließlich von der Größe der Platten abhängen, (wenn der Schließungsdraht nicht sehr lang oder dünn ist), so genügt zur Anstellung dieser Versuche eine einfache galvanische Kette.

Um die Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel bequemer beobachten zu können, ist es zweckmäßig, dem Schließungsdrahte eine feste Stellung zu geben. Hierzu dient die in Fig. 173 abgebildete einfache Vorrichtung: Auf einem Brettchen sind zwei messingene Stäbe a und b aufgerichtet, an welchen sich die Klemmen f und g vermittelst der Schrauben c und d beliebig höher und niedriger stellen lassen. Zwischen f und g wird ein Kupferdraht eingeklemmt und bei h und k werden die Poldrähte einer

*) Auch die diesem Buche beigelegten Figuren sind mit Benutzung der galvanoplastischen Kupferplatten abgedruckt worden, indem diese weit mehr Abdrücke als die Holzschnitte selbst auszuhalten vermögen.

(Fig. 173.)



galvanischen Kette oder Batterie durch Klemmschrauben mit den metallenen Stäben a und b verbunden. Ist h mit dem positiven, k mit dem negativen Pole in Verbindung gebracht, so durchläuft der electriche Strom die metallenen Leiter des Apparates in der Richtung hsgdk.

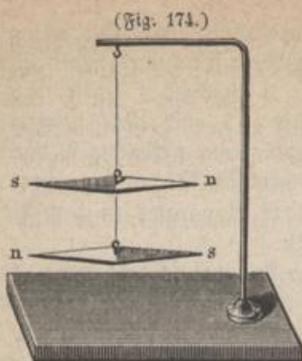
Wird der Apparat so aufgestellt, daß der Draht sg (ohngefähr) in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, (d. h. mit der Richtung der Declinationsnadel eine parallele Lage hat), und wird dann in die Nähe desselben eine Magnetnadel ns aufgestellt, so erfährt dieselbe in dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen wird, eine Ablenkung;

sie kehrt in ihre ursprüngliche Lage zurück, wenn man die Kette öffnet. Die Nadel wird seitwärts (rechts oder links) abgelenkt, wenn sich dieselbe unter oder über dem Drahte befindet. Die Ablenkung ist in dem einen Falle die entgegengesetzte von der im andern. Steht die Nadel in gleicher Höhe mit dem Drahte sg zur Seite neben demselben, so hebt sich das eine Ende derselben, das andere senkt sich, und auch hier werden entgegengesetzte Ablenkungen beobachtet, je nachdem sich die Nadel an der einen oder der andern Seite des Drahtes befindet. Vertauscht man die mit den Klemmschrauben h und k verbundenen Poldrähte und gibt also dem electriche Strom in dem Drahte sg die entgegengesetzte Richtung, so zeigen sich jetzt in allen Fällen die entgegengesetzten Ablenkungen von denen, welche man vorher beobachtet hat.

Wir haben bisher noch nicht genauer bestimmt, nach welcher Seite das Nord- oder Südende der Nadel in jedem einzelnen Falle abgelenkt wird. Es ergibt sich dies am bequemsten aus der folgenden von Ampère aufgestellten Regel: Man denke sich in den Schließungsbogen eine menschliche Figur eingeschaltet, so daß der positive Strom, (welcher vom Kupfer zum Zink geht), sie von den Füßen nach dem Kopfe hin durchläuft und das Gesicht der Figur gegen die Nadel hin gewendet ist, so wird das Nordende der Nadel einmal nach der linken, (das Südende nach der rechten) Hand abgelenkt.

Auch die Ablenkungen, welche die senkrechten Theile des Schließungsbogens eh und dk auf die Nadel ausüben, wenn der Nord- oder Südpol sich in der Nähe derselben befindet, erfolgen so, wie die angeführte Regel es anzeigt.

Auf eine in der Nähe eines electriche Stromes befindliche Magnetnadel wirken zu gleicher Zeit zwei Kräfte, die ablenkende Kraft des Stromes und die Kraft des Erdmagnetismus, letztere in der Richtung von Norden nach Süden. Die Nadel wird daher nur in derjenigen Richtung ruhen können, welche der Resultirenden dieser beiden Kräfte entspricht. Will man erfahren, in welche Lage die alleinige Einwirkung des Stromes die Nadel zu versetzen strebt, so muß man die Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselbe aufheben. Hierzu gelangt man, wenn man zwei Magnetnadeln (Fig. 174)



an einer Aze so mit einander fest verbindet, daß die gleichnamigen Pole entgegengesetzt liegen. Man nennt eine solche Vorrichtung, auf welche der Erdmagnetismus bei gleicher Stärke der Magnetnadeln ohne Wirkung ist, eine astatiche Doppel-nadel.

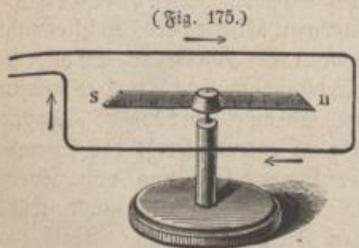
Führt man den electrischen Strom über der oberen oder unter der unteren Nadel nahe vorbei, so kommt die Doppel-nadel nach einigen Schwankungen in einer Lage zur Ruhe, welche mit der Richtung des Stromes einen rechten Winkel bildet. — Ueberhaupt strebt der electrische Strom, jede in seiner Nähe befindliche

Magnetnadel in eine solche Lage zu stellen, welche auf seiner eigenen Richtung senkrecht ist; und wenn eine einfache Nadel, nachdem sie zur Ruhe gekommen ist, mit der Richtung des Stromes einen schiefen Winkel bildet, so hat dieses, wie schon oben bemerkt, darin seinen Grund, daß dieselbe auch der Einwirkung des Erdmagnetismus unterworfen ist.

Da es kaum möglich ist, zwei Magnetnadeln von genau gleicher magnetischer Kraft herzustellen, so verhält sich auch die oben beschriebene Doppel-nadel in der Regel nicht vollkommen astaticisch; d. h. die Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselbe ist nicht gänzlich aufgehoben, sondern nur auf ein sehr geringes Maß herabgeführt. Es stellt sich daher auch die Doppel-nadel nicht vollkommen senkrecht auf die Richtung eines neben derselben vorbeigeführten galvanischen Stromes, selbst wenn dieser eine beträchtliche Stärke hat, und sie wird durch schwache Ströme nur um einen mehr oder weniger großen Winkel abgelenkt. Dies gewährt bei dem im folgenden §. zu beschreibenden Nobili'schen Galvanometer den Vortheil, daß derselbe nicht bloß dazu dienen kann, die Existenz schwacher Ströme nachzuweisen, sondern auch nach der Größe der durch dieselben bewirkten Ablenkung der Doppel-nadel die Stärke dieser Ströme zu beurtheilen.

§. 150. Schweigger's Multiplikator.

Wenn man über und unter einer Magnetnadel zwei electrische Ströme in derselben Richtung vorbeiführt, so streben dieselben, wie wir oben gesehen haben, die Nadel nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen, und die Nadel wird folglich in Ruhe bleiben, wenn beide Ströme eine gleiche Stärke und gleichen Abstand von der Nadel haben. Wenn dagegen der unter der Nadel hergehende Strom die entgegengesetzte Richtung vom oberen hat, so streben beide die Nadel in demselben Sinne zu drehen, sie verstärken sich folglich gegenseitig in ihren Wirkungen auf die Magnetnadel. Dasselbe ist der Fall, wenn man den electrischen Strom um die Magnetnadel durch einen Draht,

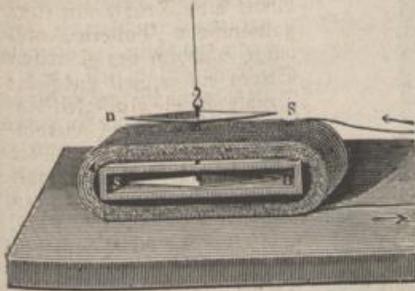


welchen man in die Form eines Rechteckes (Fig. 175) gebogen hat, herumleitet, wo, wie man aus der Ampère'schen Regel leicht ersieht, alle Seiten des Rechteckes, für welche die der Figur beigefügten Pfeile die Richtung des Stromes anzeigen, die Nadel in demselben Sinne zu drehen streben.

Auf diesem Principe beruht der von Schweigger, Professor in Halle, bald nach Dersted's Entdeckung (1820) angegebene Multiplikator oder Galvanometer, bei welchem ein Kupferdraht um die Magnetnadel in wieder-

holten Windungen herumläuft, welche, wenn die Enden dieses Drahtes mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden werden, sämmtlich die Nadel in demselben Sinne zu drehen streben und daher eine stärkere Wirkung als ein einfacher, neben der Nadel vorbeigeführter Draht hervorbringen. Da die Windungen des Multiplicatordrahtes sich nirgends berühren dürfen, so wendet man gewöhnlich Kupferdraht an, welcher mit Seide übersponnen ist, um die einzelnen dicht neben einander herlaufenden Windungen gegenseitig zu isoliren.

(Fig. 176.)



Eben so begreift man leicht, daß die Empfindlichkeit des Multiplicators noch erhöht wird, wenn man statt einer einfachen eine astatiche Doppelnadel (Fig. 176) anwendet, (wie dies zuerst von Nobili gesehen ist), und so die Einwirkung des Erdmagnetismus beseitigt. Die eine Nadel befindet sich innerhalb, die andere oberhalb der Windungen des Multiplicatordrahtes, so daß also beide Nadeln von einem den

Draht durchlaufenden Strome in gleichem Sinne sollicitirt werden.

Auch der Entladungsstrom der electrischen Flasche vermag die Multiplicatornadel abzulenken. Da jedoch die Dauer dieses Stromes nur momentan ist, so muß man den Entladungsstrom der Flasche durch Einschaltung eines schlechteren Leiters, z. B. eines angefeuchteten Bindfadens, verzögern.

Der Multiplicator eignet sich vorzüglich dazu, sehr schwache electrische Ströme nachzuweisen und kann überhaupt als das empfindlichste Electroscop angesehen werden. In der That hat auch die Benützung der Magnetenadel als Electroscop sehr bald zur Auffindung bis dahin unbekannter electrischer Ströme oder zur richtigeren Würdigung schon früher bekannter Erscheinungen geführt, wie wir in den folgenden Paragraphen ausführlicher zeigen werden. Aber auch außerdem findet das Princip des Multiplicators bei verschiedenen electromagnetischen Vorrichtungen, um die Wirkung zu verstärken, mannigfaltige Anwendung, (z. B. bei der Magnetisirung des Eisens oder Stahles durch den electrischen Strom).

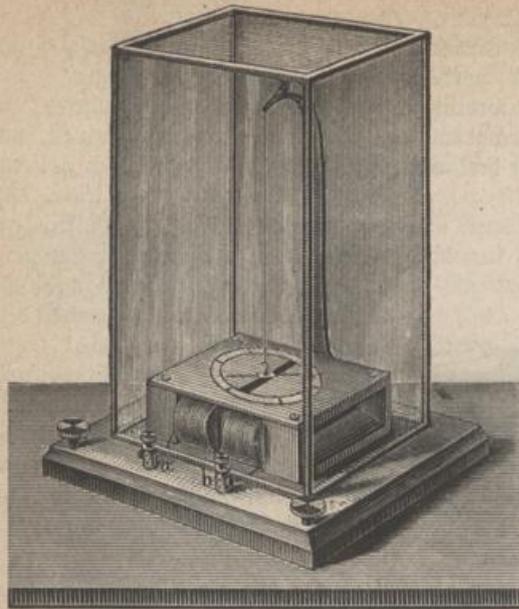
Da mit der Länge eines Drahtes, wie wir weiter unten zeigen werden, auch der Leitungswiderstand wächst, welchen derselbe dem Durchgange des galvanischen Stromes entgegenstellt, so erleidet dieser durch Einschaltung des Multiplicatordrahtes in den Schließungsbogen eine um so größere Schwächung, je länger der Draht ist. Man wird daher durch die vermehrte Zahl der Windungen des Multiplicatordrahtes die Einwirkung auf die Magnetenadel zwar verstärken, aber nicht in gleichem Verhältnisse mit der Zahl der Windungen vervielfältigen können.

Einen besonders empfindlichen Galvanometer stellt Fig. 177 dar. Eine astatiche Doppelnadel ist an einem einfachen Coconsaden aufgehängt. Die obere Magnetenadel spielt über einem eingetheilten Kreise; die untere befindet sich innerhalb der Windungen des Multiplicatordrahtes, dessen Enden mit zwei Klemmschrauben a und b verbunden sind, an denen die Poldrähte der galvanischen Kette befestigt werden.

Unter den Erscheinungen, welche man schon früher im allgemeinen kannte, über welche aber erst Versuche mit der Magnetenadel bestimmtere Aufschlüsse gegeben haben, führen wir hier die folgenden an:

Wenn zwei Metalle in eine Flüssigkeit eingetaucht oder durch eine eingeschaltete Flüssigkeit verbunden sind, welche durch den electrischen Strom zersezt wird, und man läßt durch die Metalle und die Flüssigkeit einige Zeit einen electrischen Strom hindurchgehen, so zeigen die Metalle so wie auch die Flüssigkeit, nachdem man die

(Fig. 177.)



Verbindung derselben mit der galvanischen Kette oder Batterie aufgehoben hat, eine Zeit lang die Fähigkeit, einen Strom in der entgegengesetzten Richtung hervorzurufen. Taucht man z. B. in jeden Schenkel einer U-förmigen, mit gesäuertem Wasser gefüllten Röhre einen Platindrath, verbindet diese Drähte mit einer galvanischen Batterie, hebt dann, nachdem der elektrische Strom einige Zeit durch die Drähte und die Flüssigkeit hindurchgegangen, die Verbindung der Drähte mit der Batterie auf und verbindet dieselben dagegen mit den Drähten eines Multiplikators, so erleidet die Nadel desselben eine Ablenkung und zeigt einen Strom an, welcher die entgegengesetzte Richtung des ursprünglich durch die Platindrähte und die Flüssigkeit geleiteten Stromes hat. Dieselbe etwas schwächere Wirkung

findet statt, wenn man die beiden Platindrähte aus der Flüssigkeit herausnimmt und in diese die Multiplikatordrähte unmittelbar eintaucht, oder wenn man die Platindrähte in eine der angewendeten gleiche Flüssigkeit, durch welche jedoch kein elektrischer Strom hindurchgegangen ist, eintaucht und mit den Multiplikatordrähten verbindet. Man ersieht hieraus, daß sowohl die Drähte als auch die Flüssigkeit, durch welche ein elektrischer Strom hindurchgegangen ist, das Vermögen erlangt haben, einen Strom in der entgegengesetzten Richtung hervorzurufen. Sie verlieren jedoch diese Fähigkeit nach einiger Zeit wieder. Man nennt diese Erscheinung die elektrische Polarisation und erklärt dieselbe dadurch, daß die Bestandtheile der zerlegten Flüssigkeit, z. B. Wasserstoff und Sauerstoff, theils in dieser verbreitet, theils an den Poldrähten haften bleiben, aber nach Unterbrechung des elektrischen Stromes, welcher dieselben trennte, sich wieder vereinigen, wodurch denn (nach der electrochemischen Ansicht) ein Strom in der entgegengesetzten Richtung entstehen muß.

Da die sämtlichen Glieder einer geschlossenen Kette oder Batterie, sowohl die Metalle als die Flüssigkeit zwischen je zwei Metallplatten, diese Polarisation erleiden, welche einen dem Hauptstrome entgegengesetzten Strom veranlaßt, so muß der Hauptstrom theils durch diesen, theils durch den vermehrten Leitungswiderstand, welchen derselbe an dem mit einer dünnen Schicht von Wasserstoffgas bekleideten negativen Metalle erfährt, eine Schwächung erleiden. Der elektrische Strom zeigt daher unmittelbar nach der Schließung die stärkste Wirksamkeit und nimmt in Folge der Polarisation der einzelnen Glieder rasch ab. Wird der Hauptstrom unterbrochen, so hört auch die Polarisation allmählich auf oder vermindert sich, und die Säule zeigt nun bei abermaliger Schließung wieder lebhaftere Wirkungen. Die größere Beständigkeit des Stromes bei den sogenannten constanten Ketten beruht, wie wir oben im §. 144 gezeigt haben, darauf, daß die Polarisation bei denselben möglichst vermieden wird. Ein anderer Umstand, welcher jedoch auch bei diesen eine Schwächung des Stromes bewirkt, besteht darin, daß das positive Metall, Zink, sich mit einer Schicht von mehr electronegativem Zinkoxyd bekleidet.

Die Polarisation ist auch der Grund, warum eine einfache Kette für gewöhnlich nicht ausreicht, um das Wasser, in welches man die Poldrähte taucht, zu zerlegen.

Eine galvanische Kette kann auch durch zwei Flüssigkeiten, welche chemisch auf einander wirken, und einen festen Leiter gebildet werden. Wenn man in zwei Gläschen, von denen das eine die Auflösung eines Alkali, das andere eine Säure enthält, die

Enden des Multiplicatordrahtes taucht, ferner beide Flüssigkeiten durch einen Asbeststreifen verbindet, in welchem dieselben durch die Capillaranziehung emporsteigen, so wird die Magnetnadel abgelenkt, so wie sich die Flüssigkeiten mit einander vermischen.

Grove ist es gelungen, sogar aus zwei Gasen, z. B. Sauerstoff und Wasserstoff, in Verbindung mit Platin eine galvanische Batterie zu construiren.

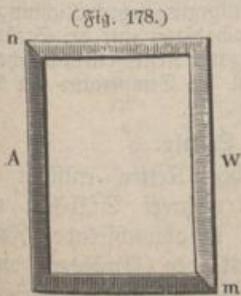
***§. 151. Thermoelectrische Ketten.**

Die electricischen Ströme, von denen in den vorhergehenden Paragraphen die Rede gewesen ist, wurden durch die Berührung verschiedenartiger fester und flüssiger Leiter, welche zugleich chemisch aufeinander einwirkten, erzeugt. Im Jahre 1821 gelangte Seebeck in Berlin durch den Multiplicator zur Entdeckung solcher electricischen Ströme, welche durch die Wärme hervorgerufen werden.

Wenn man das eine freie Ende eines kupfernen Multiplicatordrahtes stark (bis zum Rothglühen) erhitzt und dann mit dem andern Ende in Berührung bringt, so erleidet die Magnetnadel eine Ablenkung. Dasselbe ist der Fall, wenn man zwei Drähte eines andern Metalles mit den beiden Enden des Multiplicatordrahtes verbindet, den einen Draht erhitzt und hierauf an den andern kalten Draht andrückt. Die Stärke und Richtung des electricischen Stromes ist jedoch für verschiedene Metalle verschieden. Die Magnetnadel wird stärker abgelenkt, wenn man in der angegebenen Art nicht zwei Drähte von demselben, sondern von verschiedenen Metallen, z. B. einen Eisendraht und einen Platin- oder Neusilberdraht mit einander verbindet.

Besonders starke Wirkungen erhält man, wenn man zwei verschiedenartige Metalle zusammensötet, dann jedes mit einem Ende des Multiplicatordrahtes verbindet und die Lötstelle entweder erwärmt oder merklich erkaltet. Die Ablenkung ist im letzteren Falle die entgegengesetzte von der, welche bei der Erwärmung eintritt. Unter den Metallen geben den stärksten thermoelectrischen Strom in dieser Verbindung unter übrigens gleichen Umständen Antimon und Wismut. Ueberhaupt lassen sich alle Metalle in eine Reihe ordnen, in welcher ein vorhergehendes in der Verbindung mit einem folgenden einen um so kräftigeren Strom erzeugt, je weiter es von demselben in dieser Reihe absteht. Die äußersten Glieder dieser Reihe sind, wie gesagt, Antimon und Wismut.

Bei zwei Metallen, welche in der thermoelectrischen Reihe weit von einander abstehen, bedarf man, um das Entstehen eines electricischen Stromes durch Erwärmung oder Erkältung nachzuweisen, nicht einmal des Multiplicators, sondern nur einer einfachen empfindlichen Magnetnadel. Zu diesem Zwecke verbindet man z. B. zwei Stäbe aus Antimon und Wismut zu der Form eines Rechteckes, wie dies Fig. 178 darstellt und lötet sie



Royce's Physik. 10. Auflage.

an ihren Enden in m und n zusammen. Wenn man nun dieses Rechteck mit einer Seite über eine empfindliche Magnetnadel hält und eine der Lötstellen allmählich erwärmt, während die Temperatur der andern Lötstelle dieselbe bleibt, so fängt die Magnetnadel an, sich nach einer Seite zu bewegen; die Ablenkung derselben wächst, so wie die Temperatur der Lötstelle zunimmt; die Nadel kehrt dagegen allmählich zu ihrer normalen Lage zurück, wenn die Temperatur der erwähnten Lötstelle sinkt. Wenn man die nämliche Lötstelle

nicht erwärmt, sondern merklich abkühlt, so wird die Nadel ebenfalls, aber nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt. Der electriche Strom geht in der wärmeren Lötstelle vom Wismut zum Antimon, (also gegen das Alphabet von W nach A), in der kälteren vom Antimon zum Wismut, (also mit dem Alphabet von A nach W), und ist um so stärker, je größer die Temperaturdifferenz beider Lötstellen ist. Man wird also einen besonders kräftigen Strom erregen, wenn man die eine Lötstelle erwärmt und zugleich die andere erkaltet.

Auch einfache Metallstangen vermögen, an der einen oder andern Stelle erwärmt, eine Ablenkung der Magnetnadel zu bewirken. Besonders deutlich zeigen Stangen von Antimon diese Erscheinung.

Wir haben oben (§. 132) gesehen, daß verschiedene krystallisirte Mineralien, besonders der Turmalin, bei der Erwärmung entgegengesetzt electriche werden. Eben so geben auch diejenigen Metalle, welche sich durch ein krystallinisches Gefüge am meisten auszeichnen, wie Antimon und Wismut, die wirksamsten thermoelectriche Ketten. In dem Turmalin dagegen verhindert das schlechte Leitungsvermögen die Bildung eines wirksamen Stromes.

Zu den Untersuchungen über thermoelectriche Ströme muß man einen Multiplicator anwenden, bei welchem ein starker Kupferdraht nur wenige Windungen macht.

Die thermoelectriche Reihe für Metalle ist folgende: Antimon, Eisen, Zink, Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Neusilber, Wismut. An der erwärmten Lötstelle geht bei mäßiger Erwärmung der positive Strom von dem in dieser Reihe später folgenden Metalle zu dem voranstehenden. — Einige Metalle zeigen jedoch bei höheren Temperaturen ein anderes Verhalten als bei niederen. Der electriche Strom, welcher anfangs mit der Erwärmung der Lötstelle zunahm, nimmt bei fortgesetzter Erwärmung wieder ab, wird Null und geht endlich in den entgegengesetzten über. — Es liegt schon hierin ein Grund, warum die von verschiedenen Physikern über die thermoelectriche Reihe angestellten Untersuchungen nicht genau mit einander übereinstimmen. — Das thermoelectriche Verhalten eines Metalles wird überdies noch durch verschiedene andere Umstände bedingt, ob sich dasselbe im Zustande größerer oder geringerer Härte befindet, ferner bei krystallinischen Metallen, ob die Berührungsfläche den Spaltungsflächen parallel ist oder hiervon abweicht.

Noch kräftigere Wirkungen, wie Antimon und Wismut, geben, wie neuere Untersuchungen gelehrt haben, die Combinationen verschiedener Metalllegirungen und natürlicher Schwefelmetalle unter sich oder mit reinen Metallen.

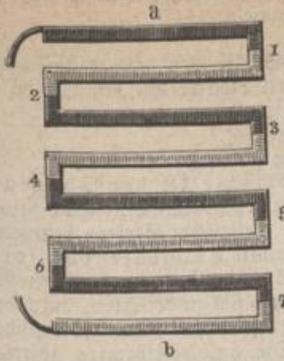
So wie wir oben gesehen haben, daß durch die Erwärmung oder Erkältung der Lötstelle zweier verschiedenartigen Metalle Ströme von entgegengesetzten Richtungen erzeugt werden, so wird umgekehrt, wie zuerst Peltier entdeckt und Quintus Seilius in Göttingen durch neuere Untersuchungen bestätigt hat, in der Lötstelle zweier verschiedenartigen Metalle, wenn durch dieselbe ein electriche Strom hindurch geleitet wird, je nach der verschiedenen Richtung dieses Stromes entweder eine Erhöhung oder eine Erniedrigung der Temperatur hervorgerufen. Das erstere ist der Fall, wenn der Strom vom Antimon zum Wismut, das letztere, wenn derselbe vom Wismut zum Antimon geht.

Diese entgegengesetzte Wirkung, welche Ströme von entgegengesetzter Richtung in der Temperatur der Lötstellen hervorbringen, zeigt sich jedoch direct nur bei Strömen von mäßiger Stärke, indem sehr kräftige Ströme auf die ganze Kette, durch welche sie hindurchgehen, erwärmend wirken und daher auch allemal die Temperatur der Lötstelle erhöhen.

*§. 132. Die thermoelectriche Säule.

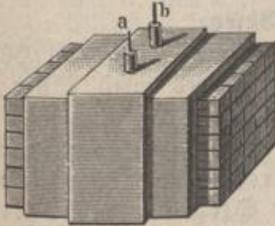
Aus der Verknüpfung mehrerer thermoelectriche Ketten entsteht die thermoelectriche Säule. Wenn man z. B. mehrere Stäbchen aus Antimon und Wismut, wie dieses Fig. 179 zeigt, in abwechselnder Folge zusammenlötet, die äußersten Glieder a und b mit den Drähten eines Multiplicators verbindet, hierauf eine oder mehrere Lötstellen erwärmt,

(Fig. 179.)



und Wismut auf die oben und in einen Bündel (Fig.

(Fig. 180.)

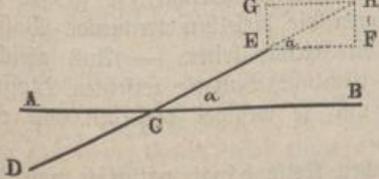


werden. — Nähert man einer der beiden Seiten des Apparates die Hand, so bewirkt die Wärme derselben schon eine merkliche Ablenkung der Multiplicatornadel. Die Ablenkung ist die entgegengesetzte, wenn man die Hand der anderen Seite nähert oder wenn man die erstere Seite irgend wie erkaltet. — Weiter unten in der Wärmelehre (§. 249 und 250) werden wir die wichtigen Entdeckungen kennen lernen, welche wir diesem Thermomultiplicator verdanken.

Eine in größerem Maßstabe ausgeführte thermoelectrische Säule vermag nicht bloß magnetische, sondern auch alle anderen Wirkungen einer schwachen Volta'schen Säule hervorzubringen.

Der Anwendung der Magnetnadel als Electroscope oder Electrometer verdanken wir nicht bloß die Entdeckung früher unbekannter electricer Ströme; sie bietet auch das geeignetste Mittel dar, um durch die Größe des Winkels, um welchen zwei electriche Ströme bei gleichem Abstände von der Magnetnadel dieselbe aus ihrer normalen Lage ablenken, die relative Stärke dieser Ströme abzumessen. Um dieses genauer zu über-

(Fig. 181.)



sehen, sei AB (Fig. 181) die Richtung des in der Ebene des magnetischen Meridians den Schließungsdraht durchlaufenden electricen Stromes und DE die Richtung, in welcher die der gleichzeitigen Einwirkung des Stromes und des Erdmagnetismus unterworfenen Magnetnadel zur Ruhe kommt; dann muß die Resultirende beider Kräfte, welche wir durch EH darstellen wollen, in dieser nämlichen Richtung liegen und die Diagonale eines Parallelogramms EFHG bilden, in welchem die mit AB parallele Seite EF die Wirkung des Erdmagnetismus und die darauf senkrechte Seite EG die Wirkung des electricen

doch so, daß zwei erwärmte Lötstellen immer durch eine solche getrennt sind, deren Temperatur dieselbe bleibt, so erleidet bei gleicher Temperaturerhöhung der erwärmten Lötstellen die Multiplicatornadel eine um so größere Ablenkung, je größer die Zahl der erwärmten Lötstellen ist. Die Stärke des entstandenen electricen Stromes ist bei der nämlichen Säule der Anzahl der in Thätigkeit gesetzten Elemente direct proportional.

Mohr hat (1834) von der thermoelectrischen Säule eine äußerst nützliche Anwendung gemacht, um das empfindlichste aller bekannten Thermometer herzustellen. Zu diesem Zwecke werden etwa 25 bis 30 feine Stäbchen aus Antimon angegebene Art an den Enden zusammengelötet (Fig. 180) so verbunden, daß alle paarigen Lötstellen an der einen, die unpaarigen an der anderen Seite liegen. Die einzelnen Stäbchen dürfen sich nur an den Lötstellen berühren und sind im übrigen durch Nichtleiter von einander getrennt. Das Ganze wird mit einer metallenen, gegen die Stäbchen gehörig isolirten Fassung umgeben, und an das erste Wismutstäbchen und an das letzte Antimonstäbchen sind Drähte angelötet, welche durch die elfenbeinernen Röhrchen a und b hindurchgehen und mit den Multiplicatordrähten verbunden

Mohr

Stromes auf die Nadel ausdrückt. Bezeichnen wir nun die erstere Kraft mit R, die letztere mit S, so ist $S : R = EG : EF = FH : EF = \tan \alpha$, also $S = R \tan \alpha$.

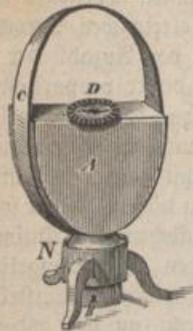
Nehmen wir nun an, ein zweiter Strom, dessen Stärke wir mit S' bezeichnen wollen, lenke bei gleichem Abstände von der Magnetnadel dieselbe um den Winkel α' von ihrer normalen Lage ab, so ist

$$S' = R \tan \alpha'$$

und folglich $S : S' = \tan \alpha : \tan \alpha'$;

d. h. die Stärke zweier Ströme ist der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Eine besondere zur Abmessung der Stärke elektrischer Ströme bestimmte Vorrichtung führt daher den Namen Tangentenboussole; dieselbe besteht aus einem kreisförmig gebogenen Kupferstreifen CC (Fig. 182), dessen Enden, ohne sich zu berühren, durch den Fuß N hindurchgehen und mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden werden. Die halbkreisförmige hölzerne Scheibe A trägt genau im Mittelpunkte des kupfernen Ringes eine kleine Boussole D. Man stellt dieses Instrument so auf, daß die Ebene des Ringes in den magnetischen Meridian fällt. — Von der eben beschriebenen etwas verschieden ist eine andere Vorrichtung, welche den Namen Sinusboussole führt. /

(Fig. 182.)



***§. 153. Das Ohm'sche Gesetz.**

Durch die Abmessung der relativen Stärke elektrischer Ströme mit Hülfe der Magnetnadel ergibt sich das folgende Gesetz, welches zuerst Ohm in Erlangen 1827 aufgestellt und nachgewiesen hat:

Die Stärke des elektrischen Stromes ist der electromotorischen Kraft der galvanischen Batterie direct und der Summe aus dem Leitungswiderstande, welchen der Strom in der Batterie und im Schließungsbogen erfährt, umgekehrt proportional.

Dieser Leitungswiderstand ist für verschiedene Stoffe sehr verschieden. Die am besten leitenden Metalle sind Silber und Kupfer. Dies ist der Grund, warum man zu den Poldrähten gewöhnlich Kupfer anwendet. Flüssigkeiten leiten weit schlechter als Metalle. Die Leitungsfähigkeit des Wassers wird durch den Zusatz einer Säure vermehrt. Bei dem nämlichen Stoffe wächst der Leitungswiderstand in gleichem Verhältnisse mit der Länge und im umgekehrten mit dem Querdurchschnitte. Ein langer und dünner Draht leitet also schlechter als ein kurzer und dicker.

Ist die Batterie durch einen kurzen und dicken Draht geschlossen, so erfährt der Strom den meisten Widerstand bei seinem Durchgange durch den flüssigen Leiter. Der Strom muß daher der Dicke der die Metallplatten trennenden flüssigen Schicht beinahe umgekehrt und der Größe der Berührungsfläche, also der Größe der Metallplatten direct proportional sein. Die Batterie liefert folglich einen um so stärkeren Strom, je größer der Durchmesser der Metallplatten ist, je dünner die dieselben trennende Wasserschicht ist, und je besser die letztere die Electricität leitet. — Aus gleichen Gründen wird die Menge des durch die nämliche Batterie zeretzten Wassers vermehrt, je größer die Polplatten sind und je weniger dieselben von einander abstehen.

Die electromotorische Kraft der einfachen Kette hängt natürlich von der electromotorischen Wirkung der einzelnen Glieder ab. Zink und Kohle oder Platin müssen also die stärkste Wirkung geben.

Die electromotorische Kraft der zusammengesetzten Kette oder Batterie wächst außerdem mit der Zahl der dieselbe zusammensetzenden Elemente. Da aber in gleichem Verhältnisse, wie wir gesehen haben, auch der Leitungswiderstand, welchen der Strom in der Batterie erfährt, zunimmt, so wird, wenn dieselbe durch einen nicht zu langen und nicht zu dünnen Draht geschlossen ist, wie dies z. B. meistens bei den electromagnetischen Versuchen der Fall ist, die Vermehrung der Plattenpaare keine erhebliche Verstärkung des Stromes bewirken können. Anders muß sich jedoch das Verhältniß stellen, wenn der Strom den bedeutendsten Widerstand in dem Schließungsbogen zu überwinden hat, wenn er, wie bei den chemischen Versuchen durch Flüssigkeiten, oder wie bei den physiologischen Versuchen durch den menschlichen Körper, oder wie bei den electricischen Telegraphen durch einen sehr langen Draht, oder wie bei den Glühversuchen durch einen sehr dünnen Draht hindurch geleitet wird. In allen diesen Fällen muß die Wirkung mit der Zahl der Plattenpaare zunehmen.

Bezeichnen wir die electromotorische Kraft jedes einzelnen Elementes (jeder einzelnen Kette) mit e , die Anzahl der Elemente der Batterie mit n , den Widerstand, welchen der Strom bei seinem Uebergange von einem Elemente zum andern erfährt, mit w und den Widerstand im Schließungsbogen mit W , so ist die electromotorische Kraft der Batterie ne , der Leitungswiderstand derselben nw und daher zufolge des Ohm'schen Gesetzes die Stärke des electricischen Stromes

$$S = \frac{ne}{nw + W}$$

Ist der Leitungswiderstand im Schließungsbogen im Vergleich gegen den Leitungswiderstand in der Batterie, also W gegen nw sehr groß, so werden wir annähernd

$$S = \frac{ne}{W}$$

setzen können. In diesem Falle ist also die Stromstärke der Zahl der Elemente n nahezu proportional, dagegen von dem Leitungswiderstande in der Batterie nw fast unabhängig, so daß hier durch die Vergrößerung der Platten ein erheblicher Gewinn nicht erzielt wird. Ist dagegen der Leitungswiderstand in dem Schließungsbogen W im Vergleich gegen den Leitungswiderstand in der Batterie nw sehr klein, so erhalten wir annähernd

$$S = \frac{ne}{nw} = \frac{e}{w}$$

Die Stromstärke ist daher in diesem Falle von der Zahl der Elemente fast unabhängig, dagegen dem Leitungswiderstande der Kette w nahezu umgekehrt proportional. Es muß folglich dieselbe fast in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem der Leitungswiderstand in der Kette w verringert, also die Platten vergrößert oder einander genähert werden.

Nach dem Ohm'schen Gesetze läßt sich auch leicht beurtheilen, welche Einrichtung man in jedem besonderen Falle dem Multiplicator zu ertheilen hat. Da nämlich die Stärke des electricischen Stromes (unter übrigens gleichen Umständen) der Summe aller Leitungswiderstände, welche der Strom auf seinem Umlaufe durch die galvanische Batterie und die verschiedenen Theile des Schließungsbogens zu überwinden hat, umgekehrt proportional ist, so wird in solchen Fällen, wo der electricische Strom in der Batterie selbst, wenn diese z. B. aus vielen Gliedern von einer kleinen Oberfläche besteht, oder in den übrigen Gliedern des Schließungsbogens, wenn dieser z. B. wie bei den electricischen Telegraphen sehr lang ist, schon ohnehin einen sehr bedeutenden Widerstand zu überwinden hat, die durch Einschaltung des Multiplicatordrahtes herbeigeführte Vermehrung des Leitungswiderstandes nur in einem kleinen Verhältnisse zu diesem Widerstande überhaupt stehen und daher nur eine geringe Verminderung der Stärke des electricischen Stromes herbeiführen. Man wird daher einen dünnen Draht mit vielen Windungen anwenden können. Wenn aber die galvanische Batterie nur aus wenigen oder einem einzigen Elemente besteht und der übrige Schließungsbogen durch einen kurzen und dicken Draht gebildet wird, so wird man auch für den Multiplicator einen dicken Draht mit wenigen Windungen anzuwenden haben. — Dieses Letztere gilt ganz besonders auch für die thermoelectricischen Ströme, da bei diesen sämtliche Glieder der Kette oder Batterie aus Metallen bestehen, welche dem electricischen Ströme nur einen geringen Leitungswiderstand entgegenstellen.

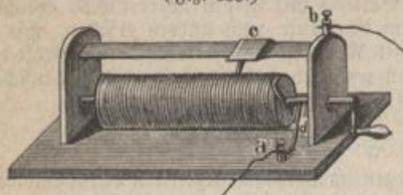
Die Anwendung der Ohm'schen Formel auf nicht constante Ketten wird durch die schwer in Rechnung zu bringende Schwächung, welche der Strom durch die Polarisation an den einzelnen Platten erleidet, erschwert. Bei den constanten Ketten übt die Polarisation ebenfalls einen die Stromstärke vermindernenden Einfluß aus, wenn die Poldrähte in eine Flüssigkeit getaucht sind, in welcher Wasserzersetzung stattfindet.

Bezeichnet man die Leitungsfähigkeit des Kupfers mit 100, so ist nach Rieß bei gewöhnlicher Temperatur die des Silbers 149, Goldes 89, Messings 28, Eisens 18, Platins 16, Neusilbers 11, Bleies 10. — Wasser, welches ein 20000tel Salpetersäure enthält, leitet nach Pouillet 770millionenmal schlechter als Kupfer; reines Wasser leitet noch schlechter.

Bei den Metallen wird das Leitungsvermögen durch Erhöhung der Temperatur vermindert, bei den Flüssigkeiten dagegen vermehrt; letzteres Verhalten zeigen im allgemeinen auch die Kohle und die Metalloxyde.

Für viele Untersuchungen ist es erforderlich, einen Strom von ganz bestimmter Stärke zu haben. Man gelangt hierzu, indem man einen kräftigeren Strom durch Einschaltung eines mehr oder weniger großen Leitungswiderstandes auf ein bestimmtes Maß herabführt. Die hierzu dienenden Vorrichtungen, welche den Namen *Rheostat*

(Fig. 183.)



führen, können eine sehr mannigfache Einrichtung haben. Einen einfachen Rheostaten stellt Fig. 183 dar. Auf eine hölzerne Walze, welche um eine eiserne Aze drehbar ist, ist ein Draht von Neusilber oder Kupfer, je nachdem man einen größeren oder geringeren Leitungswiderstand beabsichtigt, so gewunden, daß die Windungen sich nicht berühren, und neben dem Cylinder in paralleler Richtung mit der Aze desselben ist ein metallener Stab befestigt, an welchem

eine verschiebbare Hülse *c* angebracht ist. Eine mit dieser verbundene Feder schleift an den Windungen des Drahtes und bewirkt, daß die Hülse sich längs des metallenen Stabes verschiebt, wenn die Walze umgedreht wird. Eine andere Metallfeder *d* drückt gegen die stählerne Umdrehungsaxe, an welcher das eine Ende des umgewundenen Drahtes befestigt ist. Wenn nun die Poldrähte einer galvanischen Kette mit den Klemmschrauben *a* und *b* verbunden werden, so geht der elektrische Strom durch die zwischen *a* und *c* befindlichen Drahtwindungen, deren Länge sich durch Umdrehung der Walze nach der einen oder andern Seite beliebig vergrößern oder verringern läßt. In gleichem Verhältnisse aber mit der Länge der eingeschalteten Drahtwindungen, welche der Strom auf seinem Wege von *a* nach *c* zu durchlaufen hat, nimmt auch der Widerstand zu, welchen dieselben der Fortleitung des Stromes entgegensetzen.

Gelegentlich mag hier noch bemerkt werden, daß man dem Leiter, durch welche ein galvanischer Strom geführt wird, auch den Namen *Rheophor* beilegt.

Der Entladungsstrom einer electrischen Flasche oder einer Electrirmaschine, bei welcher Reibzeug und Conductor leitend verbunden sind, scheint durch Leitungswiderstände nicht geschwächt zu werden. Pogg. Ann. B. 134, S. 596.

§. 134. Wirkung des electrischen Stromes auf unmagnetisches Eisen.

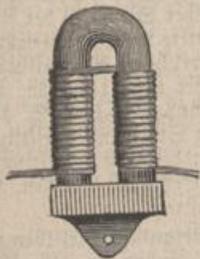
Der electrische Strom übt nicht bloß auf eine Magnetnadel oder einen Magnetstab eine Wirkung aus, sondern vermag auch unmagnetisches Eisen magnetisch zu machen.

Wenn man einen hinreichend starken Strom durch einen Kupferdraht leitet und diesen in Eisenfeilicht taucht oder damit bestreut, so wird das Eisenfeilicht von dem Drahte angezogen. Die Anziehung hört aber wieder auf, sobald man die Kette öffnet.

Eben so vermag man in unmagnetischen Eisenstäben durch die Einwirkung des electrischen Stromes Magnetismus hervorzurufen. Wir haben oben gesehen, daß ein electrischer Strom eine Magnetnadel in eine Richtung zu stellen strebt, welche auf der Richtung des Stromes senkrecht steht. In Uebereinstimmung hiermit werden Stahlnadeln magnetisirt, wenn man den

Strom in senkrechter Richtung neben denselben vorbeileitet. Verstärkt wird die Wirkung durch Anwendung des Multiplikators, indem man den Strom in mehreren Windungen neben der Nadel oder um dieselbe herum führt. Ja man vermag durch den electrischen Strom und Anwendung dieses Princip's Magneten herzustellen, welche alle anderen, künstlichen und natürlichen Magneten an Tragkraft weit übertreffen. — Zu diesem Zwecke gibt man einem cylindrischen Stücke weichen Eisens, weil in diesem der Magnetismus am leichtesten erregt wird, die Gestalt eines Hufeisens und umwindet dasselbe mit einem starken, durch Seide gehörig isolirten Kupferdrahte, wie dieses Fig. 184 zeigt. Leitet man nun einen electrischen Strom durch den Draht, so erhalten die beiden Enden des Hufeisens entgegengesetzte Pole, (deren Lage sich leicht nach der oben S. 149 angegebenen Ampère'schen Regel im voraus bestimmen läßt), und vermögen nun einen vorgelegten Anker und eine an denselben angehängte Last zu tragen. Man kann auf diese Art Magneten herstellen, welche tausend und mehr Pfund zu tragen vermögen. Ihre Tragkraft hört jedoch fast gänzlich

(Fig. 184.)



wieder auf, so wie der electrische Strom unterbrochen wird. — Statt des Ankers kann man auch einen zweiten Electromagneten anwenden, welchen man mit den gleichnamigen Polen an den ersten anhängt. Zwei auf diese Art verbundene, einander im übrigen gleiche Electromagneten tragen ohngefähr viermal so viel als einer allein mit einem angelegten Anker.

Die von Jacobi und Lenz in Petersburg (1839) angestellten Untersuchungen haben das Gesetz ergeben, daß bei Strömen von mäßiger Stärke und nicht zu dünnen Eisenstäben (von mehr als $\frac{1}{3}$ Zoll Stärke) der erregte Magnetismus in gleichem Verhältniß mit der Stärke des Stromes und der Zahl der Windungen zunimmt. Dieses Gesetz erleidet jedoch, wie zuerst (1850) Müller in Freiburg und weiterhin (1852—1868) durch sehr umfassende Untersuchungen Dub in Berlin gezeigt hat, insofern eine Einschränkung, als der erregte Magnetismus nur bis zu einer gewissen, bei dünnen Stäben früher, bei dicken später zu erreichenden Grenze in gleichem, über diese Grenze hinaus aber in abnehmendem Verhältniß mit der Stromstärke wächst und sich dann mehr und mehr einem überhaupt nicht zu überschreitenden Maximum nähert.

Da die Pole eines Electromagneten zugleich vertheilend auf den vorgelegten Anker einwirken und diesen selbst in einen Magneten mit entgegengesetzten Polen verwandeln, so ergibt sich aus dem obigen Gesetze weiter der folgende, auch durch directe Versuche bestätigte Satz:

Die Tragkraft eines Electromagneten wächst wie das Quadrat der Stromstärke und wie das Quadrat der Anzahl der Windungen der umgebenden Spirale.

Da aber mit der Zahl der Windungen der Leitungswiderstand vermehrt, also die Stromstärke geschwächt wird, so muß, wenn diese dieselbe bleiben soll, ein Draht von so vielmal größerem Querschnitte angewendet werden, als durch die vermehrte Zahl der Windungen sich die Länge desselben vergrößert hat.

Bei gleicher Stromstärke und gleicher Zahl der Windungen nimmt die Tragkraft eines Electromagneten in gleichem Verhältniß mit dem Durchmesser des Eisenstabes, und wenn derselbe seiner ganzen Länge nach mit der nämlichen Windungszahl bedeckt ist, auch in gleichem Verhältniß mit der Länge (der erregte Magnetismus wie die Quadratwurzel aus dem Durchmesser und wie die Quadratwurzel aus der Länge) zu. Unter übrigens gleichen Umständen ist die Tragkraft des Electromagneten um so größer, je näher die Spiralwindungen den Polen angebracht sind. — Die Anziehungskraft der Polfläche ist stärker an den Ranten und nimmt nach der Mitte hin ab.

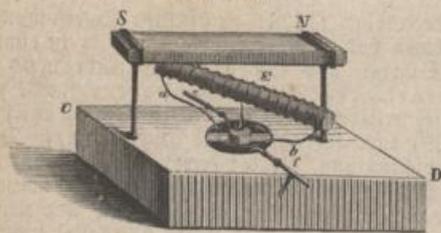
In dem Augenblicke, in welchem man einen Eisenstab durch einen starken Strom magnetisirt, vernimmt man einen Ton, welcher demjenigen Ton gleich ist, der entsteht, wenn man den Stab durch Reiben mit einem wollenen Lappen in der Richtung seiner Länge in longitudinale Schwingen versetzt. Der nämliche Ton wird auch beim Öffnen der Kette wahrgenommen. — Man ersieht hieraus, daß das Eintreten und Verschwinden des electrischen Stromes von einer Erschütterung der materiellen Theile des Eisenstabes begleitet ist. — Dieselbe Erscheinung bringt auch der direct durch einen Eisenstab oder gespannten Draht geleitete Strom hervor.

Im nahen Zusammenhange hiermit dürfte die von *Wiedemann* (1858) beobachtete Erscheinung stehen, daß der Magnetismus eines Stabes durch eine Drehung des Stabes nach der einen oder andern Seite hin eine Verminderung erfährt, und daß umgekehrt ein Eisendraht, welcher eine Drehung erfahren hat, eine Entdrehung erleidet, wenn er mit einer Magnetisirungsspirale umgeben und durch diese ein electrischer Strom in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung geführt wird. Auf eine weitere Auseinandersetzung der von *Wiedemann* nachgewiesenen merkwürdigen Analogien, welche die Magnetisirung und Torsion eines Stahlstabes darbietet, können wir jedoch hier nicht eingehen, und verweisen wir dieserhalb auf *Pogg. Ann.* Bd. 106. S. 161 und Bd. 117. S. 193.

Da die Electromagneten die Stahlmagneten bei weitem an Stärke übertreffen, so werden dieselben bei den oben (§. 110) angeführten Versuchen über den Diamagnetismus vorzugsweise angewendet. — Auch kann man einen Electromagneten dazu benutzen, um Stahlstäbe durch Streichen an den Polen desselben zu magnetisiren.

Die große Kraft der Electromagneten hat vielfach Versuche veranlaßt, dieselben anstatt der Dampfkraft zur Bewegung von Maschinen zu benutzen. Schon im Jahr 1839 gelangte *Jacobi* in Petersburg dahin, in einem Boote, welches außer ihm noch 14 andere Personen trug und allein durch electromagnetische Kräfte bewegt wurde, die *Newa* zu befahren. Der allgemeinen Anwendung der electromagnetischen Maschinen steht jedoch der Umstand entgegen, daß der Verbrauch von Säuren und Zink bei denselben einen größeren Kostenaufwand verursacht, als der Verbrauch der Kohlen bei den Dampfmaschinen.

(Fig. 185.)



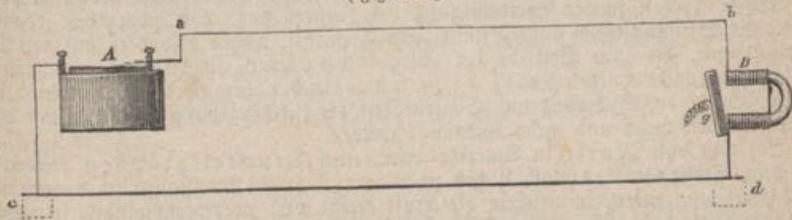
Um zu zeigen, wie sich durch die electromagnetische Kraft eine rotirende Bewegung hervorbringen läßt, kann der in Fig. 185 abgebildete einfache Apparat dienen. Derselbe besteht aus einem Stahlmagneten NS und einem Electromagneten E, welcher auf einer Spitze ruht, um welche sich derselbe leicht herumdrehen kann. In der Mitte des hölzernen Klößchens CD, welches dem Apparate als Unterlage dient, ist eine kreisförmige Rinne angebracht,

welche durch eine niedrige und dem Stahlmagneten parallele Scheidewand in zwei Hälften getheilt wird. Jede der beiden hierdurch gebildeten Zellen wird mit Quecksilber so weit angefüllt, daß die convergen Oberflächen desselben, jedoch ohne in einander zu fließen, etwas höher stehen, als die Scheidewand und die Enden a und b des den Electromagneten E umwindenden Drahtes sind so gebogen, daß sie die Oberfläche des Quecksilbers eben berühren, über die Scheidewand aber, ohne anzustoßen, bei der Umdrehung hinweg gleiten. In das Quecksilber der beiden Zellen tauchen zwei Drähte e und f, welche mit den Poldrähten einer galvanischen Kette verbunden werden können. Bei Schließung der Kette verwandelt sich der Eisenstab E in einen Electromagneten, dessen Pole von den gleichnamigen Polen des festen Stahlmagneten NS abgestoßen, von den ungleichnamigen angezogen werden. Der bewegliche Electromagnet dreht sich in Folge hiervon aus der in der Figur abgebildeten schiefen Stellung in eine dem Stahlmagneten und der Scheidewand parallele Lage. Indem derselbe aber vermöge des Trägheitsgesetzes diese Lage etwas überschreitet, kommen die Drahtenden mit den Oberflächen des Quecksilbers der entgegengesetzten Zellen in Berührung, die Pole des Electromagneten kehren sich um und derselbe dreht sich um 180°, überschreitet aus dem angeführten Grunde diese Lage, wodurch seine Pole sich abermals umkehren, und der Electromagnet wieder um 180° in der nämlichen Richtung gedreht wird u. s. w. Jedesmal, wenn die Drahtspitzen das Quecksilber der einen Zelle verlassen und zu dem der andern übergehen, erscheinen lebhaftes Funken.

§. 133. Electriche Telegraphie.

Die Eigenschaft des electricen Stromes, im weichen Eisen vorübergehenden Magnetismus hervorzurufen, findet eine sehr nützliche Anwendung in der Telegraphie. Die Einrichtung der gegenwärtig in Deutschland am meisten gebräuchlichen electricen Telegraphen ist im wesentlichen folgende: Um von dem Stationsorte A nach dem mehrere Meilen entfernten Stationsorte B hin zu telegraphiren, verbindet man beide Orte durch einen oder mehrere isolirte Drähte von Kupfer oder Eisen. Wir wollen zunächst annehmen, daß solcher Verbindungsdrähte zwei, ab und cd (Fig. 186), vorhanden sind. Wenn man nun die Enden dieser Drähte in B mit den Enden

(Fig. 186.)



eines um ein Hufeisen aus weichem Eisen gewundenen Kupferdrahtes und in A die Enden der nämlichen Drähte mit den Polen einer galvanischen Batterie verbindet, so verwandelt sich fast in demselben Augenblicke, in welchem man in A die Kette schließt, das Hufeisen in B in einen Magneten und zieht einen Anker an, welcher vorher von den Polen durch eine schwache Feder um einen kleinen Abstand entfernt gehalten wurde. So wie man aber die Kette in A öffnet, wird der Anker durch die schwache Feder von den Polen des Hufeisens wieder losgerissen. Auf diese Art erhält man ein Mittel, durch wiederholtes Öffnen und Schließen der Kette in A Signale nach B hin zu geben. — Statt zweier Verbindungsdrähte kann man auch mit einem einzigen Drahte ab auskommen, welcher den einen Pol der in A befindlichen Batterie mit dem einen Ende des um den Electromagneten in B gewickelten Kupferdrahtes verbindet, und den zweiten Draht cd durch den feuchten Erdboden ersetzen, indem man in diesen sowohl in A, (etwa bei c der Figur), als auch in B, (etwa bei d) eine Metallplatte einsetzt und mit der einen (c) den andern Pol der Batterie in A und mit der andern (d) das andere Ende des um den Electromagneten in B gewickelten Kupferdrahtes verbindet.

Ueber die Benutzung des feuchten Erdbodens für die electriche Leitung bemerken wir noch Folgendes: Wenn der eine Pol der in A aufgestellten electricen Batterie mit der in das feuchte Erdreich eingesenkten Platte c, der andere Pol durch den Leitungsdraht ab mit der in B eingesenkten Platte d verbunden ist, so werden die entgegengesetzten Electricitäten dieser Pole in den Erdboden abgeleitet. Indem aber vergebensehnt Electricitäten dieser Pole in den Erdboden abgeleitet. Indem aber vermöge der electromotorischen Kraft der einzelnen die Batterie zusammensetzenden Elemente die Pole derselben sich immer wieder aufs neue laden, so geht insbesondere durch den Leitungsdraht ab, welcher vor seinem Uebergange in das feuchte Erdreich den Electromagneten in B in mehrfachen Windungen umkreist, ein unausgesetzter electricer Strom. — Je größer die Oberfläche der Metallplatten c und d ist, um so geringer ist der Widerstand, welchen der electriche Strom bei seinem Uebergange aus denselben in den Erdboden erfährt. Haben die Metallplatten eine beträchtliche Größe, so kann die Schwächung, welche der electriche Strom in Folge dieses Widerstandes erleidet, als verschwindend klein gegen die Schwächung, welche derselbe in dem langen und dünnen Leitungsdrahte ab erleidet, angesehen werden, während diese Schwächung auf das

Doppelte steigen muß, wenn das feuchte Erdreich nicht benutzt und die Rückleitung des electricischen Stromes durch einen zweiten Draht od bewerkstelligt wird. Durch die Einschaltung des feuchten Erdbodens wird daher nicht bloß an Kosten gespart, sondern auch an Stärke des electricischen Stromes unter übrigens gleichen Umständen gewonnen.

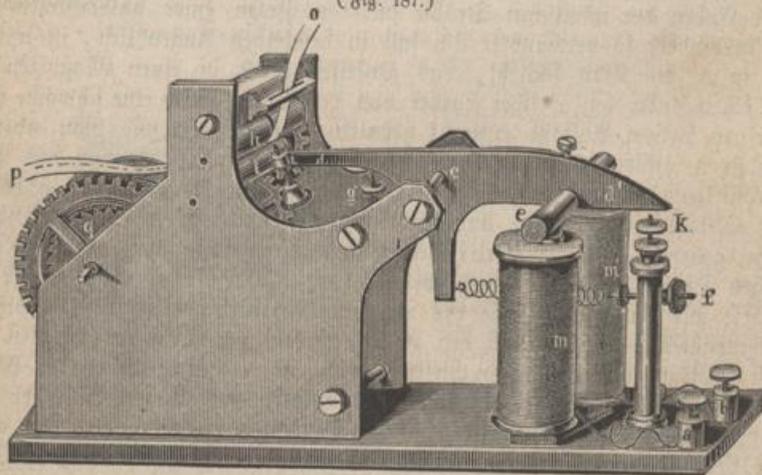
Für oberirdische Leitungen gibt man allgemein wegen der größern Billigkeit und Festigkeit Eisendrähten, welche man mit einem dünnen Zinküberzuge versehen (vgl. oben S. 147), vor Kupferdrähten den Vorzug. Natürlich muß aber ein Eisendraht, wenn er eben so gut wie ein Kupferdraht leiten soll, eine größere Stärke haben. Vgl. oben S. 153.

Unter den verschiedenen Telegraphen heben wir besonders die folgenden hervor:

Bei den Zeiger- oder Buchstaben-Telegraphen wird durch den electricischen Strom ein Zeiger über einer an ihrem Umfange mit Buchstaben bezeichneten kreisförmigen Scheibe in ähnlicher Art, wie der Zeiger einer Uhr fortbewegt. Unter denselben zeichnen sich besonders die von Siemens und Halske durch große Schnelligkeit und Sicherheit in der Fortbewegung des Zeigers aus. Wir übergehen jedoch die nähere Beschreibung dieser äußerst sinnreichen Apparate, welche besonders auf den Telegraphenlinien, die zum Betriebe der Eisenbahnen dienen, in Preußen und anderen Ländern gebraucht worden sind*), da sie den sogleich näher zu beschreibenden Drucktelegraphen in der Sicherheit und Schnelligkeit der Zeichengebung nachstehen und daher durch dieselben mehr und mehr verdrängt werden.

Bei dem von Morse in Amerika erfundenen Drucktelegraphen werden die von dem Stationsorte A nach B hin zu telegraphirenden Buchstaben in B vermittelst eines Electromagneten, in welchem die Kraft erregt wird oder verschwindet, je nachdem in A die Kette geschlossen oder geöffnet wird, auf einem sich gleichmäßig fortbewegenden Papierstreifen abgedruckt. Der Papierstreifen op (Fig. 187) geht zwischen zwei

(Fig. 187.)



dicht an einander schließenden Walzen h und l hindurch, von denen die eine l durch ein gewöhnliches Uhrwerk genau gleichmäßig umgedreht wird. (An der linken Seite der Figur ist ein Theil der Trommel q dieses Uhrwerks sichtbar). Die Walze h steht mit den Rädern des Uhrwerks in keiner Verbindung und wird nur durch die Reibung an der sich drehenden Walze l in der entgegengesetzten Richtung umgedreht, wodurch zugleich der zwischen beide Walzen gepreßte Papierstreifen fortgeschoben wird. Da, wo der Papierstreifen an der Walze h anliegt, ist rings um dieselbe eine rinnenförmige Vertiefung angebracht, in welche die Spitze des Stahlstifts i, wenn derselbe gegen die Walze h gepreßt wird, genau einpaßt. Dieser Stift ist nämlich an dem einen Ende des um die Axe c drehbaren Hebelarmes ad' befestigt, welcher an seinem

*) Wir verweisen unsere Leser, welche sich hierüber, so wie über electricische Telegraphie überhaupt ausführlicher belehren wollen, auf die gesammten Naturwissenschaften 2. Aufl. B. 1. S. 379.

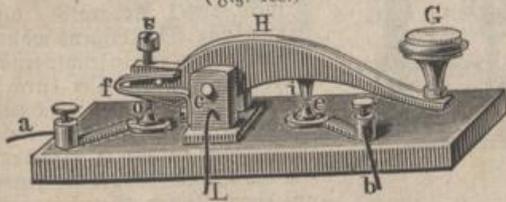
anderen Ende über dem Electromagneten mm', der mittelst der Klemmschrauben a und b in die Stromleitung eingeschaltet ist, den Anker o trägt. So lange die Kette in dem Stationsorte A, von welchem aus telegraphirt werden soll, geöffnet ist, wird der Hebelarm ad' durch die Feder f so gestellt, daß der Anker o von den Polen des Electromagneten und der Stifte i von dem Papierstreifen po um einen kleinen Abstand entfernt ist. So wie aber in A die Kette geschlossen und in Folge hiervon der Anker o von dem Electromagneten mm' angezogen wird, drückt die Spitze des Stiftes i gegen den durch das Räderwerk gleichmäßig fortgeführten Papierstreifen und bringt in demselben einen längeren oder kürzeren Einschnitt hervor, je nachdem die Kette in A längere oder kürzere Zeit geschlossen bleibt. — Der Anker o kommt hierbei mit den Polen des Electromagneten mm' niemals in unmittelbare Berührung, sondern nähert sich denselben nur bis zu einem kleinen Abstände, welcher durch die Schraube k regulirt wird. Eben so wird an der andern Seite durch eine Schraube g die Entfernung begrenzt, bis zu welcher der Hebelarm durch die Feder f fortgezogen wird. — Durch die verschiedenen Combinationen der längeren und kürzeren Einschnitte, welche der Stifte i in dem Papierstreifen op hervorbringt, können Buchstaben, Ziffern und beliebige andere Zeichen ausgedrückt werden, wobei jedes folgende Zeichen vom vorhergehenden durch einen größeren Zwischenraum getrennt ist. So kann z. B. das Wort England bei Morse's Telegraph auf dem Papierstreifen folgendermaßen abgedruckt werden:

e . n l a n d

Von einem eingetübten Telegraphisten können mit dem Morse'schen Apparate in der Minute 80 bis 100 Buchstaben signalisirt werden; die vollkommensten Zeigertelegraphen vermögen deren nur 40 bis 50 in der nämlichen Zeit zu liefern.

Daß bei dem Morse'schen Apparat zuerst von A nach B hin ein Zeichen gegeben wird, daß telegraphirt werden soll und daher das die Walze umdrehende Uhrwerk in Gang zu setzen ist, braucht wohl kaum erst erinnert zu werden. Es bedarf jedoch hierzu eines besonderen Beckapparates nicht; ein rasch auf einander folgendes Öffnen und Schließen der Kette in dem einen Stationsorte und hierdurch bewirktes Anschlagen des Druckstiftes gegen die Walze in dem andern Stationsorte ist mit einem hinreichenden Geräusche verbunden, um den Telegraphisten in dem letzteren Orte aufmerksam zu machen.

(Fig. 188.)

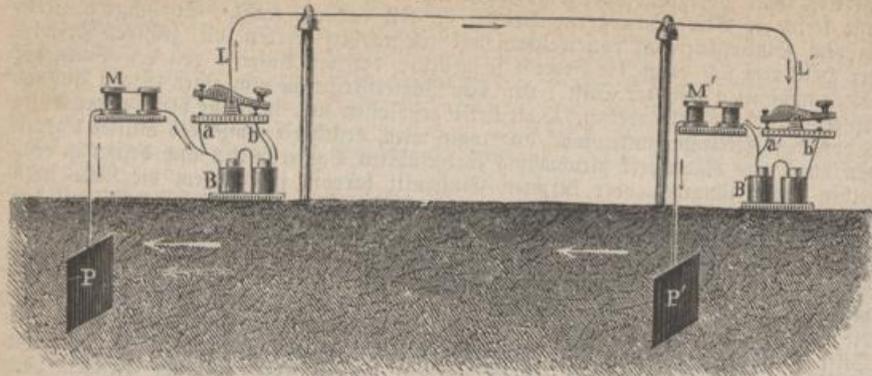


Zum Öffnen und Schließen der Kette dient die in Fig. 187 abgebildete Vorrichtung, welche den Namen des Schlüssels führt. Ein metallener Hebel H ist um die Achse o in einem ebenfalls metallenen Lager drehbar, welches durch einen Draht L mit der Hauptleitung des Stromes in Verbindung steht. In der Ruhelage wird die linke Seite

des Hebels H durch eine Feder f niedergedrückt und die Schraube s mit dem metallenen Knopfe o in Berührung gebracht, welcher mit der Klemmschraube a in leitender Verbindung steht. Von dieser führt eine sich in zwei Arme theilende Leitung (vergl. die folgende Fig.) mit dem einen Arme nach dem Electromagneten und dann weiter nach der Erdplatte und mit dem andern Arme nach dem einen Pole der Batterie der eigenen Station. Beim Niederdrücken des Griffes G kommt dagegen der metallene Stifte i mit dem Knopfe e in Berührung, welcher mit der Klemmschraube b in leitender Verbindung steht, die durch einen Draht mit dem andern Pole der Batterie verbunden ist.

Fig. 189 zeigt für zwei Stationsorte, welche durch einen Leitungsdraht mit einander verbunden sind, die leicht verständliche Anordnung, in welcher die Batterien, die Electromagnete der Drucktelegraphen, die Schlüssel und die Erdplatten auf beiden Stationen in diese Leitung eingeschaltet sind. Ist auf der Station I der Schlüssel niedergedrückt, so wird auf derselben die Batterie B geschlossen und der durch die Batterie B erregte Strom circuitirt in der Richtung bLL'a'M'P'PMB, wie dies auch außerdem durch die beigefügten Pfeile angedeutet wird. Es kommen daher auf beiden Stationen die Electromagneten M und M' in Thätigkeit, was den Vortheil gewährt, daß, wenn etwa an irgend einer Stelle der Stromleitung eine Unterbrechung entstanden sein sollte,

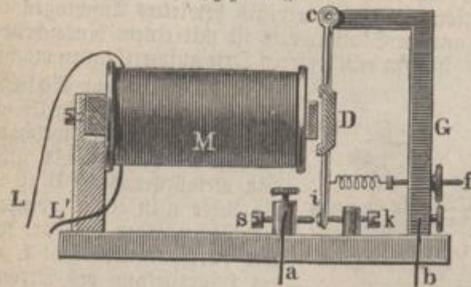
(Fig. 189.)



dies sich auf der Station, welche die Depesche abgibt, durch die Unthätigkeit des eigenen Apparates zu erkennen gibt. — Befindet sich auf beiden Stationen der Schlüssel in der Ruhelage, so kann kein Strom circuliren, weil dann die Leitung sowohl bei b als bei b' unterbrochen ist und also beide Batterien B und B' geöffnet sind.

Wir übergehen die mit dem Morse'schen Telegraphen verbundenen Nebenapparate und berücksichtigen nur noch kurz den folgenden Umstand: Da der electricische Strom, wenn in sehr weite Entfernungen direct telegraphirt werden soll, theils durch den zu überwindenden Leitungswiderstand, theils vermöge der niemals mit absoluter Vollkommenheit herzustellenden Isolirung eine sehr beträchtliche Schwächung erfährt, so würde es kaum durch die stärkste Batterie möglich sein, den Schreibstift des Druck-

(Fig. 190.)



telegraphen mit hinreichender Kraft in Bewegung zu setzen. Dieser Uebelstand kann nun durch den zuerst von Wheatstone erfundenen Ueberträger oder das Relais beseitigt werden. Fig. 190 stellt das Princip dieses Apparates, dessen Einrichtung sich übrigens mannigfach abändern läßt, in leicht verständlicher Weise dar. — Der durch die angeführten Umstände geschwächte Strom der Hauptleitung wirkt nicht unmittelbar auf den Electromagneten des Schreibapparates, sondern auf einen kleinen Electromagneten

M; ein dem einen Pole desselben gegenüber befindlicher Anker D ist an einem metallenen, sehr leicht drehbaren Hebel c befestigt, so daß zur Bewegung desselben, welche durch die Schrauben s und k regulirt wird, schon eine sehr geringe Kraft ausreicht. Dieser Hebel, welcher von der metallenen Säule G getragen wird, bringt nun, wenn er angezogen wird, wie aus der Figur leicht ersichtlich ist, die beiden Klemmschrauben a und b, welche mit den Polen einer zweiten Batterie, der Lokalbatterie, verbunden sind, mit einander in leitende Verbindung, während diese Verbindung, wenn der Anker losgelassen wird, wieder aufgehoben ist. Der Strom der Lokalbatterie aber umkreist den Electromagneten des Schreibapparates und setzt, wenn dieselbe in der angegebenen Art geschlossen wird, den Schreibstift in Bewegung. Da dieser Strom nur eine verhältnißmäßig sehr kurze Leitung zu durchlaufen hat, so reicht hierzu schon eine aus wenigen Elementen bestehende Batterie aus.

In England wendet man fast allgemein die Nadeltelegraphen von Wheatstone und Cooke an. Dieselben bestehen aus vertical gestellten und um eine wagerechte Axe drehbaren astatischen Magnetnadeln, welche bei wechselnder Richtung des electricischen Stromes bald nach der einen, bald nach der andern Seite abgelenkt werden. Zwei zu beiden Seiten der Nadeln angebrachte Stifte verhindern, daß die Ausschläge derselben 20° nicht überschreiten. Die verschiedenen Zeichen werden hier durch die Com-

inationen der beiden Ablenkungen nach rechts und links, z. B. rechts rechts, rechts links, links links rechts u. dgl. m. gebildet. — Man wendet hierbei entweder nur eine Nadel mit einem Fortleitungsdrahte oder zwei Nadeln mit zwei Drahten an. In letzterem Falle wird die Hälfte der Buchstaben des Alphabets (überhaupt der zu gebenden Zeichen) durch die Ablenkungen der einen Nadel, die andere Hälfte durch die Ablenkungen der andern Nadel hervorgebracht. Die letztere Einrichtung kommt wegen der Anlage zweier Drähte kostspieliger zu stehen, gestattet aber ein rascheres Zeichengeben.

In Frankreich sind ebenfalls Nadeltelegraphen in Gebrauch, welche jedoch in ihrer Einrichtung von den in England eingeführten abweichen.

Zur Erzeugung des electricischen Stromes wendet man theils die oben angeführten constanten Batterien, (in Preußen Zinkkohlenketten, bei denen die Kohle in 10fach, das Zink in 20fach verdünnte Schwefelsäure eingetaucht ist), theils die weiter unten S. 162 zu beschreibenden magnetelectricischen Maschinen, theils (England) galvanische Batterien an, welche aus zahlreichen Elementen von Zink und Silber bestehen, welche sich in einem Bade von seinem Sande befinden, der mit sehr verdünnter Schwefelsäure schwach angefeuchtet wird.

Die Fortleitungsdrähte werden entweder auf Stangen durch die Luft oder unter der Erde hin geführt und dann durch Gutta-Percha isolirt; dasselbe gilt von unter Wasser fortgeführten Drahtleitungen.

Der erste Nadeltelegraph ist im Jahre 1833 von Gauß und Weber in Göttingen hergestellt worden. Die Drahtleitung erstreckte sich jedoch nur auf eine sehr kurze Entfernung von der Sternwarte bis zu dem physikalischen Cabinet der Universität. — Nadeltelegraphen mit verbesserter Einrichtung und auf weitere Entfernungen sind demnächst von Steinheil in München, von Wheatstone, Cooke und Bain in England ausgeführt worden. Der Drucktelegraph ist von Morse in America 1837, der erste Zeigertelegraph von Wheatstone 1840 erfunden worden. — Im Jahre 1837 hat Steinheil zuerst den feuchten Erdboden zur Leitung des electricischen Stromes benutzt.

Im Jahre 1859 hat der Amerikaner Hughes einen Typendrucktelegraphen erfunden, bei welchem durch Niederdrücken der Tasten einer Claviatur auf der einen Station sofort gewöhnliche Buchstaben, Ziffern, Interpunktionszeichen u. dgl. auf der andern Station abgedruckt werden. Ueber die praktische Anwendbarkeit dieser, so wie der sogenannten Copirtelegraphen, bei denen die Schriftzüge selbst, überhaupt Federzeichnungen in Form von punktirten Linien nachgebildet werden, wird erst fortgesetzter Gebrauch entscheiden.

Endlich wollen wir nicht unerwähnt lassen, daß der electricische Strom für den Eisenbahndienst auch dazu benutzt wird, um die neben den Wärterhäuschen angebrachten Läutewerke in Thätigkeit zu setzen. Durch den electricischen Strom wird nämlich ein Electromagnet angeregt, welcher die Hemmung eines Weckerwerkes löst, in Folge dessen ein Hammer mehrmals gegen eine Glocke schlägt, worauf die Hemmung wieder einfällt.

*§. 156. Electricische Uhren.

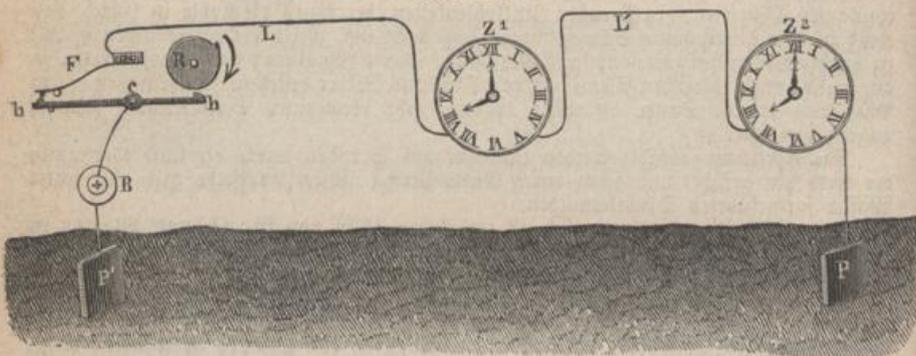
Auf dem nämlichen Principe, wie die electricischen Telegraphen, beruhen auch die sogenannten electricischen Uhren. Die Einrichtung derselben ist im wesentlichen folgende: — Eine gewöhnliche Pendeluhr, die Normaluhr, steht mit einer electricischen Batterie in leitender Verbindung. In dem Räderwerk dieser Uhr ist eine mechanische Vorrichtung angebracht, durch welche die Fortleitung des electricischen Stroms während einer jeden Minute einmal für eine kurze Zeit hergestellt und dann wieder unterbrochen wird. Eine Drahtleitung führt diesen Strom nach den etwa auf den Thürmen oder in anderen öffentlichen oder Privat-Gebäuden einer Stadt angebrachten galvanischen Uhren. Diese haben weder Pendel, noch Gewichte, sondern statt dessen einen kleinen Electromagneten, welcher bei dem abwechselnden Schließen und Öffnen der Kette den vorliegenden Anker anzieht und losläßt, wodurch (in ähnlicher Art wie bei den Zeigertelegraphen) ein mit 60 Zähnen versehenes Rädchen jedesmal um einen Zahn fortgeschoben wird und folglich auch der mit demselben verbundene Minutenzeiger um den sechzigsten Theil des ganzen

Kreises fortrückt. Ein Räderwerk, von ähnlicher Einrichtung wie bei den Taschenuhren, überträgt die Bewegung des Minutenzeigers auf den Stundenzeiger.

Man begreift hiernach leicht, daß sämtliche galvanische Uhren den nämlichen Gang wie die Normaluhren befolgen; man hat daher nur nöthig, für einen genauen und richtigen Gang dieser letzteren zu sorgen.

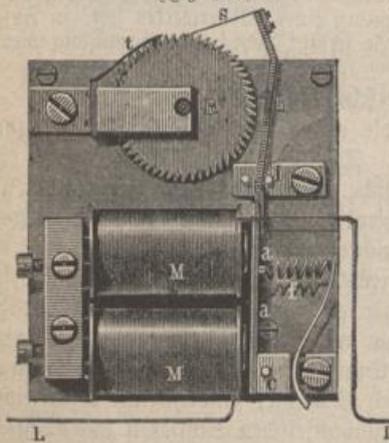
In Fig. 191 sind Z_1 und Z_2 die Zifferblätter zweier galvanischer Uhren, welche durch die Drahtleitung LL' mit der Normaluhr in Verbindung stehen. Auf der Aze

(Fig. 191.)



des Secundenrades dieser Uhr ist ein elsenbeinernes Mädchen R befestigt, welches sich in jeder Minute in der Richtung des beigefügten Pfeiles einmal umbreht und vermittelt einer an seinem Umfange angebrachten s. g. Nase den rechten Arm eines metallenen Hebels hh für eine kurze Zeit, etwa eine Secunde, niederdrückt, wodurch der linke Arm dieses Hebels mit einer metallenen Feder F in Berührung gebracht wird, welche mit der Drahtleitung LL' in Verbindung steht, während der metallene Hebel selbst mit der galvanischen Batterie B leitend verbunden ist. Bei der jedesmaligen, in der angegebenen Weise bewirkten Schließung der galvanischen Kette werden die Electromagneten sämtlicher in die Stromleitung eingeschalteten galvanischen Uhren in Thätigkeit gesetzt

(Fig. 192.)



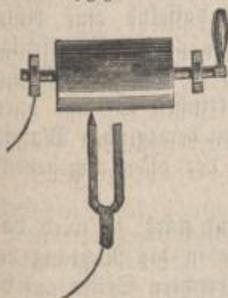
und in Folge hiervon die Minutenzeiger um eine Minute, den 60sten Theil des Umfanges, fortbewegt. Die hierzu dienende Vorrichtung ist in Fig. 192 abgebildet. Indem der um c drehbare Anker aa von dem Electromagneten MM angezogen wird, schiebt der mit demselben verbundene Hebelarm h vermittelt des federnden Stößers S das Rad R, welches an seinem Umfange 60 Zähne trägt, um einen Zahn weiter. Eine an dem Hebelarme h angebrachte Schneide, welche zugleich in die nächstfolgende Zahnücke eingreift, verhindert, daß das Rad R um mehr als einen Zahn auf einmal fortbewegt wird, während der federnde Sperrhaken t einer rückwärts gehenden Bewegung des Rades vorbeugt. Ist der Strom unterbrochen, so wird der Anker aa durch die Feder t zurückgezogen. Zwei bei i angebrachte Stifte begrenzen die hin- und hergehende Bewegung dieses Ankers.

Der Electromagnetismus kann auch noch dazu benutzt werden, um sehr kleine Zeitintervalle, z. B. die Zeit zu messen, während welcher eine Geschüßkugel einen bestimmten Weg durchläuft. Die einfachste Einrichtung der hierzu dienenden Apparate, welche den Namen Chronoscope führen, besteht darin, daß der bewegte Körper am Anfange und am Ende des abgemessenen Weges

Electromagneten in Thätigkeit oder außer Wirksamkeit setzt, deren Anker auf einer durch ein Uhrwerk rasch, aber genau gleichmäßig gedrehten Walze Zeichen hervorbringen, deren Abstand von einander verglichen mit der bekannten Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze ein Maß der gesuchten Zeit gibt.

Man kann jedoch des Uhrwerks auch gänzlich entbehren und die Umdrehung der Walze auf irgend eine Art, z. B. vermittlest einer Kurbel bloß mit der Hand bewerkstelligen, was um so erwünschter ist, da es große Schwierigkeit macht, das Uhrwerk so zu reguliren, daß die Umdrehung der Walze genau gleichmäßig erfolgt. Man benützt dann als Zeitmaß die Zahl der Schwingungen eines tönenden Körpers. Wie wir nämlich weiter unten (S. 165) sehen werden, macht ein tönender Körper, so lange er denselben Ton gibt, in gleichen Zeiten genau gleich viel Schwingungen. Um diesen Umstand für den angegebenen Zweck zu benutzen, umgibt man die Walze (Fig. 193)

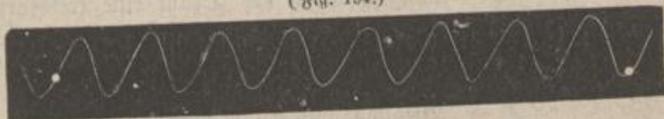
(Fig. 193.)



mit einem Streifen Papier, welchen man mit Ruß überzieht. Diesem Streifen gegenüber bringt man eine Stimmgabel, an deren einer Zinke man einen feinen Draht befestigt hat, so an, daß die Spitze des Drahtes den Papierstreifen eben berührt und die Schwingungen der Zinken der Stimmgabel in einer zur Ase der Walze parallelen Ebene erfolgen. Wird dann die Walze gedreht und die Stimmgabel zum Tönen gebracht, so zeichnen sich die Schwingungen derselben als eine wellenförmige Linie auf dem berußten Papierstreifen ab. Man erhält nun ein Maß der zu bestimmenden Zeit, indem man die Wellen der verzeichneten Linie zählt, welche zwischen die Zeichen fallen, die, wie oben angegeben, durch die Electromagneten beim Schließen oder Öffnen des electrischen Stromes hervorgebracht worden sind. Selbstverständlich hat man vorher zu ermitteln, wie viel Schwingungen die Stimmgabel in der Secunde macht. Die Vorrichtung führt den Namen Vibrations-Chronoscop. — Ausführlichere Belehrung gewährt die Abhandlung von W. Kollmann in dem Programme des Gymnasiums zu Stralsund, 1867.

Man kann auch, wenn die Walze und die Umdrehungsaxe derselben aus Metall bestehen, die Einrichtung so treffen, daß ohne Benutzung eines Electromagneten durch den Funken des Entladungsstromes einer electrischen Flasche oder eines Inductionsapparates (S. 161) am Anfange und Ende der zu messenden Zeit durch Schließung der von dem Strom zu durchlaufenden Kette, in welcher man die Stimmgabel und die metallene Walze, wie dies Fig. 193 andeutet, eingeschaltet hat, Marken auf dem berußten Papier her-

(Fig. 194.)

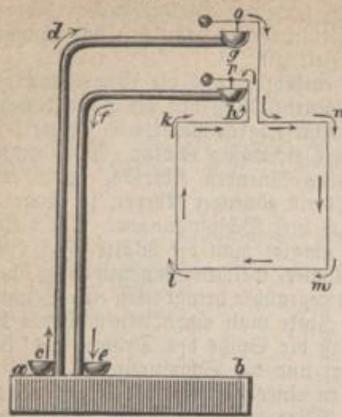


vorgebracht werden. — Fig. 194 zeigt die bei einem Versuche von J. Müller in Freiburg erhaltene Schwingungskurve nebst den beiden Marken. Pogg. Ann. B. 136, S. 153.

*§. 157. Wirkung eines festen Magneten auf einen beweglichen Strom.

So wie eine Magnetnadel, neben welcher ein electrischer Strom vorbeigeführt wird, durch denselben aus ihrer normalen Lage abgelenkt wird, eben so müssen auch die Pole eines festen Magneten auf einen beweglichen Draht, welcher von einem electrischen Strom durchlaufen wird, bewegend einwirken. Um dieses zu zeigen, dient die folgende Vorrichtung: Auf einem hölzernen Brette ab (Fig. 195) sind zwei starke Drähte *cd* und *ef* aufgerichtet, welche oben in zwei wagerechte Arme *dg* und *fh* umgebogen sind; an den Enden dieser Arme in *g* und *h* und unten in *c* und *e* sind kleine Schälchen zur Aufnahme von Quecksilber angebracht. Ein Kupferdraht ist in die Form eines Recht-

(Fig. 195.)

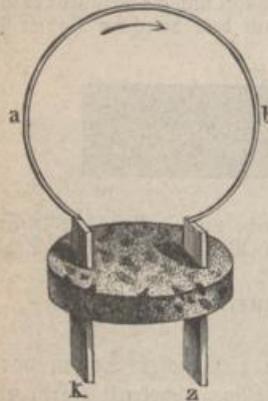


es klmn gebogen und an seinen Enden bei o und p mit zwei feinen Stahlspitzen versehen. Wird nun das Rechteck klmn mit den Stahlspitzen o und p in die Näpfschen g und h eingehangen, und werden in die Näpfschen c und e die Poldrähte getaucht, so durchläuft der electrische Strom das Rechteck klmn, welches sich um eine durch die Stahlspitzen op gehende verticale Linie drehen kann. Nähert man jetzt einer Seite dieses Rechtecks den Pol eines kräftigen Magneten, so wird dasselbe eine Ablenkung erfahren, welche natürlich derjenigen gerade entgegengesetzt ist, die der festgehaltene, von dem electrischen Strome durchlaufene Draht auf den beweglichen Magnet-

pol ausüben würde und sich daher mit Leichtigkeit nach der oben angegebenen Ampere'schen Regel bestimmen läßt.

Ist der das Rechteck durchlaufende Strom hinreichend stark, so wird dasselbe durch die Einwirkung des Magnetismus der Erde in die Richtung von Osten nach Westen oder genauer so gestellt, daß seine wagerechten Seiten auf der Richtung einer Deklinationnadel senkrecht stehen. Kehrt man die Richtung des Stromes um, indem man die Poldrähte in c und e vertauscht, so dreht sich das Rechteck um 180° und wendet nun diejenige Seite nach Süden, die vorher nach Norden gekehrt war. In beiden Fällen stellt sich das Rechteck so, daß der positive Strom die untere wagerechte Seite in der Richtung von Osten nach Westen durchläuft. (Vergl. unten S. 159.)

(Fig. 196.)



Bei den so eben beschriebenen Versuchen ist für den gebogenen Draht die Form des Rechtecks nicht wesentlich; man erhält dieselben Erscheinungen, wenn der Draht eine kreisförmige oder eine andere Gestalt hat. Sämmtliche Wirkungen, besonders aber die des Erdmagnetismus, werden verstärkt, wenn man den Draht nicht bloß eine Biegung, sondern mehrere spiralförmige Bindungen machen läßt.

Um die Einwirkung des Erdmagnetismus oder der Pole eines künstlichen Magneten auf einen beweglichen Strom zu zeigen, kann man sich auch der folgenden sehr einfachen, von de la Rive angegebenen Vorrichtung (Fig. 196) bedienen. In eine Scheibe von Kork wird ein Stück Zink Z und ein Stück Kupfer K gesteckt und beide Metalle werden durch einen gebogenen Kupferdraht ab mit einander verbunden. Bringt man

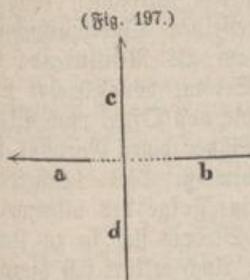
nun diesen Apparat auf gefäuertem Wasser zum Schwimmen, so stellt sich derselbe von selbst in die Richtung von Osten nach Westen.

***§. 158. Gegenseitige Wirkung zweier electrischen Ströme.**

Auch zwei electrische Ströme, welche beide beweglich sind, oder von denen der eine beweglich, der andere fest ist, zeigen eine gegenseitige Einwirkung auf einander, und zwar gelten hierüber die folgenden Gesetze:

1) Zwei parallele Ströme, welche dieselbe Richtung haben, ziehen sich an, und zwei parallele Ströme, welche entgegengesetzte Richtung haben, stoßen sich ab.

2) Wenn zwei Ströme ab und cd (Fig. 197) sich kreuzen, so findet Anziehung statt zwischen den Theilen b und d, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und zwischen den Theilen a und c, welche vom Kreuzungspunkte weggehen; Abstößung aber findet statt zwischen einem Theile, welcher nach dem Kreuzungspunkte hingehet, und einem solchen, welcher vom Kreuzungspunkte weggehet, also zwischen a und d und zwischen b und c.



(Fig. 197.)

3) Zwei sich kreuzende Ströme streben daher immer sich so zu stellen, daß sie einander parallel laufen und in derselben Richtung fortgehen, wie leicht daraus folgt, daß a und c und b und d einander

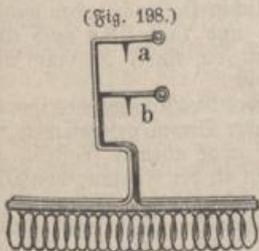
anziehen, aber a und d und b und c sich abstößen.

Um das erste Gesetz nachzuweisen, hat man nur nöthig, durch das bewegliche Rechteck klmn in Fig. 195 einen electricischen Strom zu leiten und neben einer verticalen Seite desselben einen senkrechten Strom in gleicher oder entgegengesetzter Richtung vorbeizuführen. Eben so läßt sich die Richtigkeit des zweiten und dritten Gesetzes leicht zeigen, wenn man in derselben wagerechten Ebene mit der unteren horizontalen Seite des Rechtecks oder unterhalb derselben einen die Richtung dieser Seite kreuzenden wagerechten Strom herleitet.

Ferner fügen wir zu den obigen Gesetzen noch das folgende hinzu: Die Kraft, mit welcher zwei Ströme sich anziehen oder abstößen, ist der Länge der auf einander wirkenden Theile, dem Producte der Intensitäten beider Ströme direct und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional.

***§. 159. Ampère's Theorie.**

Wenn man einen Kupferdraht (Fig. 198) schraubenförmig windet und die einzelnen Windungen um größerer Festigkeit willen mit seidenen Fäden an ein hölzernes Stäbchen bindet, hierauf den Draht mit den Spitzen a und b in die Quecksilberschälchen g und h des oben (Fig. 195) abgebildeten Apparates (statt des Rechtecks klmn) einhängt und einen electricischen Strom hindurchleitet, so wird dieser Schraubendraht durch die Einwirkung des Erdmagnetismus (nach §. 157) so gedreht, daß die einzelnen Windungen die Lage von Osten nach Westen annehmen, also die Aze des Cylinders von Norden nach Süden gerichtet ist oder vielmehr in die Ebene des magnetischen Meridians fällt. Dieser Schraubendraht, welchen Ampère ein Solenoid (von *σωλήν*, Röhre) nennt, vermag also die gewöhnliche Declinationsnadel zu ersetzen.



(Fig. 198.)

Gibt man dem Solenoid eine solche Einrichtung, daß sich dasselbe um eine durch seinen Schwerpunkt gehende wagerechte Aze drehen läßt, und stellt das Solenoid so auf, daß die verticale Drehungsebene desselben mit der Ebene des magnetischen Meridians zusammenfällt, so senkt sich das nach Norden gerichtete Ende und die Aze des Solenoids gibt die magnetische Neigung an.

Nennen wir das nach Norden gerichtete Ende den Nordpol, das andere den Südpol, so finden wir, daß bei zwei Solenoiden oder einem Solenoide und einem gewöhnlichen Magneten die gleichnamigen Pole sich abstoßen und die ungleichnamigen sich anziehen.

Dem zufolge sieht Ampère jeden gewöhnlichen Magneten so wie auch die Erde selbst als einen Körper an, dessen kleinste Theile von beständigen electrischen Strömen in einer zur Aze des Magneten senkrechten Richtung umkreist werden. Statt der die einzelnen Theile desselben Querdurchschnitts umkreisenden Ströme kann man sich auch, gleichsam als Resultirende derselben, größere, den ganzen Magneten umkreisende Ströme von gleicher Wirkung gesetzt denken. Bei der Erde müssen die Ströme von Osten nach Westen gehen, da dieselbe im Norden einen Südpol und im Süden einen Nordpol hat.

Nach Ampère's Theorie ergibt sich der oben §. 149 beschriebene Dersted'sche Fundamentalversuch als eine nothwendige Folge des allgemeinen Gesetzes, daß zwei aufeinander wirkende electrische Ströme sich so zu stellen streben, daß beide dieselbe, parallele Richtung haben. Auch erklärt sich hieraus, warum zwei Magneten, wenn sie einander mit den ungleichnamigen Polen genähert werden, sich anziehen, und wenn sie mit den gleichnamigen Polen einander genähert werden, sich abstoßen, weil im ersteren Falle die sie umkreisenden electrischen Ströme dieselbe, im letzteren Falle die entgegengesetzte Richtung haben.

Zur Veranschaulichung dieser Verhältnisse verfertigt man sich zwei Cylinder von Holz oder Papp, wie Fig. 199 deren einen darstellt, und bezeichnet durch Pfeile die

(Fig. 199.)



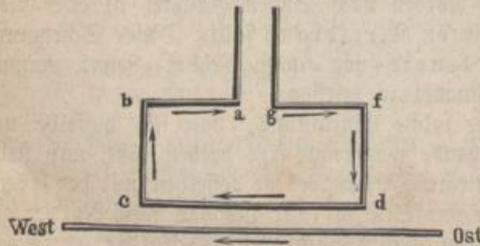
Richtung der electrischen Ströme, von denen man sich dieselben umkreist denkt. N ist alsdann der Nordpol, S der Südpol. Nähert man zwei solche Cylinder einander mit den ungleichnamigen Polen, so sieht man, daß die Ströme gleiche Richtung haben und sich

folglich anziehen müssen; das Gegentheil findet statt, wenn man die gleichnamigen Pole einander nähert.

Eine Verschiedenheit zwischen dem galvanischen Schraubendrahte (Solenoid) und einem gewöhnlichen Magneten zeigt der folgende zuerst von Poggendorf in Berlin ausgeführte Versuch. Wenn man einen hohlen Stahlmagneten, in dessen Höhlung sich eine gläserne Röhre befindet, aufrecht stellt und in die Röhre eine magnetisirte Stahlnadel so einsetzt, daß die Nadel und der Stab die nämlichen Pole nach oben wenden, so begibt sich die Nadel an das obere Ende der Röhre und ragt selbst noch etwas darüber hervor. Bei dem Schraubendrahte dagegen sinkt die Nadel bis zur Mitte und bleibt hier schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Wir haben oben in §. 157 gesehen, daß ein bewegliches Rechteck, welches um eine verticale Aze drehbar ist, wenn durch dasselbe ein electrischer Strom geleitet wird, sich senkrecht auf die Ebene des magnetischen Meridians und zwar allemal so stellt, daß der electrische Strom die untere wagerechte Seite desselben in der Richtung von Osten nach Westen durchläuft. Die Erklärung dieser Erscheinung ergibt sich aus der

(Fig. 200.)



Ampère'schen Theorie in folgender Art: Es sei abcdg (Fig. 200) das bewegliche Rechteck, durch welches ein electrischer Strom in der Richtung, welche die beigezeichneten Pfeile anzeigen, geleitet wird. Wie wir bereits oben gesehen haben, gehen die electrischen Ströme, von welchen wir uns nach Ampère die Erde umkreist denken, von Osten nach Westen. Diese Richtung möge durch die unterhalb des Rechtecks angebrachte Linie ausgedrückt sein. Da in den

wagerechten Seiten des Rechtecks *bc* und *cd* der electriche Strom eine entgegengesetzte Richtung hat, so muß die Wirkung des Erdstromes auf dieselben sich aufheben, indem eine Ungleichheit in der Entfernung derselben von dem Erdströme offenbar nicht in Betracht kommen kann. Es bleibt daher nur noch die Einwirkung desselben auf die senkrechten Theile *bc* und *cd* zu berücksichtigen. Zufolge des in §. 158 aufgestellten zweiten Gesetzes wird *bc* von den westlich gelegenen Theilen des Erdstromes angezogen, von den östlich gelegenen abgestoßen, dagegen *cd* von den östlich gelegenen Theilen des Erdstromes angezogen und von den westlich gelegenen abgestoßen. Das Rechteck muß daher durch die Einwirkung des Erdstromes in die in der Figur abgebildete Stellung geführt werden, so daß der electriche Strom in der unteren wagerechten Seite mit dem Erdströme gleiche Richtung hat, also von Osten nach Westen geht.

Da das über das Rechteck Gesagte sich offenbar auch auf einen kreisförmig gebogenen Draht übertragen läßt, so muß ein in wagerechter Richtung drehbarer Schraubendraht sich so stellen, daß seine Windungen die Ebene des magnetischen Meridians senkrecht durchschneiden und folglich seine Aze in diese Ebene, also mit der Richtung der Declinationsnadel zusammenfällt.

§. 160. Electromagnetische Rotationen.

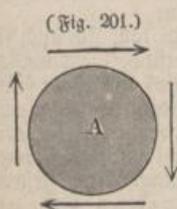
Es sei *A* (Fig. 201) der senkrechte (im vergrößerten Maßstabe) abgebildete Durchschnitt eines Drahtes, welchen der electriche Strom, wie wir annehmen wollen, in der Richtung von der vorderen nach der hinteren Seite des Papiers durchläuft; dann wird der Nordpol einer über, unter oder neben dem Drahte angebrachten Magnetnadel, zufolge der §. 149 angegebenen Regel, in der Richtung abgelenkt, wie dieses die der Figur beigefügten Pfeile anzeigen, während der Südpol gerade nach der entgegengesetzten Richtung abgelenkt wird. Der bloße Anblick der Figur führt auf die Vermuthung, daß der electriche Strom den Nordpol,

wenn er sich frei bewegen könnte, in einem Kreise um den Draht in der Richtung, welche die Pfeile zeigen, den Südpol aber in der entgegengesetzten Richtung herumführen würde. Diese Vermuthung kann in der That durch den Versuch bestätigt werden.

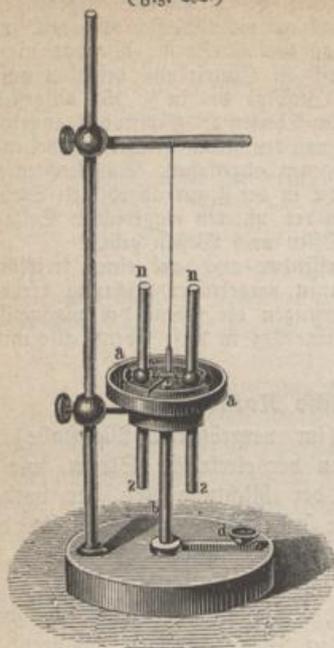
Führt man nämlich einen electriche Strom in paralleler Richtung mit der Aze eines Magnetstabes neben der einen Hälfte, z. B. neben der nördlichen Hälfte desselben her und trifft die Einrichtung so, daß sich der Magnetstab im Kreise um den electriche Strom bewegen kann, so sieht man denselben bei geschlossener Kette um den festen Strom in einer Richtung rotiren, welche der Ampère'schen Regel entspricht. Denkt sich nämlich der Beobachter selbst in den Strom so versetzt, daß derselbe von den Füßen nach dem Kopfe geht, und ist der Beobachter mit dem Gesichte fortwährend nach dem Nordpol des beweglichen Magnetstabes hingewendet, so umkreist dieser den Beobachter in der Richtung von rechts nach links. Die Umkreisung erfolgt in der entgegengesetzten Richtung, wenn man die Richtung des Stromes umkehrt. Dasselbe ist der Fall, wenn der Strom nicht neben der Nord-, sondern neben der Südhälfte des Magnetstabes her geführt wird.

Ist dagegen der Magnetstab fest und der Strom, welcher längs der einen Hälfte des Magnetstabes hergeht, beweglich, so umkreist der bewegliche Strom den festen Magnetpol in einer Richtung, welche der in den angeführten Versuchen beobachteten entgegengesetzt ist.

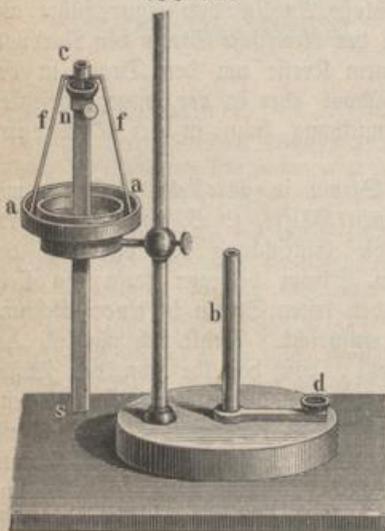
Zur Ausführung des ersten der so eben besprochenen Versuche kann der in Fig. 202 abgebildete Apparat dienen. An einem feinen Faden ist ein Metallstäbchen aufgehängt,



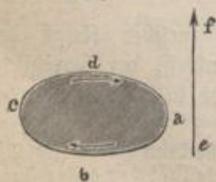
(Fig. 202.)



(Fig. 203.)



(Fig. 204.)



welches unten in eine Spitze endet, mit der es in Quecksilber taucht, welches sich in einer Höhlung am oberen Ende eines metallenen Stabes *b* befindet. Mit dem Metallstäbchen ist in horizontaler Richtung ein Querstab fest verbunden, durch dessen kugelförmige Enden zwei Magnetstäbe in senkrechter Richtung so gesteckt sind, daß beide die gleichnamigen Pole nach oben und unten wenden. Von der Mitte des Querstabes aber geht ein an demselben befestigter Draht aus, welcher mit der herabgebogenen Spitze in das Quecksilber der kreisförmigen Rinne *aa* taucht. Verbindet man nun das Quecksilber dieser Rinne mit dem einen Pole und das Quecksilberschälchen *a*, welches mit der metallenen Säule *b* in leitender Verbindung steht, mit dem anderen Pole einer galvanischen Batterie, so wirkt der durch die Säule *b* gehende Strom auf die nach unten gerichteten Pole beider Magnetstäbe und treibt dieselben zur rotirenden Bewegung an.

Das nämliche Stativ läßt sich auch für den entgegengesetzten Versuch, die Rotation eines beweglichen Stromes um einen festen Magnetpol zu zeigen, benutzen. Zu diesem Zwecke wird innerhalb der Rinne *aa* (Fig. 203) eine Korkscheibe angebracht und durch deren Mitte ein verticaler Magnetstab gesteckt. Dieser trägt an seinem oberen Ende ein Quecksilberschälchen, auf welchem vermittelt einer feinen Spitze ein kupferner Bügel *ff* balancirt, welcher oben ebenfalls ein Quecksilberschälchen *c* trägt, mit den Spitzen der abwärts gehenden Schenkel aber in das Quecksilber der Rinne *aa* taucht. Wird dieses nun mit dem einen Pole der Batterie verbunden, während die Spitze des anderen Poldrahtes in das Quecksilber des Schälchens *c* taucht, so werden beide Schenkel des kupfernen Bügels von dem electrischen Strome in gleicher Richtung durchlaufen und daher auch von dem oberen Pole des Magnetstabes in gleichem Sinne zur rotirenden Bewegung angetrieben.

Endlich führen wir noch kurz an, daß auch ein Magnetstab, durch dessen eine Hälfte man einen electrischen Strom führt, zum Rotiren um seine Aze gebracht werden kann. (Auch für diesen Versuch läßt sich das in den beiden vorhergehenden Versuchen angewendete Stativ benutzen.)

Sowohl die Rotation eines beweglichen Stromes um einen festen Magnetpol als eines beweglichen Magnetpols um einen festen Strom läßt sich nach der Ampère'schen Theorie auf das Gesetz zurückführen, welches wir oben über die gegenseitige Anziehung und Abstoßung der Theile sich kreuzender Ströme mitgetheilt haben. Um dieses zu zeigen, sei *abcd* (Fig. 204) der wagerechte Durchschnitt eines Magnetpoles, welchen wir uns nach der Ampère'schen Theorie von electrischen Strömen in der Richtung *abcd* umkreist denken wollen, und *ef* ein durch

einen senkrechten Draht aufwärts gehender Strom. Dann muß zwischen dem Strome *ef* und dem Theile *abc* Anziehung und zwischen *ef* und *oda* Abstoßung stattfinden. Wenn daher, wie in dem zuletzt beschriebenen Versuche, der Draht *ef* sich um den festen Magnetpol bewegen kann, so muß er denselben in der Richtung *abcd* umkreisen. Ist dagegen der Draht *ef* fest und der Magnetpol *abcd* beweglich, wie in dem zuerst im Texte angeführten Versuche, so wird der Magnetpol um den festen Strom herumgeführt werden.

Da nach der Ampère'schen Theorie auch die Erde von electricischen Strömen umkreist ist, so begreift man hiernach ohne Schwierigkeit, daß auch ein leicht beweglicher Strom durch die bloße Einwirkung des Erdmagnetismus zum Rotiren gebracht werden kann. Weiter sieht man auch leicht ein, daß sich der feste Magnetpol durch einen kreisförmig circulirenden electricischen Strom, z. B. durch einen spiralförmig gewundenen Kupferdraht oder Streifen, dessen Windungen durch Seide gehörig isolirt sind, und durch welchen man einen electricischen Strom führt, ersetzen läßt, und daß dieser ebenfalls ein Rotiren des beweglichen Drahtes *ef* herbeiführen muß.

§. 161. Electricische Induction.

Wir haben oben (§. 130) gesehen, daß der Entladungstrom einer electricischen Flasche in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen electricischen Nebenstrom hervorruft, welcher, wenn auch in schwächerem Maße, alle Erscheinungen des Hauptstromes zeigt. Dasselbe ist, (wie Faraday zuerst 1831 gezeigt hat), auch dann der Fall, wenn in der Nähe eines geschlossenen Leiters ein galvanischer Strom entsteht oder verschwindet, oder wenn dem Leiter ein galvanischer Strom genähert oder von demselben entfernt wird.

Faraday nennt den durch Einwirkung eines electricischen Stromes entstehenden secundären Strom den inducirten, den primären Strom aber den inducirenden.

Um die Erscheinungen des durch einen galvanischen Strom inducirten Nebenstromes zu zeigen, umwindet man zwei hölzerne Spulen mit umsponnenem Kupferdrahte. Bringt man nun die Enden des Drahtes der einen Rolle mit den Polen einer galvanischen Batterie, die Enden des Drahtes der andern Rolle mit den Enden des Drahtes eines Multiplicators in leitende Verbindung, so erleidet die Multiplicatornadel eine Ablenkung, so wie man die eine Rolle der andern nähert. Die Nadel kehrt zu ihrer normalen Lage zurück, wenn man die Rollen einander nicht weiter nähert, und sie erfährt eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man die Drahtrollen von einander entfernt. Hat man die Rollen einander genähert und die Drähte der einen Rolle mit den Drähten des Multiplicators verbunden, und bringt man erst jetzt die Drähte der andern Rolle mit den Polen der galvanischen Batterie in Verbindung, so erleidet die Multiplicatornadel in dem Moment, in welchem die Kette geschlossen, also der inducirende Strom hervorgerufen wird, eine Ablenkung nach derselben Seite, nach welcher sie vorher bei Annäherung der Rolle abgelenkt wurde, und sie erfährt eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite in dem Augenblicke, in welchem man die Kette öffnet, (den inducirenden Strom unterbricht).

Aus der Ablenkung der Magnetnadel ergibt sich, daß der bei der Annäherung des inducirenden Stromes oder bei Schließung der Kette entstehende inducirte Strom die entgegengesetzte Richtung von dem inducirenden, der aber bei Entfernung des inducirenden Stromes oder bei Oeffnung der Kette entstehende inducirte Strom die nämliche Richtung wie der inducirende Strom hat.

Die inducirten Ströme vermögen selbst wieder in benachbarten Leitern inducirte Ströme zweiter Ordnung, diese wieder inducirte Ströme dritter Ordnung u. s. w. hervorzurufen.

Die inducirten Ströme zeigen nicht bloß magnetische Wirkungen, sondern vermögen auch alle anderen Erscheinungen des Hauptstromes, insbesondere electrische Funken, Erschütterungen u. s. w. hervorzubringen und befolgen im allgemeinen die in §. 130 über den Nebenstrom angegebenen Gesetze.

Die inducirten Ströme unterscheiden sich von den galvanischen Strömen darin, daß sie nur eine vorübergehende oder momentane Dauer haben; sie übertreffen dieselben in dem Vermögen, Leitungswiderstände zu überwinden; die inducirten Ströme lassen sich daher ohne beträchtliche Schwächung durch feine Drähte oder unvollkommene Leiter, wie z. B. den menschlichen Körper, fortführen und zeigen deshalb auch vorzüglich lebhaft physiologische Wirkungen.

Bei den Versuchen über die electrische Induction wendet man am zweckmäßigsten zwei Drahtspiralen an, von denen die eine auf einen hohlen hölzernen Cylinder gewunden ist, dessen Höhlung eine solche Weite hat, daß sich die andere Spirale, welche einen Cylinder von gleicher Höhe, aber kleinerem Durchmesser bildet, in dieselbe einsetzen läßt. Da die Stärke des inducirten Stromes im allgemeinen mit der Zahl der Windungen der Spiralen zunimmt, andererseits ein galvanischer Strom in einem langen dünnen Drahte vermöge des Leitungswiderstandes desselben eine bedeutende Schwächung erfährt, während dies in viel geringerem Maße bei dem inducirten Strom der Fall ist, so wendet man für die Fortleitung des galvanischen inducirenden Stromes einen kürzeren, dickeren Kupferdraht (von etwa 100 bis 200 Fuß Länge und 1 Linie Dicke), für den inducirten Strom einen längeren dünneren Draht (von etwa 1000 bis 2000 Fuß Länge und etwa $\frac{1}{4}$ Linie Dicke) an. — Will man nur diejenigen Erscheinungen zeigen, welche beim Eintreten und Verschwinden des galvanischen Stromes entstehen, so kann man beide Drähte unmittelbar über einander auf die nämliche Spule wickeln. Man erhält dann, weil beide Drähte einander möglichst nahe gebracht sind, besonders kräftige Wirkungen. Verbindet man die Enden des dicken Drahtes mit den Polen einer galvanischen Batterie und nähert die Enden des dünnen Drahtes einander bis auf einen kleinen Abstand, so sieht man zwischen denselben bei jedem Öffnen und Schließen der Kette des galvanischen Stromes einen Funken überspringen; hat man aber die Enden des dünnen Drahtes oder noch besser mit denselben verbundene metallene Griffe mit den Händen angefaßt, so empfindet man jedesmal eine Erschütterung u. dgl. m.

Die Wirkung, welche zwei Inductionspiralen auf einander ausüben, wird geschwächt, wenn sich in ihrer Nähe oder zwischen denselben ein geschlossener Leiter, z. B. eine geschlossene Drahtspirale oder eine Metallplatte befindet. Es dürfen daher auch die Spiralen, welche zu Inductionsversuchen dienen sollen, nicht auf metallene Hülsen gewunden sein. Der störende Einfluß metallener Hülsen wird beseitigt, wenn man dieselben ausschließt.

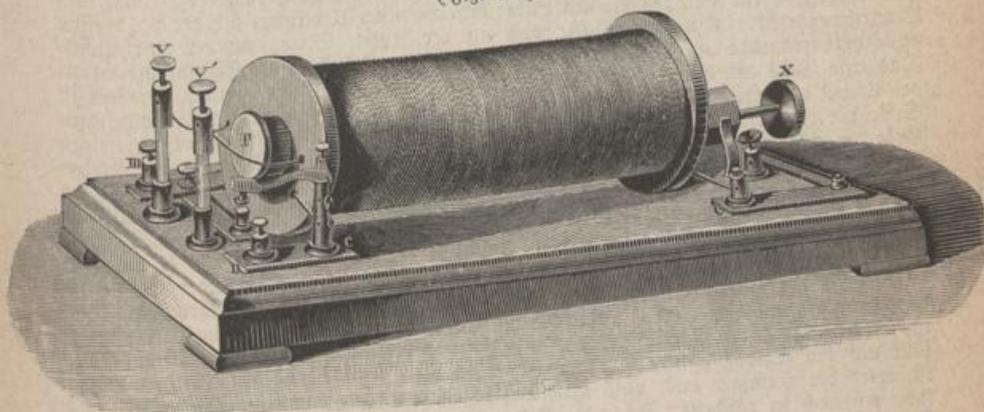
Faraday hat ferner gefunden, daß ein electrischer Strom nicht bloß in benachbarten Leitern, sondern auch in dem Leiter selbst, welchen er durchläuft, einen inducirten Strom erregt, welchen Faraday den Extrastrom nennt. Man kann diesen Strom als eine Wirkung, welche die einzelnen Windungen der Drahtspirale auf einander ausüben, ansehen, oder man kann sich auch den Draht aus solchen Theilen bestehend denken, welche von dem electrischen Strom durchlaufen werden, und aus solchen, durch welche der Strom nicht geht, und in denen derselbe daher beim Öffnen und Schließen der Kette einen inducirten Strom hervorruft. Eine Wirkung dieses Extrastromes sind folgende Erscheinungen: Wenn man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht schließt, so bemerkt man beim Öffnen der Kette nur einen schwachen Funken; eine Erschütterung nimmt man nicht wahr, auch wenn man die Drähte in den angefeuchteten Händen hält. Hat man aber die Kette durch einen langen spiralförmig aufgewundenen (übersponnenen) Draht geschlossen, so zeigt sich beim Öffnen derselben ein weit lebhafterer Funke, und wenn man die Drähte in den angefeuchteten Händen hält, oder wenn man mit diesen verbundene größere Metallstücke angefaßt hat, welche an die Drähte angelötet sind, so empfindet man beim Öffnen der Kette eine heftige Erschütterung. Beim Schließen der Kette findet keine erhebliche Wirkung

statt, weil hierbei der inducirende und der inducirte Strom entgegengesetzte Richtung haben, also sich gegenseitig schwächen. Beim Öffnen der Kette dagegen haben beide Ströme dieselbe Richtung, daher die verstärkte Wirkung.

Diese Wirkung wird noch erhöht, wenn innerhalb der Hülse, um welche der Draht gewunden ist, sich ein Cylinder aus weichem Eisen oder noch besser ein Bündel überfirnishter Stäbe aus weichem Eisen befindet. Den Grund dieser Erscheinung werden wir im folgenden Paragraphen kennen lernen.

Man benützt den Extrastrom vorzüglich bei den kleinen Inductionsapparaten, welche Neeff (zuerst 1838) mit Benutzung des Wagner'schen Hammers (s. unten) construirt hat. Da diese Apparate jedoch hauptsächlich nur für medicinische Zwecke bestimmt sind, so verweilen wir bei denselben nicht und gehen sogleich zur Beschreibung des durch die kräftigsten und überraschendsten Wirkungen ausgezeichneten Apparates von Rhumkorf's über, welchen derselbe zuerst 1851 ausgeführt hat und den Fig. 206 in perspectivischer Ansicht darstellt. Wir unterscheiden an diesem Apparate

(Fig. 206.)

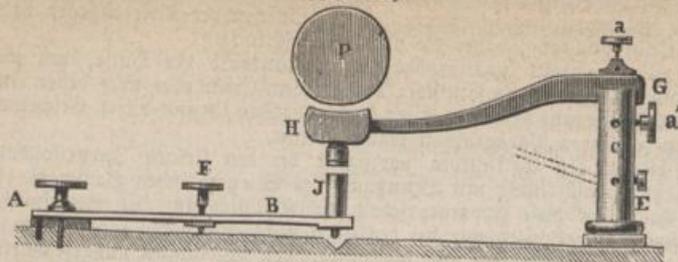


folgende drei Haupttheile: die Inductionsrolle, den electromagnetischen Hammer, welcher sich an dem einen Ende des Apparates, in unserer Figur an der linken Seite befindet, und den Commutator, welcher am anderen Ende des Apparates, also in unserer Figur an der rechten Seite, angebracht ist.

Die Inductionsrolle besteht aus einer dünnen Spule von Pappe; um diese ist zunächst ein gehörig isolirter, 2 Millimeter (ungefähr 1 Linie) dicker und verhältnismäßig kurzer Draht gewickelt, durch welchen der galvanische Strom geführt wird; über diesen dickeren und kürzeren Draht ist dann ein äußerst feiner 8 bis 10 Kilometer (also mehr als eine geogr. Meile) langer und mit Seide umspinnener Draht gewunden. An den Enden der Rolle sind zur Befestigung des Ganzen zwei Scheiben, gewöhnlich von dickem Glase angebracht, in welche Löcher eingebohrt sind, durch welche die Enden der Drähte gehen. Innerhalb der Spule aber befindet sich ein Bündel von Eisendrähnen, dessen Enden mit Platten von weichem Eisen bedeckt sind.

Der magnetische Hammer oder Stromunterbrecher, welcher die Bestimmung hat, den galvanischen Strom in raschster Folge zu unterbrechen und wieder herzustellen, ist von Wagner in Frankfurt erfunden und durch Neeff (1839) beschrieben worden und hat seitdem bei mannigfaltigen electromagnetischen Apparaten Anwendung gefunden. Die Einrichtung desselben bei dem Rhumkorf'schen Apparat zeigt die (nach etwas größerem Maßstabe ausgeführte) Fig. 206. Ein metallischer Hebel GH ruht mit einem Ende G, um welches er äußerst leicht drehbar ist, auf der ebenfalls metallischen Säule c; um zwischen beiden eine vollkommen leitende Verbindung herzustellen, ist in dieselben ein feiner Silberdraht mit seinen Enden durch die Schrauben a und a' eingeklemmt. An dem anderen Ende H des Hebels ist an demselben ein weiches Eisenstückchen, der Hammer, befestigt, an welchem unten eine kleine Kupferplatte angelötet ist, welche selbst wieder mit einem Platinblättchen bedeckt ist. Unter dem Hammer H befindet sich ein kupfernes Säulchen J (der Amboss), welches oben ebenfalls mit einem Platinblättchen bedeckt ist, mit seinem unteren Ende aber auf einem

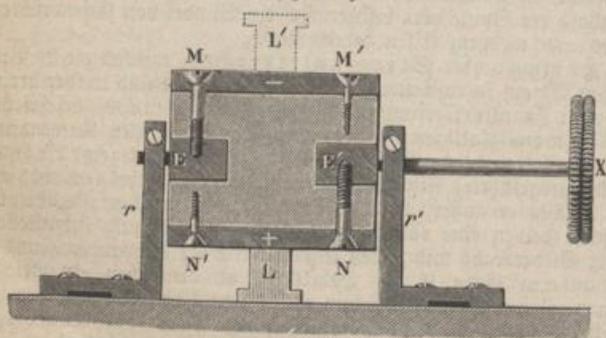
(Fig. 206.)



Kupferstreifen AB aufsteht, welcher durch die Schraube F etwas gehoben oder gesenkt werden kann, wodurch sich der Abstand zwischen dem Hammer und Amboß vermindern oder vergrößern läßt. So lange kein Strom durch die Kette geht, ruht der Hammer auf dem Amboß. — In geringem Abstände über dem Hammer H befindet sich der Pol P eines Electromagneten, in unserem Falle das an der linken Seite aus der Inductionsröle hervorragende und mit einer eisernen Kappe bedeckte Ende des Eisendrahtbündels. Das eine Ende des dickeren, das Eisendrahtbündel zunächst umgebenden Drahtes ist bei E mit dem metallischen Säulchen c verbunden, das andere an der entgegengesetzten Seite der Inductionsröle austretende Ende dieses Drahtes aber führt nach dem einen Pole der galvanischen Batterie, während der andere Pol derselben mit dem Kupferstreifen AB in leitender Verbindung steht. Nehmen wir an, daß der erstere Pol der positive, der letztere der negative ist, so geht der electriche Strom zunächst durch den dickeren Draht der Inductionsröle und dann weiter über EGHJBA nach der Batterie zurück, da, wie schon oben bemerkt, im Zustande der Ruhe der Hammer H auf dem Amboß J aufliegt. Indem aber in Folge hiervon das Eisendrahtbündel magnetisch wird, wird der Hammer H von dem Pole P angezogen, und die Berührung zwischen dem Hammer und dem Amboß aufgehoben. Da hiermit die Stromleitung unterbrochen ist, so verschwindet der Magnetismus in dem Eisendrahtbündel wieder und der Hammer H fällt auf den Amboß J herab. Indem aber so die Stromleitung aufs neue hergestellt ist, wird der Hammer auch aufs neue angezogen, und das nämliche Spiel wiederholt sich, wodurch in raschster Folge die Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet wird. Man sieht hierbei zwischen Hammer und Amboß sowohl beim Schließen als beim Öffnen der Kette unausgesetzt kleine Funken überspringen. Dieselben werden jedoch verringert, oder verschwinden, wenn der Draht der Inductionsröle metallisch geschlossen ist.

Den dritten Theil des Rhuemkors'schen Apparates bildet der Commutator, Gyrotrop oder Stromwender, welcher die Bestimmung hat, den electriche Strom bald in der einen, bald in der entgegengesetzten Richtung durch den Schließungsbogen der Batterie zu führen, ohne daß man nöthig hat, die Poldrähte selbst zu vertauschen. Der Commutator gehört überhaupt zu den Nebenapparaten der galvanischen Geräthschaft und kann in sehr mannigfaltiger Weise hergestellt werden. Bei dem Rhuemkors'schen Apparate, wo der magnetische Hammer an dem einen, der Commutator an dem

(Fig. 207.)

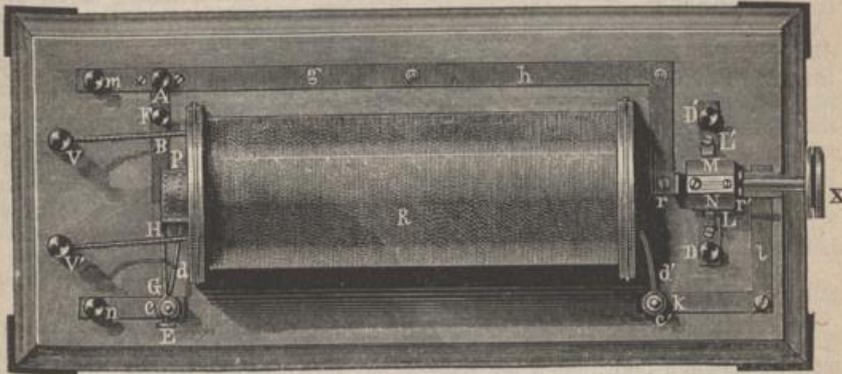


entgegengesetzten Ende der Inductionspirale angebracht ist, besteht derselbe aus einem um seine Aze drehbaren elfenbeinernen Cylinder, auf welchem zwei metallene Streifen MM' und NN' (Fig. 207*) durch Schrauben von ungleicher Länge befestigt sind. Die längeren Schrauben M und N reichen bis in die in den elfenbeinernen Cylinder eingesenkten,

*) Auch diese Figur ist nach etwas größerem Maßstabe ausgeführt.

metallenen Drehungszapfen E und E'; die kürzeren Schrauben M' und N' erreichen diese Zapfen nicht, welche mit ihrer Aze auf zwei metallenen Stützen r und r' ruhen. An den Cylindern legen sich zwei metallene Federn L und L', welche an zwei metallenen Säulen D und D' (Fig. 205 und 208; in Fig. 205 ist nur eine dieser Säulen D sichtbar), befestigt sind, welche mit den Polen der Batterie in unmittelbarer Verbindung stehen, während das eine Ende d des inneren, dickeren Drahtes der Inductionsröhle mit der metallenen Stütze r, das andere Ende d' mit der anderen Stütze r' verbunden ist, wie dieses Fig. 208 ausführlicher zeigt. Nehmen wir nun an, daß der

(Fig. 208)



positive Pol der Batterie mit der Feder L, der negative Pol mit der Feder L' verbunden ist, so geht der positive Strom durch die Schraube N nach der Stütze r' und in das mit dieser verbundene Ende des dickeren Drahtes der Inductionspirale, durchläuft denselben in der Richtung von r' nach r, gelangt dann durch die Schraube N nach der Feder L' und dem mit dieser verbundenen negativen Pole der Batterie, wenn der Cylinder des Commutators die in Fig. 207 abgebildete Stellung hat. Wird derselbe aber um 180° mittelst des Handgriffes X gedreht, so muß der positive Strom den Draht der Inductionspirale in der entgegengesetzten Richtung durchlaufen. Derselbe geht nämlich jetzt von L über M nach r, durchläuft den Draht der Inductionsröhle von r nach r' und geht dann weiter von r' über N und L' nach dem negativen Pole der Batterie zurück.

In welcher Art aber die Stützen r und r' mit den Enden d und d' des inneren, dickeren Drahtes verbunden sind, wird sich am deutlichsten aus Fig. 208 ergeben, welche den Apparat von oben gesehen darstellt. Die Stütze r' zunächst ist durch einen auf dem hölzernen Gestell aufgeschraubten Metallstreifen ik mit dem metallenen Säulchen c', an welchem das eine Drahtende d' befestigt ist, verbunden. Ein eben solcher Metallstreifen gh verbindet die andere Stütze r mit dem Ende A des Kupferstreifens AB, welcher am anderen Ende den Amboss J (Fig. 206) trägt. Dieser wird in der Ruhelage von dem Hammer berührt, dessen Hebelarm GH auf dem oberen Ende der metallenen Säule c ruht, an welcher unten das andere Drahtende d durch die Schraube E festgeklemmt ist.

An Fig. 208 knüpfen wir noch eine vollständige Angabe über den Verlauf, welchen der galvanische Strom durch die verschiedenen Theile des Apparates nimmt, indem wir hierbei annehmen, daß der Commutator die in Fig. 207 abgebildete Stellung hat, und daß der positive Pol mit der Säule D, der negative mit der Säule D' verbunden ist; dann ergibt sich für den galvanischen Strom, wenn der Hammer auf dem Amboss aufliegt, also die Kette geschlossen ist, folgender Weg: DLr'kc'd'acGHBAgrL'D'.

Ueber den äußeren sehr langen und feinen Draht, in welchem der inducirte Strom erregt werden soll, haben wir nur noch anzuführen, daß die Enden desselben an den metallenen Köpfen zweier gläsernen Säulchen V und V' (Fig. 205 und 208) befestigt sind, welche wir im Folgenden als die beiden Pole des Apparates bezeichnen wollen. Die Klemmschrauben m und n aber, welche durch Metallstreifen mit dem Amboss und dem Hammer in Verbindung stehen, haben die Bestimmung, den Extrastrom auffangen zu können.

Endlich müssen wir noch als eines Nebenapparates, welcher jedoch wesentlich zur Steigerung der Wirkung des Hauptapparates beiträgt, des durch Fizeau hinzugefügten

Condensators Erwähnung thun. Derselbe besteht aus zwei Stanniolblättern von etwa 10 Fuß Länge und $\frac{1}{2}$ Fuß Breite, welche durch einen etwas längeren und breiteren Streifen von Wachstaffet von einander getrennt sind. Dieser Condensator wird nun zwischen zwei eben solche Streifen von Wachstaffet gelegt, dann zusammengefaltet und in einem Fach des hölzernen Gestelles des Apparates untergebracht. Die eine Belegung wird mit dem Amboß, die andere mit dem Hammer mittelst der Klemmschrauben m und n, (Fig. 205 und 208), in Verbindung gebracht, welche, wie schon oben bemerkt, für die Auffangung des Extrastromes bestimmt sind.

Von den äußerst mannigfaltigen Wirkungen des Apparates müssen wir uns darauf beschränken, die folgenden hervorzuheben, für deren Hervorrufung in der Regel ein galvanischer Strom, welchen ein oder zwei Grove'sche Elemente liefern, ausreicht.

Höchst kräftig sind zunächst die physiologischen Wirkungen. Als der französische Physiker Quet zufällig mit den Poldrähten des von Rumkorf ausgeführten Apparates in Berührung kam, wurde er zu Boden geworfen, und er würde wahrscheinlich das Leben verloren haben, wenn nicht Rumkorf zur Hülfe gekommen wäre. — Man kann jedoch auch die physiologischen Wirkungen beliebig ermäßigen, indem man entweder den inducirten Strom durch Einschaltung eines Leitungswiderstandes, z. B. einer mit Wasser oder Spiritus gefüllten Röhre schwächt; oder man verbindet die beiden Pole durch einen nicht sehr dicken und allzu kurzen Draht und bringt dann erst die Theile des menschlichen Körpers, durch welche man den Strom leiten will, mit den Polen in leitende Verbindung.

Die chemischen und magnetischen Wirkungen sind im allgemeinen schwach und zum Theil schwieriger zu beobachten.

Großes Interesse gewähren dagegen die Licht- und Wärmeerscheinungen. Nähert man die Enden der Poldrähte einander bis auf einen kleinen Abstand, so sieht man zwischen denselben, wenn der Apparat in Thätigkeit ist, lebhafteste Funken überspringen. Die Funken sind länger, wenn die Unterbrechungen des galvanischen Stromes zwischen Hammer und Amboß langsamer stattfinden und können mehrere Zoll Länge erreichen. Sie sind viel kürzer, aber kräftiger, wenn die Poldrähte in Kugeln enden. Sind an denselben sehr feine Eisendrähte angebracht, und werden diese einander bis auf einen kleinen Abstand genähert, so wird der mit dem negativen Pole (vergl. unten Spannungsercheinungen) verbundene feine Eisendraht glühend und verbrennt*). Das Glühen hört auf, wenn die Drähte einander berühren. — Laufen die Poldrähte in Kohlenspitzen aus, so zeigt sich, wenn dieselben einander hinreichend genähert werden, ebenfalls an der mit dem negativen Pole verbundenen Spitze ein stark strahlender, vollkommen weißer Lichtschein, an der anderen Spitze dagegen nur ein röthlicher Schein.

Höchst prachtvoll sind die Lichterscheinungen der atmosphärischen Luft oder andere Gase oder Dämpfe im höchst verdünnten Zustande enthaltenden gläsernen (Geißler'schen) Röhren, in welche zwei Drähte eingeschmolzen sind, deren innere, in kleine Kugeln auslaufende Enden um einen mäßigen Abstand von einander entfernt sind, während die äußeren Enden mit den Polen des Apparates verbunden werden. Der Knopf des negativen Poles erscheint von einem bläulichen Lichte eingehüllt, der Knopf des positiven Poles aber von rothem Lichte umgeben, welches letztere in Schichten, die durch dunkle Streifen getrennt sind, sich nach dem negativen Pole hin ausbreitet. Die Erscheinung unterliegt mannigfachem Wechsel, wenn die Metallknöpfe in der Röhre einander genähert werden, wenn dem luftverdünnten Raume Dämpfe flüchtiger Substanzen, wie Terpentinöl, Alkohol, Naphta u. s. w. beigemischt sind, wenn die Unterbrechungen des galvanischen Stromes zwischen Hammer und Amboß rascher oder langsamer erfolgen, wenn der inducirte Strom einen bedeutenden Leitungswiderstand zu überwinden hat u. dgl. m.

Sind die beiden Pole des inducirten Stromes durch eine größere oder kleinere Luftschicht von einander getrennt, so treten an denselben electrische Spannungsercheinungen auf. Bringt man, während der Apparat in Thätigkeit ist, ein Electroscop mit einem der beiden Pole auf einen Augenblick in Berührung, so ladet sich dasselbe mit Electricität; es hängt jedoch ganz vom Zufall ab, ob diese positiv oder negativ ist. Nähert man aber das Electroscop dem einen Pole nur so weit, daß Funken auf dasselbe überspringen, so erhält man beständig aus dem einen Pole positive, aus dem andern negative Electricität und zwar diejenige, welche diesem Pole nach der Richtung zukommt, welche der inducirte Strom hat, der durch Deffnung des galvanischen Stromes

*) also gerade umgekehrt wie bei dem galvanischen Strom (S. 146, Anm.).

herborgerufen wird. Daß der durch das Schließen des galvanischen Stromes erzeugte Strom hierbei keine Wirkung äußert, erklärt sich (nach Poggendorf) daraus, daß beim Schließen der Kette der Draht des galvanischen Stromes einen zusammenhängenden Leiter bildet, welcher, wie jeder in der Nähe eines inducirten Stromes befindliche geschlossene Leiter, verzögernd oder schwächend auf den inducirten Strom zurückwirkt.

Bringt man den einen Pol mit der Erde in leitende Verbindung, so ladet sich das dem anderen Pole genäherte Electroscop schon in größerer Entfernung, als in welcher Funken überschlagen, durch Ausstrahlung. — Hat man dem einen Pole durch Annäherung eines mit dem Erdboden verbundenen Leiters eine Zeit lang Funken entzogen, so zeigt sich nach Aufhören des Stromes die ganze Inductionssrolle mit der dem andern Pole entsprechenden Electricität geladen. —

Endlich wollen wir noch bemerken, daß die an den Drahtenden der Inductionsspirale auftretende Electricität an demjenigen Ende, welches von den äußeren Windungen herkommt, es mag dasselbe den positiven oder negativen Pol bilden, eine größere Spannung besitzt, als an dem anderen Ende, welches von den inneren Windungen entspringt, und daß sich daher jenem leichter als diesem Funken durch genäherte Leiter entziehen lassen.

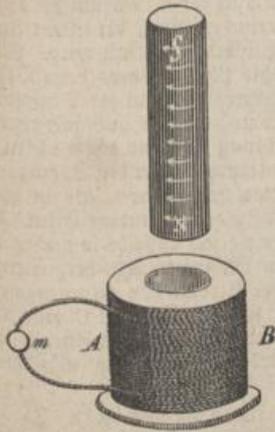
So wie nach dem Obigen jeder galvanische Strom nicht bloß in genäherten geschlossenen Leitern, sondern auch in dem Leiter selbst, welchen er durchläuft, einen inducirten, den so genannten Extrastrom hervorruft, so wird, wie Rief (1859) gezeigt hat, auch durch den Entladungsstrom einer electrischen Flasche oder Batterie in dem Schließungsbogen derselben ein Nebenstrom erregt.

§. 162. Magnetische Inductionen oder magnetelectrische Erscheinungen.

Nach der Ampere'schen Theorie haben wir uns jeden Magneten als einen Körper vorzustellen, dessen Theile von gleich gerichteten electrischen Strömen umkreist werden, deren Ebenen auf der Aze des Magneten senkrecht stehen. Hiernach müssen in einem Leiter der Electricität sowohl bei Annäherung als bei Entfernung eines Magneten electrische Ströme inducirt werden. Dasselbe muß ferner stattfinden, wenn in einem Stabe aus weichem Eisen, welcher sich in der Nähe eines Leiters der Electricität befindet, vorübergehender Magnetismus erregt wird oder wieder aufhört.

Um die erste Hälfte der bevorstehenden Behauptungen darzuthun, hat man nur nöthig, die Enden einer Drahtspirale AB (Fig. 209) mit einem Multiplikator m zu verbinden. Nähert man dann dieser Spirale einen Magnetstab NS oder taucht man denselben bis gegen seine Mitte in die Hülse der Drahtrolle, so erleidet auch die Magnetnadel des Multiplikators eine Ablenkung, und sie wird nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, so wie man den Magnetstab entfernt oder aus der Drahtrolle herauszieht. Dasselbe ist auch dann der Fall, wenn man den Magnetstab bedeutend tiefer als bis zur Mitte einsenkt, indem die untere Hälfte des Magneten sich dann von den Windungen der Drahtspirale wieder entfernt.

(Fig. 209.)



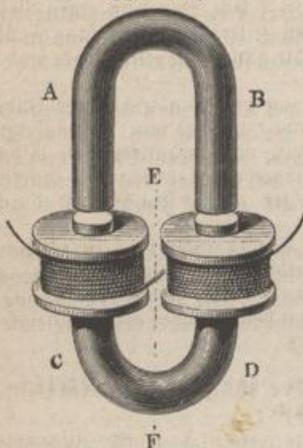
Es leuchtet wohl von selbst ein, daß man bei den in diesem und im vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Versuchen deshalb

gewundene Drähte anwendet, weil diese nach dem Princip des Multiplikators die Wirkung verstärken. Man kann indeß bei Anwendung eines sehr empfind-

lichen Multiplicators auch die inducirten Ströme nachweisen, welche in einem einfachen Drahte bei Annäherung oder Entfernung eines Magneten entstehen.

Um die zweite Hälfte der obigen Behauptungen nachzuweisen, dient am bequemsten der folgende Apparat: Ein kräftiger Stahlmagnet AB (Fig. 210)

(Sta. 210.)



und ein Cylinder CD aus weichem Eisen sind in der Art hufeisenförmig gebogen, daß die Enden ihrer Schenkel grade aufeinander passen. Die beiden Schenkel C und D sind mit einem übersponnenen Drahte so umwunden, daß, wenn man durch denselben einen electrischen Strom leitete, die Enden der Schenkel entgegengesetzte Pole erhalten würden, (indem nämlich der Draht von der vorderen Seite des einen Schenkels nach der hinteren Seite des andern Schenkels übergeht). Verbindet man nun die Enden dieses Drahtes in hinreichender Entfernung von beiden Hufeisen mit den Enden eines Multiplicators oder auch nur mit den Enden eines Drahtes, welcher über oder unter einer Magnethadel herläuft, so erfährt dieselbe bei der Annäherung des Stahlmagneten an das umwundene

Eisen, besonders aber beim Anlegen eine Ablenkung, kommt jedoch nach einigen Schwankungen wieder zur Ruhe. Reißt man hierauf das eine Hufeisen vom andern los, so wird die Nadel nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt. — Nähert man beide Enden des umwundenen Drahtes einander bis auf einen sehr kleinen Abstand, so sieht man zwischen denselben bei jedem Anlegen und Losreißen der beiden Hufeisen einen lebhaften Funken überspringen. Sind an den Enden des Drahtes größere Metallstücke angelötet, und nimmt man diese in die Hände, so empfindet man beim Anlegen des weichen Eisens an den Magneten und beim Losreißen eine Erschütterung.

Aus den angeführten Erscheinungen ergibt sich nun auch leicht, warum bei den am Ende des vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Versuchen durch die in der Inductionsrolle angebrachten Stäbe aus weichem Eisen die Wirkung verstärkt wird. Indem nämlich der in diesen durch den electrischen Strom erregte Magnetismus beim Öffnen der Kette verschwindet, veranlaßt er, wie wir so eben gesehen haben, in der Drahtspirale einen inducirten Strom, welcher mit dem primären Strome und also auch mit dem das Öffnen der Kette begleitenden Extrastrome dieselbe Richtung hat und daher diesen verstärkt. Drahtbündel gewähren hierbei vor massiven Eisenkernen darum den Vorzug, weil in jenen der Magnetismus schneller erregt wird und wieder verschwindet, als in diesen.

Wenn man das hufeisenförmige, mit einer Drahtspirale umwundene Eisen CD in Fig. 210 mit einer verticalen Aze EF verbindet, um welche sich dasselbe so drehen läßt, daß seine Enden ganz nahe unter den Polen des festen Magneten AB hergleiten, so müssen in dem Drahte bei jeder ganzen Umdrehung zwei Ströme von entgegengesetzten Richtungen inducirt werden, nämlich der eine, während sich der Schenkel C dem Nordpole und D dem Südpole des Magneten AB nähert, und der andere, während sich C dem Südpole und D dem Nordpole nähert. Diese Ströme werden sich also um so schneller folgen, je rascher die Umdrehung geschieht.

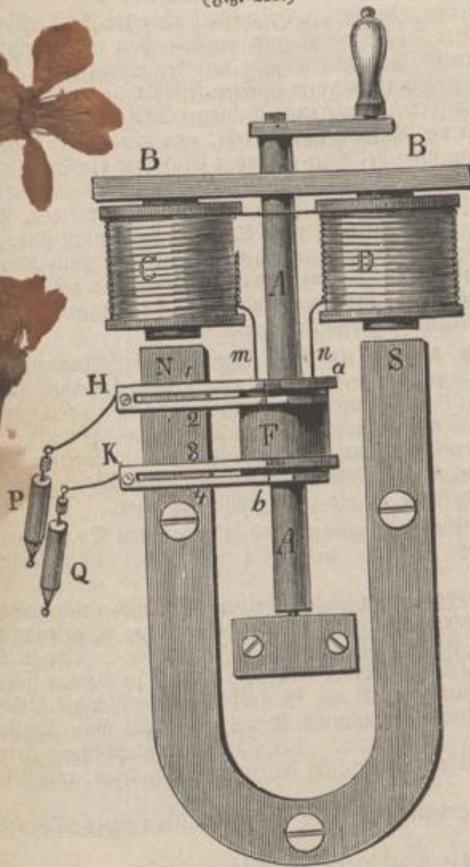
Auf diesem Principe beruhen die magnetelectrischen Maschinen. Fig. 211 stellt die wesentlichen Theile einer solchen dar, wie sie von Störker in Leipzig construirt werden. Auf der Eisenplatte BB sind zwei Cylinder aus weichem Eisen befestigt, welche von den beiden Inductionsspiralen C und D umgeben sind, deren Draht, wie dies schon oben im Haupttexte angegeben ist, ein zusammenhängendes Ganze bildet. Die Enden der

beiden Eisencylinder befinden sich den Polen eines kräftigen Stahlmagneten N und S gegenüber und besitzen daher die entgegengesetzten magnetischen Pole; sie müssen aber bei jeder halben Umdrehung der Aze AA, mit welcher die Eisenplatte BB fest verbunden ist, ihre Pole wechseln und folglich in den Drahtspiralen, wenn die Enden m und n leitend verbunden sind, einen electrischen Strom mit abwechselnd entgegengesetzter Richtung induciren.

Diese Umdrehung der Aze AA würde vermittelst der in der Figur abgebildeten Kurbel sich nur mit mäßiger Geschwindigkeit bewerkstelligen lassen. Um eine größere Schnelligkeit zu erzielen, ist an der Aze AA eine kleine Scheibe angebracht und diese durch einen Schnurlauf mit einer größeren Scheibe verbunden, an welcher die Umdrehungskurbel befestigt ist, was jedoch, als unwesentlich, in der Zeichnung weggelassen ist.

An der Aze AA sind ferner zwei in Fig. 212 und 213 besonders abgebildete messingene Röhren befestigt, welche von einander durch ein zwischen denselben angebrachtes Buchsbaumrohr, welches in Fig. 213 ganz schwarz gemacht ist, getrennt und gegenseitig

(Fig. 211.)



(Fig. 212.)



(Fig. 213.)



isolirt sind. Mit dem äußeren und kürzeren Messingrohre F ist der Draht m, mit dem inneren und längeren G der Draht n fest verbunden. Jedes der beiden Röhre trägt an seinen Enden zwei halbe, sich gegenüberstehende Stahlringe, das innere die beiden halben Ringe a und b, das äußere die beiden halben Ringe c und d. Auf diesen Ringen schleifen abwechselnd die Schenkel zweier sich gabelförmig spaltenden flachen Stahlfedern H und K, welche an dem Gestell der Maschine befestigt sind. Bei der in Fig. 211 abgebildeten Stellung berühren die Federn 2 und 4 die Stahlringe c und b, während 1

und 3 frei sind. Es ist daher bei dieser Stellung H mit m und K mit n leitend verbunden. Nach einer halben Umdrehung der Aze AA aber treten die Federn 1 und 3 mit den Ringen a und d in Berührung, 2 und 4 sind frei; es stehen also dann H mit n und K mit m in Verbindung.

Wenn nun die Stahlfedern H und K durch irgend einen Körper leitend verbunden werden, so geht bei der halben Umdrehung der inducirte Strom durch den eingeschalteten Körper und zwar jedesmal in derselben Richtung, indem nämlich, wie wir oben gesehen haben, die Richtung des inducirten Stromes in den Drahtspiralen bei jeder halben Umdrehung sich umkehrt und gleichzeitig auch die leitende Verbindung zwischen den Drahtenden m und n und den Stahlfedern H und K wechselt.

Da jeder der Stahlringe a, b, c und d etwas mehr als den halben Umfang der Messingrohre F und G umfaßt, so müssen bei jeder Umdrehung für einen Augenblick alle 4 Stahlfedern mit den Stahlringen in Berührung treten. Da dann die Drahtenden m und n, sowohl durch die Gabeln 1 und 2 als auch durch 3 und 4 leitend verbunden sind, so nimmt der inducirte Strom für einen Augenblick seinen kürzeren Weg durch diese, ohne den zwischen H und K eingeschalteten Körper zu durchlaufen.

Jedesmal, wenn bei der Umdrehung der Aze AA ein Stahlring die ihn berührende Stahlfeder verläßt und also an dieser Stelle der Strom unterbrochen wird, zeigt sich ein lebhafter Funken. Wenn ein Mensch die durch Drähte mit den Stahlfedern H und K verbundenen metallenen Cylinder P und Q mit den Händen festhält, so empfindet derselbe bei jeder dieser Unterbrechungen einen electricischen Schlag. Diese Schläge werden um so heftiger empfunden, je rascher die Umdrehung geschieht, und werden bei kräftigen Maschinen bald unerträglich. — Wenn man bei einer kräftigen Maschine die Stahlfedern H und K durch einen feinen Platindraht verbindet, so geräth derselbe bei rascher Umdrehung in lebhaftes Glühen. Wasser kann in seine Bestandtheile zerlegt werden, wenn man in dasselbe Drähte leitet, welche mit den Stahlfedern H und K verbunden sind. Ein Electromagnet erlangt eine bedeutende Tragkraft, wenn man durch den ihn umwindenden Draht die inducirten Ströme hindurchführt. Ueberhaupt lassen sich mit der magnet-electrischen Maschine ähnliche physiologische, erzhigende, chemische und magnetische Wirkungen wie durch eine galvanische Batterie hervorbringen.

Wir haben oben S. 160 gesehen, daß ein um seine Aze drehbarer Magnetstab in rotirende Bewegung versetzt wird, wenn man durch die eine Hälfte desselben in der Richtung der Aze einen electricischen Strom hindurchgehen läßt. Faraday hat gezeigt, daß umgekehrt ein um seine Aze rotirender Stab in einem Drahte, welcher mit einem Ende den einen Pol, mit dem andern Ende eine zwischen beiden Polen liegende Stelle des rotirenden Magneten berührt, inducirte Ströme hervorruft. Die Richtung dieser Ströme geht bei Umkehrung der Drehung in die entgegengesetzte über.

Auf der Induction beruhen auch die Erscheinungen des so genannten Rotationsmagnetismus, welche zuerst von Arago in Paris im Jahre 1825 entdeckt worden sind.

Wenn man nämlich über einer wagerechten Kupferscheibe, welche sich rasch um eine verticale Aze drehen läßt, eine Magnetnadel aufhängt, welche man zur Abhaltung des Luftzuges in ein Gehäuse von Glas eingeschlossen hat, und hierauf die Scheibe in eine rotirende Bewegung setzt, so wird die Magnetnadel in der Richtung, in welcher sich die Scheibe bewegt, abgelenkt. Diese Ablenkung ist um so größer, je schneller die Scheibe rotirt. Nimmt man statt Kupfer irgend ein anderes Metall, so erhält man ähnliche, aber in den meisten Fällen schwächere Wirkungen. Die stärksten Ablenkungen bringt eine Scheibe von Eisen hervor. Scheiben von schlecht leitenden Substanzen, wie Glas, Holz u. dgl., sind ohne Wirkung.

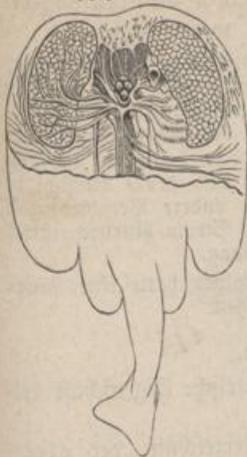
Umgekehrt kann man auch eine bewegliche Scheibe durch Rotation eines Magneten in Bewegung setzen.

Zum Schlusse führen wir über die Wirkungen electricischer Ströme noch den folgenden von Edlund in Stockholm (1867) aufgestellten Satz an: Wenn ein electricischer Strom mehrere Wirkungen zugleich hervorbringt, z. B. in Leitern, durch welche er geht, chemische Wirkungen hervorruft oder Wärme entwickelt, wenn er in benachbarten geschlossenen Leitern inducirte Ströme hervorruft, oder wenn er durch erregten Magnetismus Bewegung erzeugt, so schwächen sich die gleichzeitig hervorgebrachten Wirkungen gegenseitig in der Art, daß die Summe dieser Wirkungen gleich ist dem quantitativen Werthe einer dieser Wirkungen, wenn diese allein von dem Strome verrichtet wird.

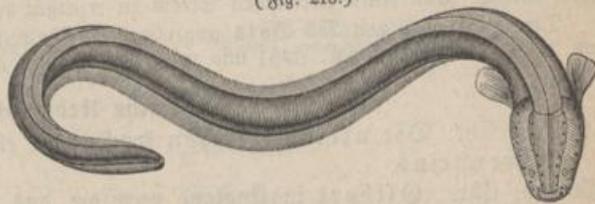
§. 163. Thierische Electricität.

Einige Fische, insbesondere der Zitterrochen, Zitteraal, Zitterwels, besitzen die merkwürdige Eigenschaft, wenn man sie berührt, electricische Schläge zu ertheilen. Der Zitterrochen (Fig. 214) hat die Gestalt einer rundlichen Scheibe, erreicht eine Länge von 4 Fuß und findet sich in wärmeren Meeren, besonders häufig im Mittelmeer. Der Zitterwels bewohnt die Flüsse des nördlichen Afrika und wird ohngefähr 1 1/2 Fuß lang. Er vermag nur schwache electricische Schläge zu ertheilen. Der Zitteraal (Fig. 215) lebt in langsam fließenden Flüssen und stehenden Gewässern des nördlichen

(Fig. 214.)



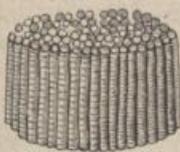
(Fig. 215.)



Südamerika und wird 5—6 Fuß lang; er vermag so kräftige Schläge zu ertheilen, daß dieselben selbst auf größere Thiere, Pferde, Maulthiere u. dgl. betäubend wirken und ihnen gefährlich werden können. Die Fische vermögen die Schläge ganz willkürlich hervorzubringen; haben dieselben aber mehrere Schläge ertheilt, so bedürfen sie längerer Ruhe, um neue Kraft zu sammeln.

Das electricische Organ dieser Fische hat bei den verschiedenen Arten eine verschiedene Lage, bei allen aber besteht dasselbe aus zahlreichen rundlichen oder eckigen Säulchen, welche aus vielen dünnen Blättchen, zwischen denen sich eine schleimigte Flüssigkeit befindet, zusammengesetzt sind. Die einzelnen Säulchen sind durch eine sehnichte Haut von einander getrennt. Beim Zitteraal nimmt das electricische Organ fast die ganze Länge des Körpers vom Kopfe bis zum Schwanz ein; die Säulchen liegen zu beiden Seiten des Leibes und haben eine der Länge des Körpers parallele Richtung. Beim Zitterrochen nehmen die Säulchen, welche Fig. 216 darstellt, den vordern

(Fig. 216.)



Theil des Leibes etwa bis zu einem Drittel der ganzen Länge ein, und die Richtung ihrer Azen geht vom Rücken zum Bauche. Die Schläge sind daher bei dem Zitterrochen besonders dann sehr stark, wenn man denselben zugleich am Bauche und am Rücken berührt. Man erhält diese Schläge sowohl, wenn man den Fisch unmittelbar mit der Hand, als auch, wenn man ihn mit

einem Metalle berührt; sie bleiben dagegen aus, wenn die Berührung mit einem schlechten Leiter der Electricität, z. B. mit einem Glasstabe geschieht. Man hat durch diese Schläge selbst Funken, magnetische und chemische Wirkungen hervorgebracht, indem man an dem Rücken und Bauche Metallplatten anlegte und dieselben durch einen Draht verband.

Auch in den Nerven und Muskeln aller anderen Thiere, so wie auch des Menschen, finden, wenn auch bei weitem schwächere electricische Erregungen

und Strömungen statt. Schon Galvani fand, daß, wenn der Nerv und Muskel eines Froschschenkels durch das nämliche Metall oder durch einen flüssigen Leiter verbunden werden, eine Zuckung eintritt. In neuerer Zeit hat Dü Bois-Reymond über diesen Gegenstand die umfassendsten Untersuchungen angestellt. Derselbe hat insbesondere gefunden, daß durch die Anstrengung der Muskeln nach Willkür electriche Ströme hervorgerufen werden können.

Um dieses zu zeigen, bringt man die in Platinplatten auslaufenden Drahtenden eines sehr empfindlichen Multiplicators in zwei Gefäße mit Salzwasser und taucht in die nämlichen Gefäße die beiden Hände, dann erleidet die Multiplicatornadel eine Ablenkung, wenn die Muskeln des einen Armes stärker, als die des andern angestrengt werden. Diese Ströme sind jedoch sehr schwach, und es erfordern daher die Versuche zu ihrem Gelingen einen äußerst empfindlichen Multiplicator und große Vorsicht in der Behandlung der Apparate, weil auch leicht irgend eine andere Verschiedenheit zwischen zwei homologen Gliedern der Kette, durch welche der Strom hindurchgeführt wird, für sich schon einen electricen Strom zu erzeugen vermag.

Der Draht des von Dü Bois angewendeten Multiplicators hatte eine Länge von 1000 Meter (3078 par. Fuß) und machte 4650 Windungen.

***§. 164. Historische Uebersicht.**

- 600 v. Chr. Die alten Griechen kannten die electriche Eigenschaft des Bernsteins.
- 1600 n. Chr. Gilbert in England vermehrt das Verzeichniß der electricen Körper.
1729. Gray in England unterscheidet electriche Leiter und Nichtleiter.
1733. du Fay in Frankreich entdeckt die entgegengesetzten Electricitäten.
1744. Deutsche Physiker verfertigen die erste Electricirmaschine mit Conductor.
1745. v. Kleist in Pommern erfindet die electriche Flasche.
1752. Franklin in Amerika weist die electriche Natur des Gewitters nach und erfindet den Blitzableiter.
- 1753—1759 (?) Canton, Wilke und Aepinus ermittelten das Princip der electricen Vertheilung oder Influx.
1775. Volta in Pavia erfindet den Electrophor.
1782. Derselbe den Condensator.
1786. Galvani zu Bologna entdeckt die nach ihm benannte Electricitätserregung.
1787. Coulomb in Frankreich mißt die electriche Kraft mit der Drehwage.
1800. Volta baut seine Säule auf.
1807. Davy in England stellt die Metalle der Alkalien und Erden dar.
1820. Dersted in Kopenhagen entdeckt die Einwirkung des electricen Stromes auf die Magnethadel, und Schweigger in Halle erfindet noch in demselben Jahre den Multiplicator.
1821. Seebeck in Berlin entdeckt die thermoelectricen Ströme.
1823. Ampère in Frankreich zeigt die gegenseitige Wirkung electricer Ströme auf einander und führt die Erscheinungen auf ein allgemeines Gesetz zurück.
1827. Ohm in Erlangen entdeckt das Gesetz über die Stärke des electricen Stromes.
1831. Faraday in England entdeckt die inducirten Ströme.
1833. und folg. Verschiedene Physiker (Gauß und Weber in Göttingen, Steinheil in München, Wheatstone in England, Morse in Amerika u. a. m.) stellen electriche Telegraphen her.