

UEBER

ELEKTRISCHEN

WECHSEL-, GLEICH- UND DREHSTROM.

VORTRAG,

GEHALTEN AUF DER

GENERALVERSAMMLUNG DES NASSAUISCHEN VEREINS  
FÜR NATURKUNDE

AM 19. DECEMBER 1891

VON

**DR. PHIL. A. KADESCH**

(WIESBADEN).

---

DER VORTRAG WAR VON EXPERIMENTEN BEGLEITET.

---



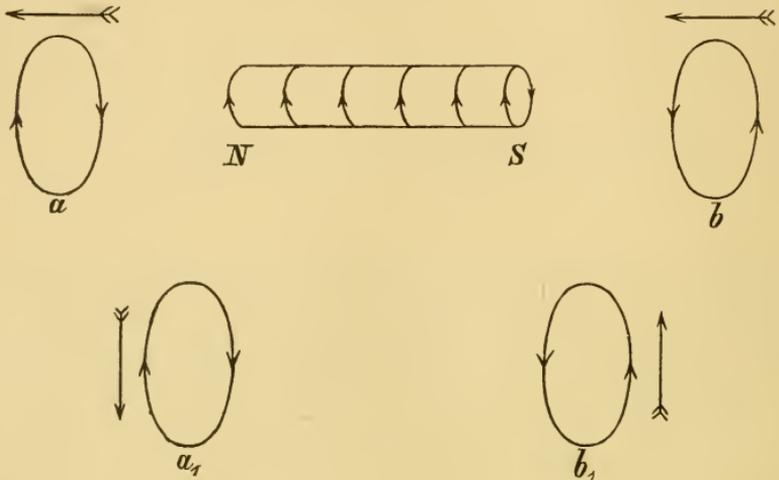
## Hochansehnliche Versammlung!

Indem ich der Aufforderung unseres verehrten Herrn Secretärs, für die diesjährige Generalversammlung den Vortrag zu übernehmen, gern nachkam, glaubte ich, eine vergleichende Nebeneinanderstellung von elektrischem Wechsel-, Gleich- und Drehstrom für ein passendes Thema halten zu dürfen. Steht doch schon seit längerer Zeit die Elektrizität, jene Naturkraft, welche sich alles unterthan zu machen scheint, im Vordergrund des Interesses, und hat doch die allgemeine Beachtung, welche ihr gezollt wird, durch die kürzlich geschlossene Frankfurter Ausstellung wiederum eine erhebliche Vermehrung erfahren! Früher nun, als die elektrische Telegraphie die bei weitem bedeutendste Anwendung der Elektrizität darstellte, kam allein der stets in derselben Richtung fließende Batteriestrom in Betracht. Seitdem es sich aber darum handelt, die Elektrizität zur Erzeugung von Licht und zur Uebertragung von Kraft zu benutzen, ist es der Maschinenstrom, welcher die Elektrotechnik vorwiegend beschäftigt. Man kannte ihn als seine Richtung periodisch ausserordentlich rasch ändernden Wechselstrom und als seine Richtung stets beibehaltenden Gleichstrom, und diese beiden kämpften bisher um den Preis der grösseren Leistungsfähigkeit mit einander. Jetzt scheint es, als ob dem Streit der feindlichen Brüder dadurch ein Ende bereitet werden sollte, dass ein erst vor kurzem nachgeborener Spross, der Mehrphasen- oder Drehstrom, über beide triumphirt.

Das Prinzip sämmtlicher elektrischen Strommaschinen, mögen sie Wechsel-, Gleich- oder Drehstrommaschinen sein, beruht auf einer höchst einfachen Thatsache. Nach dem französischen Physiker Ampère darf

man annehmen, dass jeder Magnet (Fig. 1, N S) von unzähligen unter sich parallelen elektrischen Strömen umflossen wird. Ihre Ebenen stehen auf der Axe des Magnets senkrecht, und ihre Richtung ist, von der Seite des Südpols aus betrachtet, diejenige des sich bewegenden Uhrzeigers, vom Nordpol her betrachtet also die entgegengesetzte. Diese

Fig. 1.

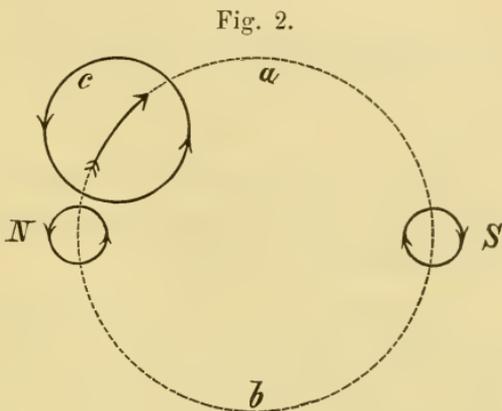


Ströme heißen Elementarströme. Entfernt man einen geschlossenen Leiter (Fig. 1, a), den ich kurz eine Windung nennen will, und einen Magnet in der Richtung der Magnetaxe von einander, so erregt oder inducirt der Magnet, so lange die Bewegung dauert, in dem Leiter einen Strom, der mit den Elementarströmen des Magnets gleichgerichtet ist; nähert man umgekehrt in der Richtung der Magnetaxe eine Windung (Fig. 1, b) und den Magnet einander, so inducirt dieser in ihr, so lange die Annäherung dauert, einen zu den Elementarströmen des Magnets entgegengesetzt gerichteten Strom. Die nämlichen Erscheinungen finden statt, wenn sich die Entfernung einer Windung von einem Magnet und die Annäherung an denselben in einer nahe vor einem der Magnetpole hinlaufenden, auf der Magnetaxe senkrechten Ebene vollzieht (Fig 1, a<sub>1</sub> und b<sub>1</sub>). Ueberhaupt entstehen in einer Windung entgegengesetzt gerichtete Ströme, wenn sie auf irgend einer Bahn einem Magnet genähert und dann auf demselben oder einem entsprechenden Wege wieder entfernt wird. Man bezeichnet diese Thatsache mit dem Namen Magnetoinduction. Auf ihr also beruhen sämtliche elektrischen Maschinen,

und es würde eine Vorrichtung, bei der eine Windung einem Magnet periodisch genähert und wieder von ihm entfernt würde, die denkbar einfachste elektrische Maschine von der Welt sein.

Wir wollen uns nun zwei Magnete mit ihren ungleichnamigen Polen neben einander gestellt und vor ihnen in einer zu den Magnetaxen senkrechten Ebene eine Windung auf kreisförmiger Bahn bewegt denken (Fig. 2).

Die zu den Magnetpolen N und S gehörigen Magnete (welche auch durch die Schenkel eines Hufeisenmagnets dargestellt sein können), erstrecken sich von der Zeichenebene aus nach hinten. So lange sich die Windung *c* von N über *a* nach S bewegt, entfernt sie sich von dem Magnet links,



und es erzeugt daher dieser in ihr einen mit seinen Elementarströmen gleichgerichteten Strom. Gleichzeitig nähert sich die Windung dem Magnet rechts, und dieser erregt mithin in ihr einen zu seinen Elementarströmen entgegengesetzt gerichteten, also mit dem bereits vorhandenen Strom gleichgerichteten Strom. Die beiden inducirten Ströme vereinigen sich zu einem stärkeren Gesamtstrom, als wenn nur ein Magnet vorhanden wäre. Bewegt sich die Windung von S über *b* nach N, so entfernt sie sich von dem Magnet rechts und nähert sich dem Magnet links. Es entsteht folglich in ihr ein Gesamtstrom von demselben Verlauf wie auf dem Wege N *a* S, aber von entgegengesetzter Richtung. Sobald die Windung N passirt hat, nimmt der Strom die alte Richtung wieder an. Da der Strom bei N und S die Richtung ändert, so muss er daselbst die Stärke Null haben und daher zwischen N und S bei *a* und zwischen S und N bei *b* einen Maximalwerth erreichen. Der Gesamtvorgang ist also folgender: Der Strom beginnt bei N mit der Stärke Null, nimmt bis *a* zu, dann bis S in derselben Weise bis zum Werth Null wieder ab, ändert bei S die Richtung, nimmt bei veränderter Richtung bis *b* zu, von da bis N ab, wo er den Werth Null wieder erreicht, ändert bei N die Richtung, und das Spiel hebt von neuem an. Natürlich würde dasselbe Resultat zum Vorschein

kommen, wenn man die Windung feststehen und die Magnete in entgegengesetzter Richtung sich bewegen liesse.

Da der eben betrachtete Strom periodisch seine Richtung wechselt, so heisst er ein Wechselstrom. Man vergegenwärtigt sich seinen Verlauf am besten vermittelst der Curve in Fig. 3.

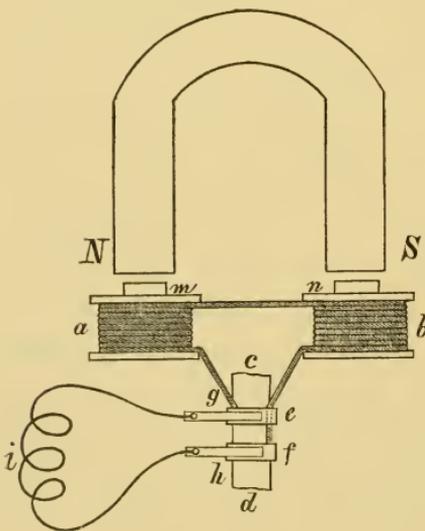
Fig. 3.



Die in der Richtung *a b* auf einander folgenden Abstände der Axe *a b* von den Curvenpunkten geben nach Grösse und Richtung die successiven Stromwerthe an.

Der Strom, der in einer Windung entsteht, ist nur sehr schwach. Um stärkere Ströme zu erzielen, nimmt man statt einer Windung eine Spule. Eine solche besteht aus vielen zusammenhängenden Windungen eines mit Seide umspunnenen Kupferdrahts, der auf eine Holzrolle aufgewickelt ist wie Zwirn auf eine Garnrolle. Der Deutsche Stöhrer,

Fig. 4.



wandte zunächst zwei Spulen (*a, b*) an. Die Enden ihrer Drahtwickelungen waren mit einander verbunden. Die Spulen waren an derselben Axe (*c, d*) einander diametral gegenüber befestigt. Während also die eine Spule einen Halbkreis auf der einen Seite des Hufeisenmagnets *NS* beschrieb, durchlief die andere Spule einen Halbkreis auf der entgegengesetzten Seite. Die Verbindung der Anfänge ihrer Drahtwickelungen vorausgesetzt, waren mithin in den Spulen in jedem Augenblick Ströme von gleicher Stärke aber entgegengesetzter Richtung vorhanden, die

sich bei gleicher Wickelung der Drähte aufgehoben hätten. Nun waren aber die Spulen entgegengesetzt gewickelt. Infolge dessen verstärkten sich

ihre Ströme, wie Fig. 5 deutlich zeigt, wo jede Spule durch eine einzige Windung dargestellt ist.

Die Anfänge der Spulendrähte führten zu zwei auf der Axe sitzenden und von ihr isolirten Metallringen (Fig. 4, e, f). Auf diesen schleiften Federn (g, h), welche den Strom in die Nutzleitung i gelangen liessen.

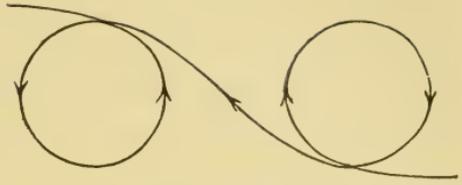


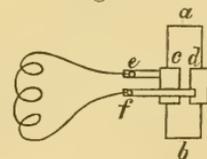
Fig. 5.

Nicht unerwähnt darf bleiben, dass die Stärke des Stromes dadurch mehr als verdoppelt wird, dass man in die Spulen Kerne aus weichem Eisen (m, n) einsteckt, welche bei Annäherung an die Magnetpole magnetisch, bei Entfernung von ihnen wieder unmagnetisch werden. In der Nähe einer Spule entstehender und verschwindender Magnetismus wirkt aber bezüglich gerade so wie Annäherung der Spule an einen Magnet und Entfernung von demselben.

Es hinderte natürlich nichts, zur Verstärkung der Wirkung statt des einen Paares von Spulen und Magnetpolen deren zwei oder mehrere anzubringen, wozu man auch sofort überging. Besonders that sich hierbei die Gesellschaft L'Alliance in Brüssel durch Herstellung sehr kräftiger Maschinen hervor. Es ist im Laufe der Zeit noch eine grosse Anzahl immer vollkommenerer Wechselstrommaschinen erfunden worden, auf deren Betrachtung wir jedoch nicht einzugehen brauchen, da das Vorgetragene zur Erläuterung von Entstehung und Begriff eines Wechselstroms genügen dürfte.

Ursprünglich wusste man mit dem Wechselstrom nicht viel anzufangen. Darum waren sofort die Bestrebungen der Elektriker darauf gerichtet, an den Wechselstrommaschinen Apparate anzubringen, durch die bewirkt wurde, dass der Strom in der Nutzleitung stets in derselben Richtung dahinfloss, d. h. zum Gleichstrom wurde. Solche Apparate heissen Commutatoren und mit ihnen versehene Maschinen Gleichstrommaschinen. Schon Stöhrer versah seine Maschine mit einem Commutator, der jedoch eine etwas verwickelte Einrichtung besass. Ich beschreibe daher an seiner Statt den durch Fig. 6 dargestellten, einfacher gestalteten. Auf der Axe a b sind, von ihr und von einander isolirt, zwei Halbringe aus Metall (c, d) einander gegenüber angebracht. Mit ihnen sind die Anfänge der Spulendrähte verbunden. Die benachbarten geraden

Fig. 6.



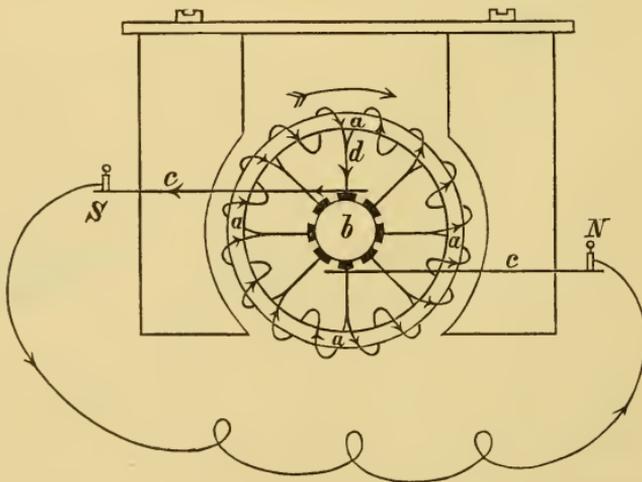
Ränder der Halbringe befinden sich auf denselben Seiten der Axe wie die Spulen. Die den Strom abnehmenden Federn e, f schleifen auf den Halbringen auf den Seiten der Magnetpole. In dem Augenblick, wo in den Spulen der Stromwechsel stattfindet, tritt daher die eine Feder von demjenigen Halbring, aus dem bis dahin der Strom austrat, auf den anderen Halbring, aus dem von da an bis zum nächsten Stromwechsel der Strom austritt, sodass in der Nutzleitung ein Strom von unveränderter Richtung dahinfließt. Um das Bild dieses Gleichstroms zu erhalten, welches Fig. 7 zeigt, brauchen wir uns nur den zweiten Theil der Curve von Fig. 3 um die Axe a b nach oben geklappt zu denken. Der Strom beginnt mit der Stärke Null, steigt bis zu einem Maximum, fällt bis Null, steigt wieder bis zu dem Maximum, fällt wieder bis Null u. s. w.

Fig. 7.



Der Strom schwankt also periodisch zwischen Null und einem Maximum hin und her, er pulsirt. Maschinen für pulsirenden Gleichstrom werden jetzt kaum noch gebaut. Die neueren Gleichstrommaschinen liefern vielmehr Ströme, die wie die Ströme von constanten galvanischen Batterien ihre Stärke unveränderlich beibehalten. Lassen Sie uns als Beispiel einer solchen Maschine die (1860 bzw. 1871) von Pacinotti und

Fig. 8.



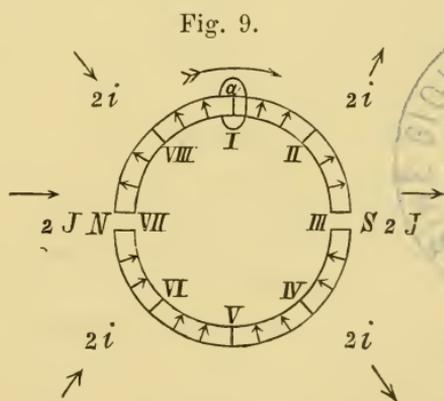
Gramme erfundene sogenannte Gramme'sche Maschine betrachten. Ihre Einrichtung ist folgende (Fig. 8): Zwischen den ungleichnamigen Polen S

und N zweier kräftigen Magnete rotirt ein Eisenring (a), der in regelmässiger Weise mit isolirten Kupferdrähten in derselben Richtung umwickelt ist. In Fig. 8 sind der Einfachheit halber acht Drähte von je zwei Windungen gewählt. In Wirklichkeit ist sowohl die Zahl der Drähte als auch insbesondere die der Windungen viel grösser. Das Ende jedes Drahtes ist mit dem Anfang des folgenden verlöthet, und von den Löthstellen führen Drähte zu ebensovielen Kupferstreifen, die an der Axe b, parallel mit dieser und von ihr und von einander isolirt, befestigt sind. Die Kupferstreifen sieht man in Fig. 8 von der Kopfseite. Auf ihnen schleifen zwischen den Magnetpolen Bürsten aus Kupferdraht (c), die den Strom abnehmen. Die Kupferstreifen bilden den Commutator, hier auch Collector genannt.

Um die Vorgänge in der Maschine zu verstehen, hat man zunächst zu beachten, dass die Magnetpole in den ihnen gegenüberliegenden Stellen des Rings ungleichnamige Pole erzeugen. Wenn nun auch bei der Drehung des Rings immerfort andere Eisentheile an diese Stellen rücken, so ändern doch die Pole des Rings ihre Lage im Raum nicht, nur ihre Träger, d. h. die Theile des Rings, in denen sich die Pole befinden, werden beständig andere. Es ist daher gleichgültig, ob wir uns den Ring sammt der Drahtwicklung oder nur diese sich bewegen und den Ring feststehen denken. Der Einfachheit halber wählen wir die letztere Auffassung. Ferner wollen wir uns vorstellen, der Ring sei den Magnetpolen gegenüber durchgeschnitten, dann haben wir statt des einen ringförmigen Magnets, den der Eisenring darstellt, zwei hufeisenförmige Magnete, die einander ihre gleichnamigen Pole zukehren. Fig. 9 zeigt dieselben ein wenig auseinandergerückt.

Die Pfeile auf den Halbringen sollen die Richtungen der Elementarströme auf der uns zugewendeten Seite darstellen. Untersuchen wir zunächst die Vorgänge in einer einzigen Windung (a)! In jeder Lage derselben brauchen wir nur die Wirkung der beiden benachbarten Quadranten des Rings auf sie zu berücksichtigen, die Wirkung der beiden anderen Quadranten

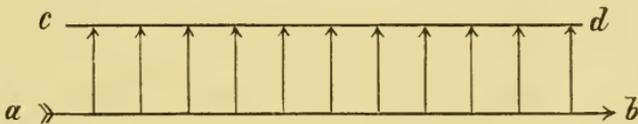
können wir wegen der grossen Entfernung vernachlässigen. Wenn sich



ferner die Windung einem Theil eines der Halbring-Magnete nähert und sich von einem ebenso grossen Theil desselben Halbrings entfernt, so heben sich die Wirkungen der beiden Theile auf, denn durch die Annäherung an den ersten Theil entsteht in der Windung ein Strom, der zu den Elementarströmen des Halbring-Magnets entgegengesetzt gerichtet, durch die Entfernung von dem anderen Theil bildet sich ein eben so starker Strom, der mit den Elementarströmen gleichgerichtet ist. Nehmen wir an, die Windung beginne ihre Bewegung und befinde sich in der Lage I, so nähert sie sich der zweiten Hälfte des oberen Halbrings und entfernt sich von seiner ersten Hälfte. Mithin ist in ihr kein Strom vorhanden. In der Lage II nähert sich die Windung dem letzten Viertel und entfernt sich vom vorletzten Viertel des oberen Halbrings; die Wirkungen dieser beiden Viertel heben sich auf. Sie nähert sich aber auch dem ersten Viertel des unteren Halbrings, und dieses erzeugt in ihr einen zu seinen Elementarströmen entgegengesetzt, also (auf der zugewandten Seite) nach aussen gerichteten Strom, dessen Stärke wir mit  $i$  bezeichnen wollen. Endlich entfernt sich die Windung von dem drittletzten Viertel des oberen Halbrings, und dieses ruft daher in ihr einen mit seinen Elementarströmen gleich-, also ebenfalls nach aussen gerichteten Strom von der Stärke  $i$  hervor. Der Gesamtstrom in der Lage II hat mithin die Stärke  $2i$  und ist nach aussen gerichtet. Ist die Windung in der Lage III angekommen, so nähert sie sich der ersten Hälfte des unteren Halbrings. Folglich entsteht in ihr ein zu dessen Elementarströmen entgegengesetzt, d. h. nach aussen gerichteter Strom, dessen Stärke mit  $J$  bezeichnet werden möge. Natürlich ist  $J$  grösser als  $i$ . Gleichzeitig entfernt sich die Windung von der letzten Hälfte des oberen Halbrings, wodurch in ihr ein zu dessen Elementarströmen gleich-, also ebenfalls nach aussen gerichteter Strom von der Stärke  $J$  hervorgerufen wird. Der Gesamtstrom in der Lage III hat mithin die Stärke  $2J$  und ist nach aussen gerichtet. Setzt man diese Betrachtung fort, so findet man, dass der Strom für die Lage IV die Stärke  $2i$  hat und nach aussen gerichtet, für die Lage V Null ist, dass seine Stärke für die Lagen VI, VII, VIII bezüglich  $2i$ ,  $2J$ ,  $2i$  beträgt bei nach innen gehender Richtung. (Siehe Fig. 9.) Indem also die Windung von der Lage I aus eine volle Umdrehung macht, entsteht in ihr ein Wechselstrom, denn der auftretende Strom nimmt von Null bis zu einem Maximum zu, dann bis Null wieder ab, nimmt bei veränderter Richtung bis zu demselben Maximum zu, um darauf bis Null wieder

abzunehmen. Da nun aber der Eisenring rings herum mit Draht umwickelt ist, so befinden sich zu jeder Zeit an jeder Stelle Windungen, und in jeder Windung gelangt Strom von derjenigen Stärke, welche der betreffenden Stelle entspricht, zur Entstehung. Man kann sich mithin auch die Windungen still stehen denken, wenn man sich nur vorstellt, dass in jeder Windung jederzeit der ihrer Stelle zukommende Strom entsteht. In jeder Windung rechts tritt dann stets ein nach aussen, in jeder Windung links ein nach innen gerichteter Strom in die Existenz (Fig. 8). Die Ströme rechts und die links vereinigen sich zu je einem starken Gesamtstrome von unveränderlicher Intensität. Beide Ströme treffen sich in *d*. Wäre an der entsprechenden Stelle des Commutators kein Stromabnehmer (*c* links) vorhanden, so würden die zwei Ströme sich aufheben, da sie gleich und von entgegengesetzter Richtung sind. Wie aber zwei Bäche, die an einem Punkt zusammentreffen, vereinigt weiterströmen, wenn ein gemeinschaftlicher Abzugskanal vorhanden ist, so fließen auch die beiden Ströme vereinigt aus dem Stromabnehmer als Strom von unveränderlicher Stärke heraus. Sein Bild (Fig. 10) ist eine der Axe *ab* parallele Gerade *cd*.

Fig. 10.



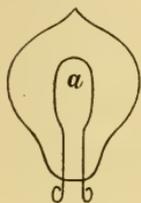
Statt permanenter Magnete kann man auch Elektromagnete verwenden, die von der Maschine selbst erregt werden. Es sind das Stücke weichen Eisens, welche mit isolirtem Kupferdraht bewickelt sind. Durch diesen wird der Strom der Maschine geleitet. Im Anfang wird durch die in den Eisenstücken wie in allem weichen Eisen vorhandene Spur von Magnetismus ein schwacher Strom erzeugt. Derselbe verstärkt den Magnetismus der Eisenstücke, der stärkere Magnetismus erregt einen stärkeren Strom. Dieser verstärkt wieder den Magnetismus, und so geht es fort, bis das Maximum der Magnetstärke erreicht ist.

Zu erwähnen ist noch, dass die Magnetpole S, N (Fig. 8) natürlich auch eine directe Wirkung auf die Drahtwicklung des Rings hervorbringen, doch ist dieselbe gegenüber der des Rings selbst gering und beeinflusst daher das Resultat nicht wesentlich. Auch gibt es eine neuere und erschöpfendere Erklärung der Vorgänge in einer nach

Gramme's System gebauten Maschine (wie in einer elektrischen Maschine überhaupt). Ich hielt jedoch die gewählte Betrachtungsweise für die meinem heutigen Zwecke entsprechendere.

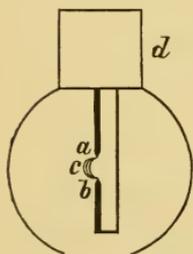
Statt den Ring in Rotation zu versetzen, könnte man zur Erlangung desselben Ergebnisses ihn feststehen und die Magnetpole in entgegengesetzter Richtung sich bewegen lassen. Dabei dürften die zwei Pole, statt aussen herum, auch im Inneren des Rings rotiren. Letztere Bemerkung ist wichtig für die Betrachtung des Drehstroms, zu der wir nun überzugehen hätten. Gestatten Sie jedoch zuvor noch einige Worte über die Verwendbarkeit von Wechselstrom und Gleichstrom! Für Be-

Fig. 11.



leuchtungszwecke sind beide Stromarten brauchbar, und zwar sowohl zur Hervorbringung von Glüh- als auch von Bogenlicht. Das Glühlicht wird bekanntlich von Kohlenfäden (Fig. 11, a) ausgestrahlt, welche in luftleer gemachte Glasbirnen eingeschlossen sind und durch einen hindurchgeschickten Strom ins Glühen gerathen. Dabei ist es natürlich gleichgültig, ob das Glühen durch einen Gleich- oder Wechselstrom hervorgerufen wird.

Fig. 12.

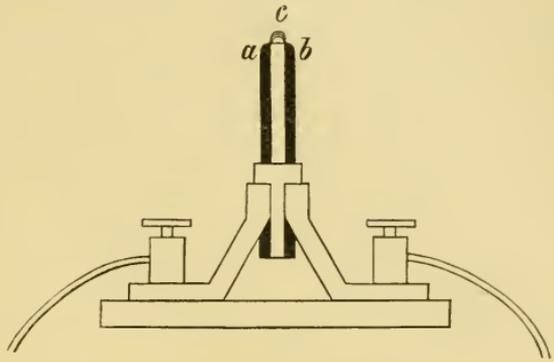


Beim Bogenlicht springt ein Strom in Form eines Lichtbogens (Fig. 12, c u. 13, c) zwischen zwei Kohlenstippen (Fig. 12, a u. b u. 13, a u. b) über. Ausserdem versetzt der Strom die Kohlenstippen in Weissgluth, und sie brennen allmählich ab. Wenn daher die Kohlenstippen einander gegenüberstehen (Fig. 12), so muss ein Apparat, ein sogenannter Regulator, (in der Kapsel d) vorhanden sein, der die Stippen selbstthätig in dem Mafse einander nähert, in welchem sie sich durch das Abbrennen

von einander entfernen. Es würde Ihre Geduld allzusehr in Anspruch nehmen heissen, wenn ich einen solchen Regulator, deren es eine grosse Anzahl von mehr oder weniger verwickelter Einrichtung gibt, beschreiben würde, weshalb ich darauf verzichten muss. Eigenthümlicher Weise brennt bei gleicher Kohlenstärke die Kohle, aus welcher der Strom austritt, der sogenannte positive Pol, doppelt so rasch ab als die andere Kohle oder der negative Pol. Soll also bei Gleichstrom der Lichtbogen stets an derselben Stelle auftreten, so muss der Regulator den positiven Pol doppelt so schnell bewegen als den negativen, während bei Wechselstrom beide Pole gleich rasch bewegt werden müssen. Stehen die Kohlen neben einander (bei J a b l o c h k o f f's Kerze,

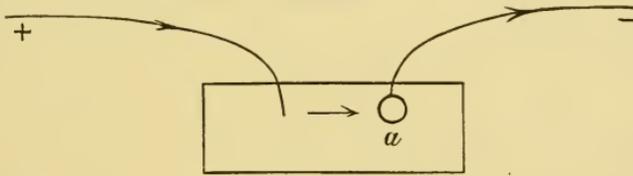
Fig. 13), so ist nur Wechselstrom anwendbar, weil bei Gleichstrom die Kohlenspitzen wegen des doppelt so raschen Abbrennens des positiven Pols schliesslich so weit von einander abstehen würden, dass der Strom unterbrochen wäre. Damit derselbe nur an den Enden der Kohlen übergeht, sind diese ihrer ganzen Länge nach durch eine isolirende Substanz getrennt, die mitabrennt. — Für elektrochemische Zwecke ist nur

Fig. 13.



Gleichstrom brauchbar. Wenn man z. B. einen Gegenstand galvanisch verkupfern will, so leitet man einen Strom vermittelst zweier eingetauchten Drähte durch ein Bad von schwefelsaurem Kupfer und hängt den Gegenstand (Fig. 14, a) an demjenigen Draht in die Flüssigkeit,

Fig. 14.



welcher den negativen Pol darstellt. Dann wird das schwefelsaure Kupfer zerlegt, das Kupfer schlägt sich auf dem Gegenstand nieder, und das Säureradikal wird am positiven Pol ausgeschieden. Wollte man einen Wechselstrom anwenden, so würde jetzt sich auf dem Gegenstand Kupfer niederschlagen, im nächsten Augenblick würde nach erfolgter Aenderung der Stromrichtung das Säureradikal an dem Gegenstand ausgeschieden, und dieses würde den kaum gebildeten Niederschlag wieder auflösen. — Zur Kraftübertragung sind wieder beide Stromarten verwendbar. Wenn man nämlich durch irgend eine Kraft, z. B. eine Wasserkraft, die Axe einer elektrischen Maschine, der sogenannten primären Maschine, treiben lässt und den entstehenden Strom nach einem anderen Ort in eine gleiche Maschine, die sekundäre Maschine oder den Elektromotor, leitet, so findet am zweiten Ort der umgekehrte Vorgang wie am ersten statt.

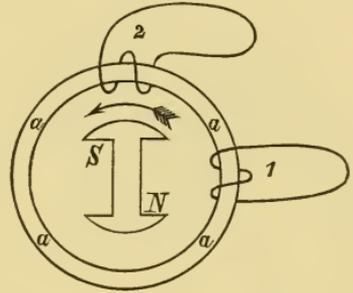
Während hier mechanische Energie in elektrische umgesetzt wird, verwandelt sich dort die elektrische Energie wieder in mechanische, die Axe der sekundären Maschine dreht sich und vermag Arbeit zu leisten. Es leidet aber sowohl die Kraftübertragung vermitteltst Wechsel- als auch die vermitteltst Gleichstroms an einem bedeutenden Nachtheil. Sind beide Maschinen Wechselstrommaschinen, so vermag aus naheliegenden Gründen der von der primären Maschine gelieferte Strom die Bewegung der sekundären Maschine nur zu unterhalten, wenn Synchronismus vorhanden ist, d. h. wenn sich die Axen beider Maschinen gleich rasch drehen. Sowie daher bei der sekundären Maschine in Bezug auf das von ihr zu fordernde Arbeitsquantum eine Ueberlastung eintritt, bleibt die Maschine stehen. Der Nachtheil der Gleichstrommaschinen bei Kraftübertragung ist anderer Art. Er tritt ein, wenn Energie auf eine grössere Entfernung übertragen werden soll. Es muss dann der Rentabilität wegen hochgespannter Strom verwendet werden, indem nur solcher dünne Leitungsdrähte ohne erheblichen Energieverlust zu durchfliessen vermag. Gleichstromanlagen für Strom von hoher Spannung sind aber nur mit grosser Schwierigkeit herzustellen. Die Spannung eines elektrischen Stroms entspricht dem Gefälle eines Baches. Ebenso wie die Enden eines Wasserlaufs eine Höhendifferenz aufweisen müssen, muss an den Enden eines Drahtes, der von einem elektrischen Strom durchflossen werden soll, eine Verschiedenheit des elektrischen Zustandes vorhanden sein, welche Spannung genannt wird. Die Stärke eines elektrischen Stromes entspricht der in einer Sekunde durch den Querschnitt eines Baches fliessenden Wassermenge. Ist diese bei einem Bache doppelt, das Gefälle dagegen halb so gross als bei einem anderen, so sind die Arbeitsleistungen, deren die beiden Bäche fähig sind, gleich. Allgemein sind die Arbeitsleistungen zweier Bäche dieselben, wenn die Produkte aus den in einer Sekunde durch ihre Querschnitte strömenden Wassermengen und ihren Gefällen gleich sind. Ebenso bleibt die Energie eines elektrischen Stromes so lange die nämliche, als das Produkt aus seiner Stärke und Spannung sich nicht ändert. Will man daher elektrische Energie auf eine grössere Entfernung übertragen, so leitet man den in den dicken Drahtwickelungen einer Maschine entstandenen Strom von grosser Stärke und niedriger Spannung in einen besonderen Apparat, einen sogenannten Transformator, worin er in einen Strom von geringer Stärke und hoher Spannung verwandelt wird. Diesen führt man durch dünne Drähte nach der Endstation und verwandelt ihn vermitteltst eines

Transformators für den Gebrauch in einen niedrig gespannten Strom zurück, denn Strom von hoher Spannung ist lebensgefährlich.

Von den geschilderten Nachtheilen der Wechsel- und Gleichstrommaschinen bei Kraftübertragungen sind die Drehstrommaschinen vollständig frei. Um die Vorgänge in einer solchen zu verstehen, muss man sich an das erinnern, was bei Besprechung der Gramme'schen Maschine zuletzt bemerkt wurde. Ich habe da darauf aufmerksam gemacht, dass man zu demselben Ergebniss gelangen würde, wenn man den Ring feststehen und im Inneren desselben zwei Magnetpole in umgekehrter Richtung rotiren liesse. Es würde dann also in einer irgendwo um den Ring gelegten Windung ein Wechselstrom entstehen. Es rotire nun ein Magnet (S N, Fig. 15) im Inneren eines Eisenrings (a), der an zwei um  $90^\circ$  von einander entfernten Stellen (1 u. 2) in derselben

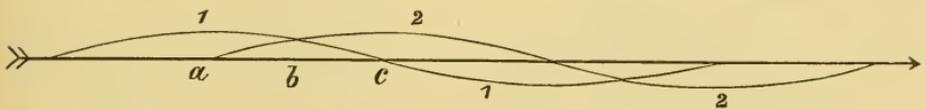
Richtung spulenförmig mit isolirtem Kupferdraht umwickelt sei. In Fig. 15 ist jede Spule durch zwei Windungen angedeutet. Anfang und Ende jeder Spule seien mit einander verbunden. Es werden dann in beiden Spulen, welche die Stelle der vorher genannten einen Windung einnehmen, Wechselströme entstehen, die aber in ihrem Verlauf oder ihren Phasen um  $90^\circ$  verschieden sind, denn wenn der Magnet zur

Fig. 15.



Spule 1 in irgend einer Stellung sich befindet, so muss er sich um  $90^\circ$  weiter drehen, um zu 2 in dieselbe Stellung zu kommen. Fig. 16 gibt ein Bild der gegenseitigen Beziehung beider Wechselströme. Wenn der eine Strom die Stärke Null besitzt, ist der andere nach der einen oder

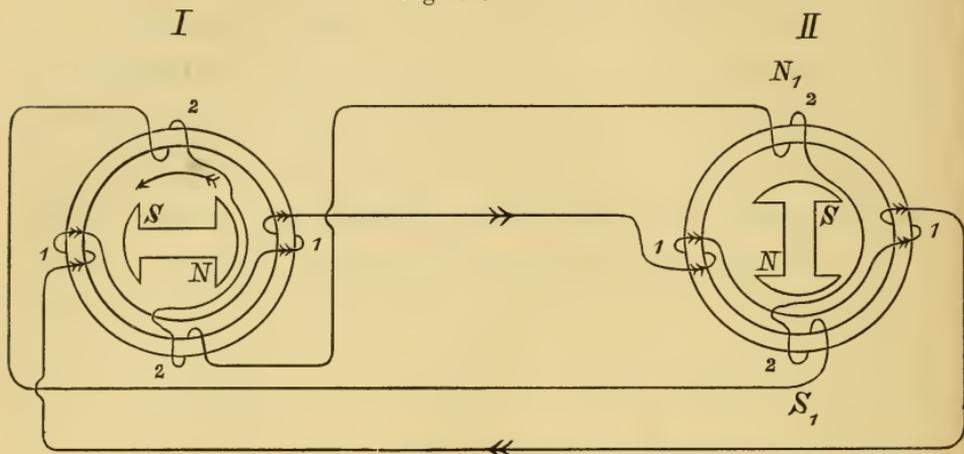
Fig. 16.



anderen Richtung im Maximum. Bei der Stellung des Magnets in Fig. 15 ist z. B. die Spule 1 dem Magnet gegenüber in der Lage I der Fig. 9, der Strom der Spule also von der Stärke Null. Damit Spule 2 in die entsprechende Lage komme, muss der Magnet sich um  $90^\circ$  weiter drehen. Dann ist aber Spule 1 in der Lage III, mithin ihr Strom im Maximum nach der einen Richtung (Fig. 16, a). Zur

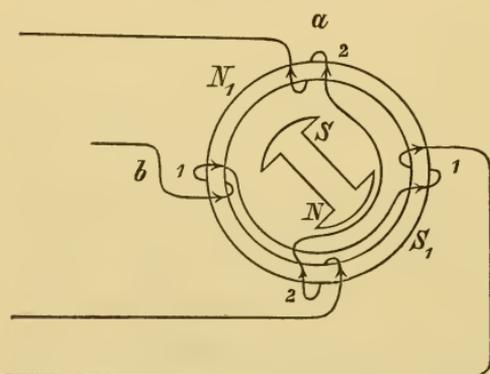
Verstärkung der Wirkung sei wie bei Stöhrer's Maschine jede Spule mit einer diametral entgegengesetzten und umgekehrt gewickelten verbunden (Fig. 17, I).

Fig. 17.



Die beiden Wechselströme mögen in eine an einer anderen Station befindliche gleiche Maschine (die sekundäre Maschine, Fig. 17, II) geleitet werden. Hat der primäre Magnet die Stellung Fig. 17, I, so hat der Strom der Spulen 1 das Maximum nach der einen Richtung, (in Fig. 17 durch doppelte Pfeilspitzen angedeutet,) während die Spulen 2 stromlos sind (siehe Fig. 16, a). Indem der Strom durch die Spulen 1 der sekundären Maschine hindurchgeht, ruft er in dem Ring derselben an derjenigen Stelle ( $N_1$ ) einen Nordpol hervor, von wo aus gesehen der Strom in den Spulen entgegengesetzt der Uhrzeigerbewegung kreist; diametral gegenüber entsteht ein Südpol ( $S_1$ ), und der sekundäre Magnet stellt sich in die in Fig. 17 gezeichnete Lage ein.

Fig. 18.



Wenn sich der primäre Magnet um  $45^\circ$  weiter gedreht hat, so ist der Strom der Spulen 1 auf einen mittleren Werth zurückgegangen, der Strom der Spulen 2 von Null zu demselben Werth gewachsen (siehe die sekundäre Maschine Fig. 18, auch Fig. 16, b).

Der Strom der Spulen 1 sucht bei a (Fig. 18), derjenige

der Spulen 2 bei b einen Nordpol hervorzurufen. Infolge dessen entsteht ein solcher mitten zwischen a und b bei  $N_1$ , ein Südpol bei  $S_1$ , und der sekundäre Magnet nimmt die in Fig. 18 dargestellte Lage an. Nach einer abermaligen Weiterdrehung des primären Magnets um  $45^\circ$  ist die Stromstärke in den Spulen 1 auf Null gesunken, während der Strom in den Spulen 2 sein Maximum erreicht hat (Fig. 19 u. 16, c).

Letzterer erregt im sekundären Ring bei  $N_1$  (Fig. 19) einen Nord- und bei  $S_1$  einen Südpol, so dass der Magnet der sekundären Maschine die Lage annimmt, welche Fig. 19 zeigt. Ich brauche diese Betrachtung nicht fortzusetzen. Sie sehen bereits, dass die von der ersten Maschine kommenden Wechselströme in dem Ring der zweiten Maschine

rotirende Magnetpole erzeugen, deren Bewegung der sekundäre Magnet folgen muss, wodurch dessen Axe in Drehung geräth. Statt zweier Spulen oder Spulenpaare kann man zur Erhöhung der Wirkung deren natürlich auch drei oder mehrere in gleichen Abständen anbringen. Es erscheint nur misslich, für jede Spule bzw. für jedes Paar eine besondere Hin- und Rückleitung einzurichten. Nun hat man aber gefunden, dass man

in gewissen Fällen bei einer eigenthümlichen Verkettung der Spulen mit nur drei Leitungsdrähten auskommt. Fig. 20 zeigt einen Fall dieser Verkettung für drei Spulen.

Fig. 19.

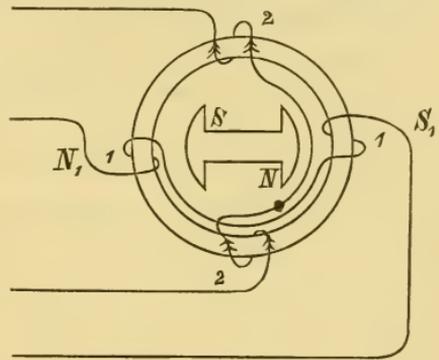
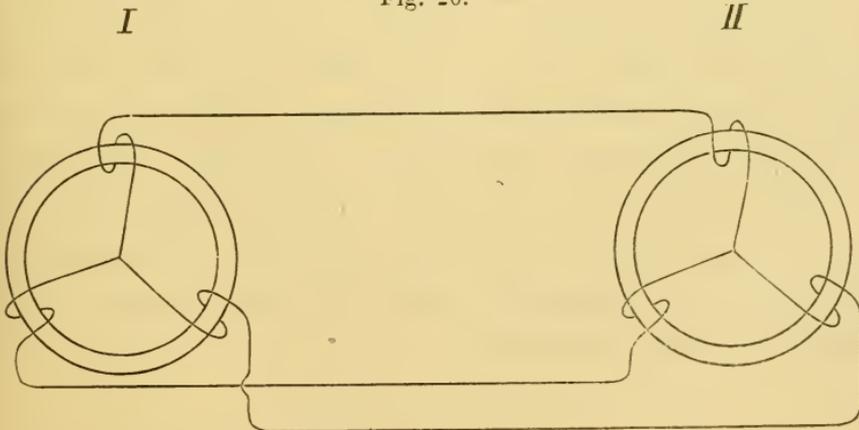


Fig. 20.



Da die Drahtwicklung einer nach Gramme's System gebauten Maschine als verkettete Spulen betrachtet werden kann, so ist klar, dass man auch aus ihr Wechselströme von verschiedener Phase entnehmen kann, jedoch nicht ohne Schleifringe und -Federn, da ja der Eisenring sich bewegt.

Was ich Ihnen eben vorgeführt habe, nennt man Mehrphasen- oder Drehstrom, der also nichts Anderes ist als eine Combination von zwei oder mehreren Wechselströmen verschiedener Phasen. Sie werden erkannt haben, dass die Drehstrommaschinen (siehe die schematischen Figuren 17 bis 19) ausserordentlich einfach gebaut sind. Dazu ist ihr Betrieb sicherer und ihre Wirkung — wenigstens versichern das ihre Erfinder — kräftiger. Es ist kein Grund dafür vorhanden, dass ein Drehstrommotor wie ein Wechselstrommotor bei Ueberlastung stehen bleiben müsste. Endlich lassen sich die Ströme einer Drehstrommaschine als Wechselströme ohne Schwierigkeit auf hohe Spannung transformiren. Zu diesem Zwecke leitet man sie durch Spulen aus dickem Draht, welche in Spulen aus feinem Draht eingesteckt sind (Transformatoren). In letzteren Spulen erregen die Ströme, da sie ihre Stärke beständig ändern, andere Wechselströme (Voltainduction), und zwar wegen der feinen Drähte solche von hoher Spannung. Diese werden vermittelt dünner Drähte nach der Endstation in die feindrätigen Spulen von Transformatoren geleitet, aus deren anderen Spulen dann niedrig gespannte Ströme herauskommen. Seine Feuerprobe hat der Drehstrom bestanden bei der Kraftübertragung Lauffen-Frankfurt a. M., wobei dreihundert Pferdekkräfte in Form von hochgespannter elektrischer Energie auf eine Entfernung von 175 Kilometer durch drei nur je vier Millimeter dicke Drähte mit nicht erheblichem Energieverlust fortgeleitet wurden. Nach diesem Erfolg darf man die Vermuthung aussprechen, dass wir mehr und mehr dahin gelangen werden, das Licht, die Wärme, die Arbeit, deren wir bedürfen, durch Vermittelung der Elektrizität den jetzt noch zum allergrössten Theil unbenutzten Naturkräften zu entnehmen. Das Zeitalter des Dampfes scheint in der That zu Ende zu gehen und ein neues Zeitalter, das der Elektrizität, zu beginnen. Möge uns dasselbe einen gewaltigen Schritt vorwärts bringen nicht nur in der Vervollkommnung unserer technischen Hilfsmittel, sondern vor allem in Bezug auf die Wohlfahrt der ganzen Menschheit!

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde](#)

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Kadesch A.

Artikel/Article: [Ueber Elektrischen Wechsel-, Gleich- und Drehstrom. 1-18](#)