

Ueber  
**elektrodynamische Induction.**

Von

**PROF. DR. VICTOR PIERRE.**

---

Vortrag, gehalten am 16. und 23. Jänner 1878.



Wiewohl die in das Ende des verflossenen und die ersten Jahre des laufenden Jahrhunderts fallenden Untersuchungen verschiedener Physiker, unter denen insbesondere Brugmanns, Lebaillif und Coulomb zu nennen sind, es ausser Zweifel gestellt hatten, dass ein Magnet nicht bloß auf Eisen, sondern auch auf mehrere andere Metalle einzuwirken vermöge, erregte doch die durch den Pariser Mechaniker Gambey im Jahre 1824 gemachte Wahrnehmung, dass eine auf einer Spitze frei bewegliche Magnetnadel (Compassnadel) über einer Metallscheibe schwingend viel schneller zur Ruhe komme als über einer Scheibe von Glas, Holz u. dgl., die Aufmerksamkeit des berühmten Astronomen und Physikers Arago deshalb in hohem Grade, weil er darin eine von allem bisher Bekannten gänzlich abweichende Art magnetischer Wechselwirkung zwischen der schwingenden Nadel und der unter ihr befindlichen Metallscheibe erkannte, welche sich nur während der Bewegung der Nadel, und zwar die Bewegung derselben hemmend, geltend macht, während, wenn beide Körper ruhen, keinerlei Einwirkung des einen auf den anderen wahrnehmbar ist.

Um die Art und Weise dieser Wechselwirkung und deren Gesetze feststellen zu können, setzte Arago eine Kupferscheibe durch einen geeigneten Mechanismus in rasche Rotation um eine verticale Axe und stellte über derselben eine auf einer Spitze in horizontaler Ebene leicht drehbare Magnetnadel auf, welche, um den störenden Einfluss von Luftströmungen abzuhalten, durch eine zwischengestellte Glasplatte von der Kupferscheibe getrennt war. So wie die Kupferscheibe anfängt sich zu drehen, geräth auch die Magnetnadel in Bewegung, und zwar immer im Sinne der Rotationsrichtung der Scheibe. Anfänglich und so lange die Rotationsgeschwindigkeit noch eine geringe ist, wird die Nadel nur aus dem magnetischen Meridiane abgelenkt, der Ablenkungswinkel aber nimmt mit steigender Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe stetig zu, bis endlich bei einer gewissen Grösse dieser Geschwindigkeit die Magnetnadel ebenfalls zu rotiren beginnt, indem sie dabei fortwährend der Scheibe folgt. Der Versuch gelingt auch mit Scheiben aus anderen Metallen, welche unter gewöhnlichen Umständen keine Spur von Einwirkung auf eine Magnetnadel zeigen, er gelingt dagegen nicht mit Scheiben aus Stoffen, welche die Elektrizität nicht leiten, wie z. B. Scheiben aus Schwefel, Schellack, Holz, Pappe, Glas u. dgl., und wenn man bei den letztgenannten drei Stoffen ab und zu einige schwache, jedenfalls unentschiedene Wirkungen wahrgenommen hatte, so war dies durch die hygroskopischen Eigenschaften derselben bedingt, indem derartige Körper im feuchten Zustande die Elektrizität

zu leiten vermögen. Uebereinstimmend mit Arago beobachteten Herrschel und Babbage, dass selbst rotirende Scheiben, welche aus guten Elektricitätsleitern hergestellt, aber mit radialen Einschnitten oder sectorenförmigen Ausschnitten versehen sind um so weniger auf die Magnetnadel einwirken, je zahlreicher und bedeutender jene Continuitätsstörungen sind; ihre volle Wirkung aber sogleich wieder geltend machen, sobald man die Lücken mit einer die Elektricität gut leitenden Substanz ausfüllt. Die letztgenannten beiden Physiker kehrten übrigens auch den Versuch derart um, dass sie eine metallene Scheibe auf einer Spitze, um dieselbe in horizontaler Ebene drehbar balancirten und unter ihr und von ihr durch eine Zwischenwand getrennt, einen Hufeisenmagnet mit vertical gestellten Schenkeln rotiren liessen; auch in diesem Falle folgte die Scheibe den rotirenden Magnetpolen und hielt stille, sobald diese ruhten.

Ausser den eben Genannten beschäftigten sich auch Seebeck, Haldat, Barlow, Colladon, Ampère und mehrere Andere viel mit der merkwürdigen Erscheinung, dass ein Körper, der keinerlei wahrnehmbare Einwirkung auf einen Magnet ausübt so lange beide ruhen, augenblicklich eine Einwirkung zeigt, sobald einer von ihnen in der Nähe des anderen sich bewegt. Die eigentliche Ursache des Phänomens, das man in Ermangelung einer besseren Bezeichnung Rotationsmagnetismus nannte, blieb jedoch völlig räthselhaft, und es mussten volle sieben Jahre nach den ersten Untersuchungen Arago's ver-

streichen, bis es Faraday gelang, dieselbe klar zu legen und durch unumstößliche Beweise festzustellen.

Ausgehend von Oerstedt's Entdeckung der magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes, konnte Faraday nachweisen, dass jeder in der Nähe eines Elektrizitätsleiters sich bewegende Magnet in jenem elektrische Ströme hervorrufe, die aber so gerichtet sind, dass sie durch ihre Rückwirkung auf den Magnet die Bewegung desselben zu hemmen vermögen.<sup>1)</sup> Er machte aber auch

---

1) Sehr auffällig gibt sich diese hemmende Wirkung auch bei den Erscheinungen kund, welche gutleitende Metallmassen zeigen, wenn sie zwischen kräftigen Magnetpolen in Rotation versetzt werden. Faraday wurde erst im Jahre 1845 gelegentlich seiner Untersuchungen über den Diamagnetismus auf diese Erscheinungen aufmerksam, als er einen Cylinder oder einen Würfel von Kupfer zwischen den spitz zulaufenden Polen eines sehr starken Elektromagnetes \*) an einem Seidenfaden aufhängte. Drehte man den Seidenfaden stark zusammen, so gerieth der Kupferkörper durch das Streben des Seidenfadens sich wieder aufzudrehen, in rasche Rotation. Wird während dieser Rotation der Elektromagnet wirksam gemacht, so hält der rotirende Körper augenblicklich still, um, sobald der Magnetismus in jenem verschwindet, seine Bewegung sogleich wieder fortzusetzen. Noch instructiver lässt sich der Versuch derart ausführen, dass man eine Kupferscheibe mittelst eines um ihre horizontale Axe gewickelten, ein kleines Gewicht tragenden Fadens zwischen den sehr

---

\*) Wickelt man auf einen Cylinder von weichem Eisen mit Seide überspannenen Draht in vielen Lagen auf, so wird das Eisen in dem Momente, in welchem ein elektrischer Strom durch den Draht geleitet wird, kräftig magnetisch, verliert aber diesen seinen Magnetismus wieder augenblicklich, wenn der Strom im Drahte unterbrochen wird. Ein derartig mit Draht umwickelter Eisenkern, wird ein Elektromagnet genannt.

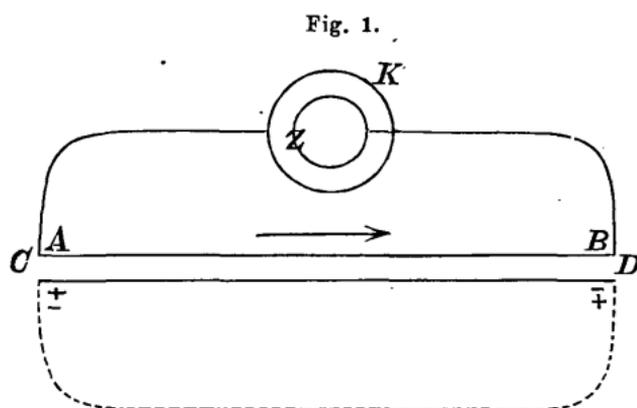
noch die weitere Entdeckung, dass in jedem Elektrizitätsleiter den ebenerwähnten ähnliche Ströme erregt werden, wenn sich in seiner Nähe, aber vollständig von ihm isolirt, ein zweiter Leiter befindet, in welchem ein elektrischer Strom entsteht oder verschwindet oder überhaupt eine Aenderung seiner Intensität erleidet. Faraday bezeichnete alle derartig erhaltenen Ströme als Inductions- oder inducirte Ströme, und zwar die erst-erwähnten als magnetische, die letzteren als elektrische Inductionsströme.

Es darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass lange vor Faraday, Ampère in einem Memoire, welches er schon im Jahre 1822 der Pariser Akademie überreicht hatte, nicht nur in ganz bestimmter Weise den aus theoretischen Untersuchungen abgeleiteten Satz aussprach: „Dass in einem in sich zurückkehrenden Leiter durch den Einfluss eines elektrischen Stromes, der in einem benachbarten, mit dem ersteren in gar keiner Verbindung stehenden Leiter auftritt, gleichfalls ein elektrischer Strom erregt werden müsse,“ sondern ihm auch gelungen war

---

nahe an die Scheibe herangerückten Polflächen eines Elektromagnetes in rasche Rotation versetzt. Man hat es dabei in seiner Macht das Gewicht so zu wählen, dass die Scheibe beim Erregen des Magnetes entweder ganz stille hält oder sich doch nur so langsam bewegt, als ob sie dem hemmenden Einflusse eines widerstehenden Mittels oder einer starken Axenreibung unterliegen würde, während sie beim Verschwinden des Magnetismus im Elektromagnete sogleich wieder mit der ursprünglichen Geschwindigkeit zu rotiren beginnt.

die Existenz eines solchen Stromes durch den Versuch nachzuweisen. Nichtsdestoweniger bleibt Faraday das Verdienst durch seine experimentellen Untersuchungen dasjenige was Ampère's Theorie voraussah, bestätigt zu haben, indem er die Bedingungen, unter welchen Inductionsströme auftreten, sowie die Gesetze ihres Verlaufes endgiltig feststellte und dadurch ein bislang wenig gekanntes und dunkles Gebiet der wissenschaftlichen Forschung erschloss, ein Gebiet, auf welchem wir eine Menge nicht nur wissenschaftlich, sondern auch praktisch interessanter und wichtiger Erfolge zu verzeichnen haben.



Wenden wir uns nun zu den Grunderscheinungen, welche den Ausgangspunkt dieser Erfolge bilden. Leitet man den Strom einer Volta'schen Kette  $ZK$  (Fig. 1) durch einen linearen Leiter  $AB$ , in dessen Nähe sich ein zweiter, von  $AB$  völlig isolirter Leiter  $CD$  befindet, so wird in dem Augenblicke, in welchem der Strom in

$AB$  beginnt, in  $CD$  eine Trennung der entgegengesetzten elektrischen Zustände hervorgerufen, derart, dass z. B. das eine Ende  $C$  positiv, das andere  $D$  negativ elektrisch wird. Dies dauert jedoch nur einen Moment und mit dem Constantwerden des Stromes im Leiter  $AB$ , verschwindet jede Spur eines elektrischen Zustandes in  $CD$ . Erst wenn man die leitende Verbindung zwischen der Kette  $KZ$  und dem Leiter  $AB$  wieder aufhebt, wodurch der Strom in  $AB$  verlöscht, beobachtet man abermals eine schnell vorübergehende Trennung der elektrischen Zustände in  $CD$ , die aber der früheren gerade entgegengesetzt ist, indem nun das Ende  $C$  negative,  $D$  aber positive Elektrizität annimmt.

Es geht daraus hervor, dass sowohl das Entstehen als auch das Aufhören eines elektrischen Stromes auf einen in dessen Nähe befindlichen Leiter elektromotorisch, d. h. die entgegengesetzt elektrischen Zustände in demselben trennend wirkt, und dass diese Trennung beim Beginne und beim Erlöschen des Stromes in entgegengesetztem Sinne erfolgt.

Werden aber die Enden  $C$  und  $D$  des zweiten Leiters selbst wieder leitend verbunden, so dass ein in sich geschlossener Leitungskreis  $CDE$  hergestellt ist, so treten in Folge der elektromotorischen Einwirkung des Leiters  $AB$  in dieser geschlossenen Leitung elektrische Ströme auf, und zwar beim Schliessen der Kette, ein dem Strome in  $AB$  entgegengesetzt (invers) verlaufender, beim Oeffnen derselben aber ein mit dem verschwindenden Strome gleichgerichteter (directer) Inductionsstrom.

Man pflegt um sich in diesen und ähnlichen Fällen kurz ausdrücken zu können, den Leiter  $AB$  den primären oder inducirenden, den Leiter  $CDEC$  dagegen den secundären oder inducirten zu nennen und ebenso auch den Strom in  $AB$  als primären von den in  $CDEC$  auftretenden secundären Strömen zu unterscheiden.

Ist der primäre Strom von unveränderlicher Stärke (wie ihn etwa eine Daniell'sche Kette liefert) so sind die beim Schliessen und Oeffnen der Kette auftretenden Inductionsströme nur von sehr kurzer Dauer, so dass sie, wenn auch nicht im vollen Sinne des Wortes als Momentanströme (vergleichbar dem Entladungsstrom einer Leidnerflasche) angesehen werden können. Ist dagegen die Intensität des primären Stromes veränderlich, so entspricht jeder Zunahme derselben ein inverser, jeder Abnahme ein directer Inductionsstrom, von denen jeder aber so lange dauert als die Intensitätsschwankung des primären Stromes anhält und mit dem Constantwerden des Letzteren sogleich verschwindet.

Dieselbe inducirende Wirkung wie die Zu- oder Abnahme der Intensität des primären Stromes wird auch bei gleichbleibender Intensität desselben durch jede Aenderung in dem Abstände der Leiterstrecken  $AB$  und  $CD$  hervorgebracht, und zwar entspricht der Annäherung ein inverser, der Entfernung ein directer Inductionsstrom, dessen Verlaufsdauer der Dauer der Distanzänderung gleichkömmt.

Unmittelbar nach der Entdeckung der magnetischen Fernwirkung des elektrischen Stromes durch Oerstedt

hatte Ampère durch eine classische Analyse die Gesetze dieser Wirkungen auf theoretischem Wege erforscht und war dadurch zu dem merkwürdigen Resultate gelangt, dass jeder geschlossene Stromkreis, auf eine Magnetsnadel genau so wirkt wie eine durch den Stromleiter begrenzte Fläche, welche auf der einen Seite Nord- auf der anderen Seite Südmagnetismus besitzt, ja dass man durch eine parallele Nebeneinanderstellung solcher gleichgerichteter Ströme ein System, welches er ein Solenoid nannte, erhalten könne, das einer benachbarten Magnetsnadel gegenüber sich wie ein Magnetstab verhält; ein Umstand, der ihn auch zu der Annahme bestimmte, dass der Magnetismus eines Stahlstabes eben nur in solchen gleichgerichteten, die Elemente des Stahles umkreisenden elektrischen Strömen seinen Grund habe.

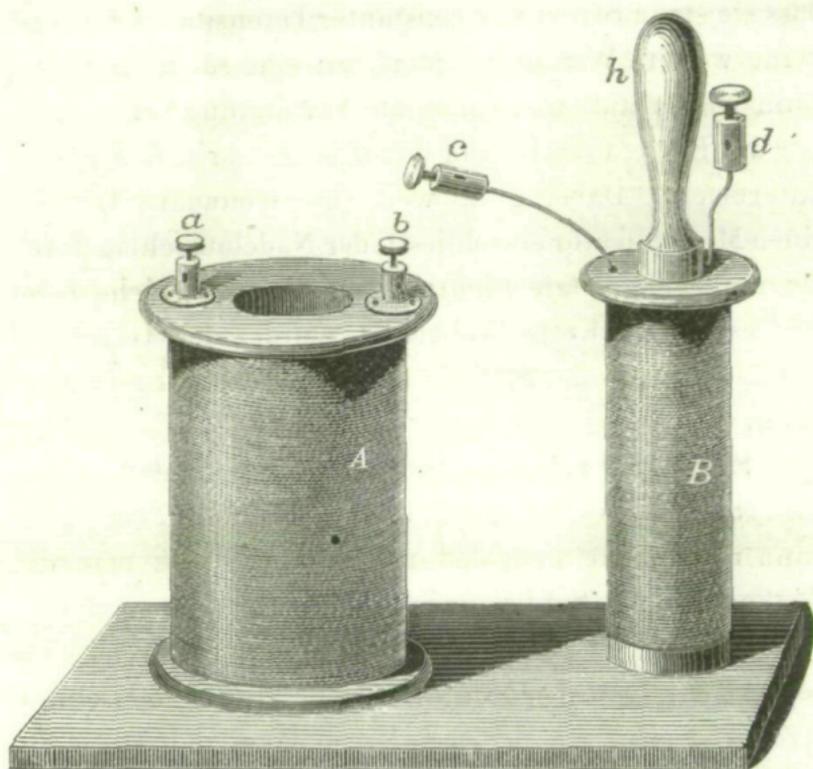
Diese Entdeckung Ampère's veranlasste Faraday zu untersuchen ob die Aequivalenz von Solenoiden und Magneten auch bezüglich der Induction von elektrischen Strömen Geltung habe und er fand in der That, dasjenige was die Theorie voraussehen liess, in der Erfahrung vollständig bestätigt. Das Entstehen und Verschwinden von Magnetismus, ist der Theorie Ampère's zufolge gleichbedeutend mit dem Entstehen und Verschwinden von die Querschnitte des magnetischen Körpers umkreisenden elektrischen Strömen und ruft auch wirklich in einem benachbarten geschlossenen Leiter Inductionsströme hervor, welche sich genau nach denselben Gesetzen richten wie die durch Entstehen oder Verschwinden elektrischer Ströme inducirten. Sie entstehen ebensowohl

in einem geschlossenen Leiter, welcher einen Kern von weichem Eisen umgibt, dann, wenn man den Pol eines Magnetes dem Eisenkerne nähert oder ihn von demselben entfernt, als auch dann, wenn man in eine Drahtspule, die eine geschlossene Leitung darbietet, einen Magnetstab einschiebt oder herauszieht, oder bei in der Spule ruhendem Magnetstabe einen Eisenanker an dessen Pole anlegt, oder einen angelegten Anker abzieht und dadurch das magnetische Moment des Stabes vermindert oder vergrößert. Die Richtung des Inductionsstromes, welcher beim Entstehen des Magnetismus in weichem Eisen oder dem Einführen eines Magnetpoles in die Spule auftritt, ist die entgegengesetzte von jener, welche beim Verschwinden des Magnetismus oder Ausziehen des Poles zu Stande kömmt, und ebenso bedingt entgegengesetzte magnetische Polarität entgegengesetzte Richtung des magnetischen Inductionsstromes.

Es dürfte nicht schwer einzusehen sein, dass die Intensität der auf irgend eine der eben besprochenen Weisen erregten inducirten Ströme ausser von der Intensität des inducirenden Stromes, beziehungsweise des inducirenden Magnetismus auch noch wesentlich von der Ausdehnung jener Strecke des secundären Leiters abhängt, auf welcher sich die elektromotorische Wirkung der erregenden Ursache geltend machen kann. Aus diesem Grunde verfährt man am zweckmässigsten so, dass man behufs der Isolirung mit Seide oder Wolle umspinnene Drähte auf Spulen aufwickelt, von denen die Eine *A* (Fig. 2) hohl ist, so dass die zweite *B* in sie hinein-

geschoben werden kann. Verbindet man die Enden *c* und *d* der Letzteren mit den Polen einer Volta'schen Kette, während die Enden *a* und *b* des äusseren Drahtes durch den menschlichen Körper oder irgend eine zur Wahr-

Fig. 2.



nehmung der Wirkungen des elektrischen Stromes geeignete Vorrichtung (z. B. einen Multiplicator) untereinander leitend verbunden sind, so tritt im Momente der Schliessung der Kette durch den als primären Leiter fungirenden Draht der Spule *B* in dem secundären Leiter

der Spule *A* ein schnell vorübergehender Strom auf, der sich, wenn in die secundäre Leitung der menschliche Körper eingeschaltet ist, durch Muskelzuckungen, bei Einschaltung eines Multiplicators aber durch einen Ausschlag der Magnetnadel kundgibt. Nach erfolgter Schliessung der Kette (von der wir voraussetzen wollen, dass sie einen Strom von constanter Intensität liefere) ist keine weitere Wirkung bemerkbar, eine solche tritt erst dann wieder auf, wenn man die Verbindung der Spule *B* mit der Kette aufhebt und dadurch den primären Strom unterbricht. Dabei gibt, wenn die secundäre Leitung einen Multiplicator einschliesst, der Nadelausschlag durch die entgegengesetzte Richtung von jener, welche beim Schliessen der Kette beobachtet wurde, den Gegensatz der Richtungen des Schliessungs- und Oeffnungsstromes kund.

Statt, bei ruhender Spule *B* durch Einleiten und Unterbrechen des Stromes Inductionsströme zu erzeugen, kann man solche auch dadurch erhalten, dass man die beständig in den Schliessungskreis der Kette eingeschaltet bleibende Spule *B* in die Spule *A* hineinschiebt oder herauszieht, wobei man abwechselnd entgegengerichtete Ströme erhält, von denen jeder so lange dauert als die Spule in Bewegung begriffen ist und sofort erlischt, sowie diese stille hält.

Bildet der auf eine solche Spule aufgewickelte Draht eine in sich geschlossene Leitung, so muss in dem Augenblicke, in welchem in ihr ein Strom entsteht oder verschwindet, jede einzelne Windung auf alle ihr

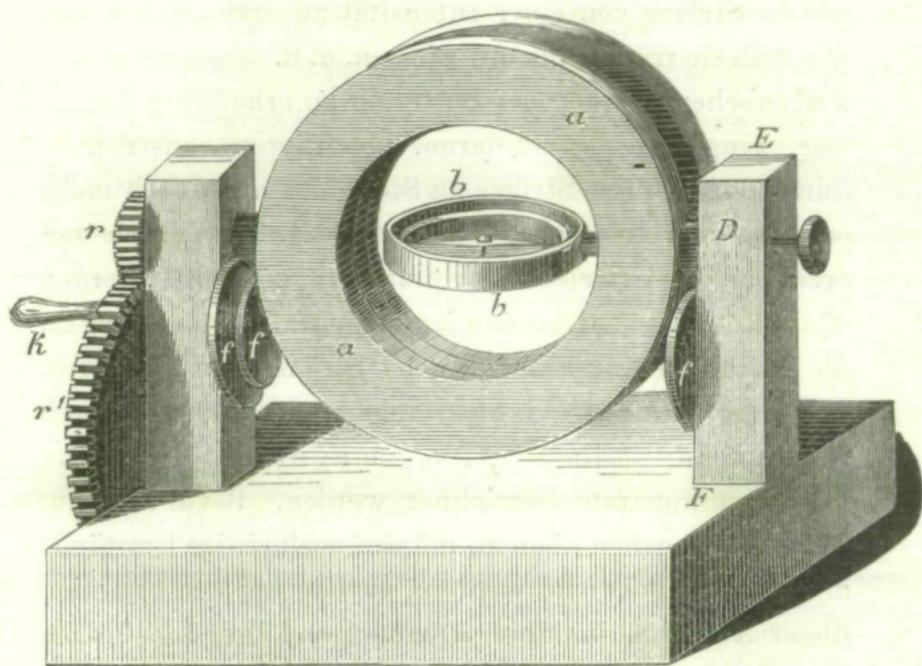
benachbarten inducierend wirken und dadurch jedesmal einen Strom erzeugen, welchen Faraday den Extrastrom (extracurrent) nennt. Der beim Entstehen des primären Stromes in der eigenen Leitung desselben auftretende Extrastrom hat eine dem erregenden Strome entgegengesetzte Richtung und schwächt denselben, während der dem erlöschenden Strome entsprechende Extrastrom mit diesem gleichgerichtet ist und denselben im Momente seines Erlöschens verstärkt. Dieser letzt-erwähnte Extrastrom ist auch die Ursache der zuerst von Henry beobachteten Erscheinung, dass wenn ein überspannener, auf einen Eisenkern in vielen Lagen aufgewickelter Draht als Schliessungsleiter einer Volta-schen Kette dient, jedesmal beim Oeffnen der Kette ein kräftiger Funke sich zeigt. Dieser Funke ist eine Folge des mit dem verschwindenden Strome gleichgerichteten, diesen verstärkenden Extrastromes, welcher bei Anwen-dung des Eisenkernes so intensiv ist, dass er die im Augenblicke der Unterbrechung entstehende dünne Luft-schicht unter Licht- und Wärmeentwicklung in Gestalt eines Funkens durchbricht. Henry hat auch das Ver-dienst zuerst die Inductionsströme höherer Ordnung entdeckt zu haben. Sowie nämlich der primäre Leiter Ströme in dem secundären inducirt, müssen auch diese Ströme selbst wieder auf benachbarte Leiter inducierend wirken und dadurch Veranlassung zu tertiären In-ductionsströmen geben, die ihrerseits wieder Ströme noch höherer Ordnung hervorzurufen im Stande sind. Da der Schliessungs- und der Oeffnungsstrom je zwei Ströme

von abwechselnd entgegengesetzter Richtung im tertiären Leiter gibt, entsprechen dem Entstehen und Verschwinden des primären Stromes, schon vier abwechselnd entgegengesetzt gerichtete Inductionsströme dritter Ordnung, diesen acht vierter Ordnung u. s. w. in derselben Zeit, in welcher im secundären Leiter nur zwei solche Ströme auftreten.

Faraday's Entdeckung der magnetischen Inductionsströme veranlasste Palmieri und Linari zu der Untersuchung, ob man nicht auch im Stande sei, durch den Magnetismus der Erde elektrische Ströme zu induciren. Zu diesem Ende wickelten sie überspannenen Draht, dessen Enden zu einem Multiplicator führten, auf eine Spule auf, deren geometrische Axe dem magnetischen Meridiane parallel gestellt und um eine auf letzterem senkrechte Axe gedreht werden konnte. Sie erhielten in der That auf diese Weise abwechselnd entgegengesetzt gerichtete Ströme. Auf noch einfachere Weise können diese durch den Erdmagnetismus inducirten Ströme mit Hilfe des in nebenstehender Zeichnung dargestellten Erdinductors von Weber nachgewiesen werden;  $aa$  ist ein kreisrunder Holzrahmen, auf welchen überspannener Draht in vielen Lagen so aufgewickelt ist, dass er eine in sich geschlossene Leitung bildet; der Rahmen ist mittelst der Zahnräder  $rr'$  um eine auf den Frictionsrollen  $ff$  rollende Axe drehbar, deren Ende  $D$  hohl ist und den an dem Ständer  $EF$  befestigten Träger einer gewöhnlichen Boussole  $bb$  durch sich hindurch und sich um denselben drehen lässt. Wird diese Axe

senkrecht gegen den magnetischen Meridian gestellt und die Drahtspule in Drehung versetzt, so gewahrt man eine Ablenkung der Boussolennadel in Folge der in dem Drahte durch den Magnetismus der Erde inducirten Ströme und man kann sogar aus der Grösse des Nadel-

Fig. 3.



ausschlages einen Schluss auf die Intensität der Componenten des Erdmagnetismus u. dgl. m. ziehen. Aus diesen Erscheinungen ergibt sich die interessante Folgerung, dass kein die Elektrizität leitender Körper auf der Erde sich bewegen kann, ohne dass erdmagnetische Inductionsströme in ihm auftreten, und dass selbst

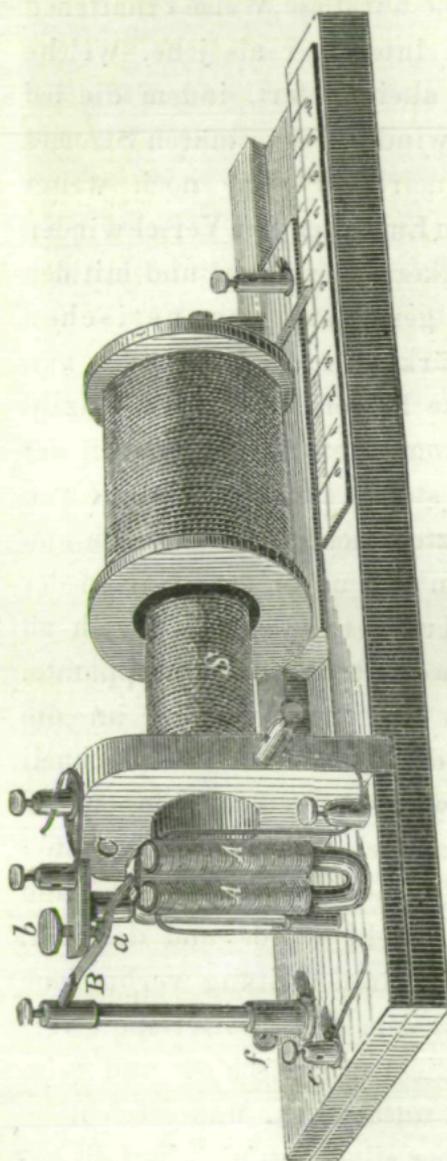
in ruhenden Electricitätsleitern jede Veränderung der Intensität des Erdmagnetismus unter geeigneten Bedingungen zu solchen Strömen Veranlassung geben muss.

Da man sowohl durch elektrische als auch durch magnetische Induction, und zwar im ersteren Falle durch den Strom eines einzigen oder nur weniger Volta'schen Elemente, im letztern ganz ohne solche Elemente, elektrische Ströme von einer Intensität zu erzielen vermag, wie man sie früher nur mit grossen, d. h. vielelementigen Volta'schen Ketten oder Batterien zu erhalten gewohnt war, ging man alsbald daran, Apparate zu construiren, durch welche diese Ströme an Stelle der nur durch mehr oder weniger kostspielige und umständliche Vorarbeiten erzielbaren Batterieströme nutzbar gemacht werden können, und so entstanden jene Apparate, welche, wenn die Induction durch elektrische Ströme bewirkt wird, als elektromagnetische, und wenn dieselbe durch Magnetismus bedingt ist, als magnetoelektrische Inductionsapparate bezeichnet werden. Bevor wir auf sie näher eingehen können, müssen noch einige Umstände zur Sprache gebracht werden, welche bei der Function dieser Apparate ins Spiel kommen und ihre Leistungen beeinflussen.

Da man in den sogenannten Elektromagneten ein Mittel besitzt, weit kräftigeren Magnetismus zu erzeugen als durch die gewöhnlichen Stahlmagnete, lag es nahe den Elektromagnetismus zur Erzeugung von Inductionsströmen zu benutzen, und zwar in folgender Weise: Man verwandelt die einfache primäre Spule in einen

Elektromagnet, indem man in dieselbe einen Kern von weichem Eisen einfügt. Die auf diese Weise erhaltenen Inductionsströme sind viel intensiver als jene, welche die primäre Spule für sich allein liefert, indem die bei dem Auftreten und Verschwinden des primären Stromes im secundären Leiter inducirten Ströme noch weiter durch die beim gleichzeitigen Entstehen und Verschwinden des Magnetismus des Eisenkernes erregten und mit den ersteren übereinstimmend gerichteten magnetischen Inductionsströme verstärkt werden. Man hat es nun in seiner Macht durch eine hinreichend grosse Anzahl von Drahtlagen am Elektromagnete sowohl als in der secundären Spule beliebig starke Inductionsströme von abwechselnd entgegengesetzter Richtung zu erzielen und auf diese Weise entstanden die unter dem Namen der elektromagnetischen Inductoren, namentlich zu Heilzwecken vielfach verwendeten Inductionsapparate. Es kömmt bei denselben nur noch darauf an die Schliessung und Oeffnung der primären Leitung schnell und möglichst bequem bewerkstelligen zu können. In der ersten Zeit bediente man sich hiezu eines gezahnten Rades (Neef'sches Blitzrad), das entweder mit der Hand oder durch ein Uhrwerk gedreht wurde und dadurch, dass sich eine mit der primären Leitung verbundene Feder an die Zähne des mit dem einen Batteriepole verbundenen Rades anlegte, die Leitung schloss und beim Abspringen von demselben unterbrach. Man erreichte so den angestrebten Zweck, aber allerdings nicht auf die bequemste Weise und dachte daher daran die Schliessung und

Fig. 4.



Oeffnung der Leitung dem primären Strome selbst in automatischer Weise zu übertragen. Es würde zu weit führen, alle in dieser Richtung unternommenen Versuche zu besprechen, um so mehr, als sie doch sämtlich durch eine Vorrichtung verdrängt wurden, die als einfachstes und bestes Mittel bis heute noch in allgemeiner Anwendung steht. Es ist dies der nach seinem ersten Erfinder der Neef'sche, oder nach einer kleinen Modification, welche von Wagner herrührt, der Wagner'sche Hammer genannte Apparat.

Man windet nämlich den primären Stromleiter zunächst um die Schenkel eines kleinen, hufeisenförmigen Elektromagnetes Fig. 4 A und führt ihn dann zu einer Feder B, welche einen Anker C von

weichem Eisen über den Polflächen des Elektromagnetes schwebend erhält. An geeigneter Stelle *a* ist ein kleines Platinplättchen an der Feder befestigt, dem gegenüber sich eine in eine Platinspitze endigende Schraube *b* befindet, welche das Platinplättchen berührt, und sich in einer an dem Apparate passend befestigten Messingmutter bewegt. Von dieser führt die Leitung sodann weiter in die primäre Spule *S*. Man sieht nun leicht ein, dass, wenn die Enden des primären Leiters mit den Polen einer Volta'schen Kette verbunden werden, sich sofort der Strom einstellen müsse, aber indem derselbe den kleinen Elektromagnet umkreist und magnetisirt, erfolgt eine Anziehung des über dessen Polflächen schwebenden Ankers, wodurch die Feder herabgebogen, die Berührung des Platinplättchens mit der Schraubenspitze aufgehoben und der eben entstandene Strom sogleich wieder unterbrochen wird. Dadurch aber verliert der Elektromagnet seinen Magnetismus, der Anker wird nicht mehr angezogen, schnellt in die Höhe und stellt den Contact zwischen dem Platinplättchen und der Schraube wieder her; der Strom kann abermals circuliren, wird aber, kaum entstanden, auf die eben besprochene Weise sofort wieder unterbrochen, ein Spiel, welches sich so lange fortsetzt, als die leitende Verbindung der primären Spule mit der Batterie besteht. Dadurch, dass man die Schraube mehr oder weniger tief hinabschraubt und dadurch den Anker den Polen des Elektromagnetes mehr oder weniger nähert, kann man die Stromunterbrechungen rascher oder weniger rasch auf einander-

folgen lassen. Noch einfacher wird die Sache, wenn man, wie dies jetzt meistens geschieht, statt eines besonderen stromunterbrechenden Elektromagnetes den Eisenkern der primären Spule selber diese Function übernehmen lässt.

Eine bedeutende Rolle spielen bei allen elektromagnetischen Inductionsapparaten die früher erwähnten Extraströme. Der beim Beginne des primären Stromes auftretende Extrastrom beeinträchtigt nämlich in Folge seiner entgegengesetzten Richtung jenen Strom derart, dass er nicht allsogleich mit seiner vollen Intensität wirken kann, dieselbe vielmehr nur allmähig erreicht. Der durch ihn inducirte Schliessungsstrom der secundären Spule verläuft deshalb ebenfalls mit allmähig zunehmender Intensität, ein Uebelstand, der dadurch noch vergrössert wird, dass auch in der secundären Spule der in ihr entstehende Inductionsstrom einen seiner eigenen Richtung entgegengesetzten Extrastrom hervorruft. Anders bei der Unterbrechung des primären Stromes. In der primären Spule kann wegen der Unterbrechung der Leitung der Extrastrom nicht zur Entwicklung kommen, die Unterbrechung des primären Stromes ist eine beinahe augenblickliche, und dieselbe Elektrizitätsmenge, welche beim Schliessungsstrom nur in einem längeren Zeitintervalle zur Neutralisation gelangt, vollzieht dieselbe beim Oeffnungsstrom beinahe momentan; so kömmt es, dass die Wirkungen des Schliessungs- und Oeffnungsstromes äusserst ungleich, und jene des Letzteren in manchen Fällen so bedeutend überwiegend

sind, dass der Schliessungsstrom sich kaum bemerkbar macht.

Bachhoffner und Sturgeon bemerkten überdies, dass die überwiegende Intensität des Oeffnungsstromes sich noch namhaft steigern lasse, wenn man den massiven Eisenkern der primären Spule durch ein Bündel dünner Eisendrähte ersetzt. Nach Dove's Untersuchungen rührt dies davon her, dass in dem massiven Eisenkerne, welcher die Elektrizität gut leitet, ebenfalls Inductionsströme erregt werden, welche ihrerseits wieder in der secundären Leitung Ströme induciren, welche den durch den primären Strom inducirten entgegengesetzt gerichtet sind. Ueberdies hat der bei dem Beginne des Stromes in dem Eisenkerne auftretende Strom eine Richtung, in Folge welcher er den Magnetismus des Eisenkernes schwächt. Zertheilt man aber den massiven Eisenkern in einzelne, sich nur in verhältnissmässig geringer Flächenausdehnung berührende dünne Cylindere, so entspringt daraus für die im Eisenkörper sich entwickelnden Inductionsströme ein so grosser Leitungswiderstand, dass ihre Intensität bis zur Unmerklichkeit abnimmt und ihr störender Einfluss fast ganz verschwindet.

Befinden sich Metallmassen von grösserem Umfange in grosser Nähe der secundären Leitung, so werden in ihnen gleichfalls Inductionsströme höherer Ordnung hervorgerufen, die wieder auf die secundäre Leitung zurückwirkend, in ihr Gegenströme induciren und den

secundären Strom in um so höheren Grade schwächen, in je grösserer Ausdehnung die secundäre Spule von solchen Metallmassen umgeben ist. Man hat diesen Umstand bei den zu ärztlichen Zwecken dienenden Apparaten sogar benutzt, um die Intensität des Stromes nach Bedarf abzuschwächen und der Empfindlichkeit des Patienten anzupassen. Man umgibt nämlich den Apparat mit einer cylindrischen Metallhülle, welche sich mehr oder weniger über die secundäre Spule schieben lässt, und durch die in ihr inducirten Ströme um so mehr dämpfend wirkt, in je grösserer Ausdehnung sie jene Spule umgibt. Es werden auch Inductionsapparate construirt, die nur durch den directen Extrastrom wirken und sich von den früher beschriebenen dadurch unterscheiden, dass sie keine secundäre, sondern nur eine primäre, ein Bündel Eisendrähte umschliessende Spule besitzen; auch ist der Draht dünner und in mehreren Lagen aufgewickelt, als bei den primären Spulen der gewöhnlichen Inductionsapparate. Die Stromschliessung und Unterbrechung wird in bekannter Weise durch einen Wagner'schen Hammer bewirkt, und ausserdem ist durch eine von den Enden des Spulendrahtes abzweigende Nebenleitung, in welche der menschliche Körper oder irgend ein anderes Object eingeschaltet wird, dafür gesorgt, dass im Momente der Unterbrechung des Batteriestromes der Extrastrom eine Bahn für seinen Verlauf finde.

Von ganz besonderem Interesse sind die in neuerer Zeit unter dem Namen Funkeninductorien oder

Inductions-Elektisirmaschinen bekannt gewordenen Inductionsapparate. Wie bereits eingangs erwähnt wurde, macht sich die elektromotorische Wirkung eines beginnenden oder erlöschenden Stromes auch in einer nicht geschlossenen secundären Leitung dadurch bemerkbar, dass sich freie, positive und negative Electricität an den Enden derselben ansammelt; stehen nun diese Enden einander so nahe gegenüber, dass bei genügend hoher Spannung der freien, entgegengesetzten Electricitäten deren Vereinigung durch die Luft erfolgen kann, so tritt die Entladung in Gestalt eines mehr oder weniger langen Funkens ein. Damit aber eine so hohe Spannung erreicht werden könne, muss der Apparat in allen seinen Theilen möglichst gut isolirt werden. Die unter solchen Bedingungen auftretende Funkenbildung wurde zuerst von dem preussischen Regimentsarzte von Sinsteden beobachtet und gab dem in Paris lebenden deutschen Mechaniker Ruhmkorff die Veranlassung zur Construction der unter seinem Namen bekannten Inductorien; es sind dies Apparate, welche im Wesentlichen dieselbe Einrichtung, wie die gewöhnlichen elektromagnetischen Inductionsapparate mit primärer und secundärer Spule haben, mit dem Unterschiede dass alle Theile des Apparates möglichst gut isolirt sind. Das von dem primären Leitungsdrahte umschlossene Eisendrahtbündel ist mit einer Lage Wachstaffet umhüllt, auf welchem der mit Seide doppelt überspinnene und gefirnisste primäre Draht in drei bis vier Lagen aufgewickelt ist. Die secundäre Leitung wird durch einen

dünnen (höchstens  $\frac{1}{4}$  Millimeter dicken), gleichfalls doppelt mit Seide übersponnenen und gefirnissten Draht gebildet, dessen einzelne Lagen selbst wieder gut gefirnisst und von einander durch Wachstaffet oder gefirnisstes Papier getrennt sind. Auch die Spulenwände werden der vollkommenen Isolirung wegen aus Glas oder Hartgummi hergestellt. Obgleich nun die Schliessung sowohl, als auch die Unterbrechung der primären Leitung elektromotorisch auf die secundäre wirkt, liefert doch nur die Unterbrechung eine so hohe Spannung, dass die Funkenbildung durch die Luft erfolgen kann; es rührt dies davon her, dass bei der Schliessung der in den Windungen der primären Spule auftretende Extrastrom dem beginnenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist und denselben in der früher besprochenen Weise beeinträchtigt, während bei der Unterbrechung der primären Leitung sich kein Extrastrom in derselben bilden kann, weil die Leitung nicht geschlossen ist. Ebenso entsteht und verschwindet der Magnetismus in dem Eisenkerne nicht augenblicklich. Die elektromotorische Kraft des inducirten Stromes ist aber der Dauer der Intensitätsschwankung des primären Stromes, beziehungsweise des inducirenden Magnetismus umgekehrt proportional, somit um so geringer, je langsamer diese Schwankungen sich vollziehen. Fizeau gelang es durch Anwendung des sogenannten Condensators einen Theil der daraus entspringenden Nachtheile zu beseitigen und dadurch die Leistungsfähigkeit des Apparates bedeutend zu erhöhen.

Fizeau's Condensator besteht aus einem langen, schmalen Streifen von Wachstaffet oder gefirnisstem Papier, welcher auf beiden Seiten bis auf einen schmalen, frei bleibenden Rand mit Stanniol belegt und so zusammengefaltet ist, dass er in dem hohlen Fussgestelle des Apparates Platz findet. Jeder der beiden Stanniolbelege steht mit je einem der Enden des primären Leitungsdrahtes in Verbindung, so dass bei Unterbrechung der primären Leitung die entgegengesetzten Elektricitäten ihren Weg zu den Belegungen des Condensators nehmen und sich dort binden. Bevor jedoch die Leitung wieder geschlossen wird, entladet sich der Condensator durch den primären Leitungsdraht, und indem die Richtung des so entstandenen Stromes jener des früheren primären Stromes entgegengesetzt ist, wird der zurückgebliebene Magnetismus des Eisenkernes viel schneller vernichtet, als dies ohne diesen Kunstgriff geschehen würde. Diese schnelle Entmagnetisirung hat aber wieder zu Folge, dass der in der secundären Leitung inducirte Oeffnungsstrom eine viel grössere Spannung erlangt, und dadurch das Ueberspringen der Funken auf eine drei- bis viermal grössere Distanz möglich macht.

Ruhmkorff bediente sich bei seinen älteren Apparaten des Wagner'schen Hammers mit Platincontact als Stromunterbrecher. Nun wird aber durch die im Augenblicke der Stromunterbrechung auftretende hohe Temperatur des Trennungsfunkens das Platin verdampft, und durch den glühenden Platindampf auch dann noch eine Leitung vermittelt, wenn die Platinspitze und das

Platinplättchen der Hammerfeder sich bereits merklich von einander entfernt haben; der primäre Strom wird somit nicht plötzlich unterbrochen, sondern seine Intensität nimmt nur allmählig bis Null ab, und verhindert dadurch das Erreichen des Maximums der Spannung im directen Oeffnungsstrom. Foucault ersetzte deshalb den Platincontact des Hammers durch einen Quecksilbercontact. Zu diesem Zwecke ragt von der Hammerfeder eine Platinspitze herab, und taucht in ein kleines Glasgefäß, in dessen Boden ein Platindraht eingekittet und mit der Leitung zur Batterie verbunden ist, während die Hammerfeder zum primären Spuldraht führt, dessen Eisenkern dem von der Feder getragenen Anker gegenüber steht. In das Gläschen wird Quecksilber, und auf dasselbe eine Schichte Weingeist gegossen, wobei man das Quecksilberniveau so regulirt, dass die Platinspitze nur ganz wenig in das Quecksilber taucht. Die rasche Abkühlung, welche der Unterbrechungsfunke durch den Weingeist erfährt, verhindert die Herstellung einer leitenden Verbindung durch verdampfendes Metall, und bewirkt eine beinahe momentane Stromunterbrechung. Ruhmkorff stellte Apparate her, bei welchen der secundäre Draht bis zu 150 Kilometer Länge hatte, und die so kräftig waren, dass sie blitzähnliche Funken von 20 bis 30 Centimeter Länge in raschster Folge zu liefern vermochten. Führt man von den Enden des secundären Drahtes Nebenleitungen zu den beiden Belegen einer Leidnerflasche oder einer Leidnerbatterie, so werden die Funken ungemein kräftig, knallend und so

heiss, dass man selbst schwerer entzündbare Stoffe, wie z. B. Holzspäne, entzünden, dicke Glasplatten durchbohren, kurz solche Wirkungen des Entladungsschlages hervorzubringen vermag, wie sie durch die grössten Leidnerbatterien kaum zu erzielen sind. Besonders interessant sind die Lichterscheinungen, welche man beobachtet, wenn der Entladungsfunke eines solchen Inductoriums durch stark verdünnte Luft oder irgend ein anderes stark verdünntes Gas geleitet wird. Geissler in Bonn hat zu diesem Ende evacuirte, und sodann zugeschmolzene Glasröhren von der mannigfachsten Form, Einrichtung und Füllung hergestellt, die unter dem Namen der Geissler'schen Röhren nicht nur zu wissenschaftlichen Untersuchungen, sondern auch als überraschend schöne Spielwerke häufig in Anwendung kommen. Man bedarf dazu keineswegs grosser und kostspieliger Inductorien, ja man verfertigt gegenwärtig zu diesem Zwecke sogar ganz kleine, sogenannte Mignon-Apparate von vorzüglicher Wirkung. Wird aber eine solche Röhre absolut luftleer gemacht (Geissler's Vacuumröhre), so ist auch nicht eine Spur eines Funkens zu bemerken, zum Beweise, dass es die glühenden Gasmoleküle sind, welche den Strom leiten und die erwähnten Lichterscheinungen bedingen.

Alle bisher besprochenen Apparate benöthigen zu ihrem Betriebe den Strom einer Volta'schen Kette, was doch in manchen Fällen mit Unbequemlichkeiten verbunden ist. Davon frei sind allerdings die magneto-elektrischen Inductionsapparate, bei welchen die

inducirende Wirkung des entstehenden und verschwindenden Magnetismus zur Stromerzeugung verwendet wird. Dafür aber fordern sie zu ihrem Betriebe die Anwendung mechanischer Arbeit. Abgesehen von einigen unvollkommenen Apparaten, die mehr nur im theoretischen Interesse construiert worden waren, und zwar um das Vorhandensein eines Inductionsstromes überhaupt leicht bemerklich zu machen (sogenannte Funkenmagnete), wurde der erste magnetoelektrische Apparat im Jahre 1833 durch den französischen Mechaniker Pixii ausgeführt. In diesem Apparate wurde ein kräftiger Hufeisenmagnet um eine seinen Schenkeln parallele Axe gedreht und dabei dessen Pole vor der Polfläche eines Ankers vorübergeführt, der aus einer Eisenbarre bestand, auf welcher zwei kurze Eisencylinder senkrecht auf dieselbe befestigt waren. Die Eisencylinder waren mit übersponnenem Draht umwickelt, zwischen dessen Enden diejenigen Objecte eingeschaltet werden konnten, durch welche man den inducirten Strom zu leiten beabsichtigte. Befinden sich die Eisencylinder den Polen des Magnetes gerade gegenüber, so besitzt jeder von ihnen die entgegengesetzte Polarität von jener des gegenüberstehenden Magnetpoles, indem sich aber der Magnet dreht, entfernen sich seine Pole von den Eisencylindern, deren Magnetismus daher abnimmt und dabei in dem ihn umgebenden Drahte einen Strom inducirt <sup>1)</sup>. Die Abnahme der Polarität erreicht

---

<sup>1)</sup> Da die Eisencylinder (Kerne) entgegengesetzte Polarität besitzen, sind die unter gleichen Umständen von jedem

ihr Ende, wenn der Magnet um 90 Grade aus seiner ersten Stellung gedreht worden ist; von da ab nähern sich bei weiter fortgesetzter Drehung die Pole wieder den Eisenkernen des Ankers, aber so, dass z. B. derjenige Kern, der früher dem Nordpole des Magnetes gegenüber stand, dem Südpole gegenüber zu stehen kommt, und dadurch eine seiner früheren entgegengesetzte Polarität erlangt, dies solange zunimmt, bis der Magnet um 180 Grade gegen seine Anfangsstellung gedreht ist. Diese Zunahme des Magnetismus liefert einen Inductionsstrom, der zwar der Richtung nach dem bei der Abnahme auftretenden entgegengesetzt sein sollte, aber weil zugleich auch wieder die Polarität des Kernes eine der vorigen entgegengesetzte wird, die gleiche Richtung wie der während der ersten Viertelumdrehung auftretende annimmt; bei Drehung um weitere 180 Grade verlaufen die Erscheinungen gerade ebenso, nur mit dem Unterschiede, dass die Aenderung der Polarität der Eisenkerne im entgegengesetzten Sinne vor sich geht, daher auch der bei der Drehung von 180 bis 360 Grade auftretende Inductionsstrom die entgegengesetzte Richtung von jenem hat, der während der ersten halben Umdrehung vorhanden war. Soll der Apparat kräftig wirken, so muss ein möglichst starker Magnet in Anwendung gebracht und derselbe überdies mit möglichst grosser Ge-

---

derselben inducirten Ströme entgegengesetzt gerichtet; um sie auf gleiche Richtung zu bringen, muss daher der Draht auf den einen Eisenkern von rechts nach links, und auf den andern von links nach rechts aufgewickelt werden

schwindigkeit gedreht werden, wozu selbstverständlich ein übermässig grosser Arbeitsaufwand erfordert wird. Saxton, Eittingshausen und Clarke stellten deshalb den Magnet fest und liessen dafür den Anker vor den Polen desselben rotiren, was in Bezug auf die Inductionserscheinungen keinen Unterschied macht, die erforderliche Arbeit aber bedeutend verringert. Es war dies ein wesentlicher Fortschritt, aber immer noch blieben zwei Uebelstände zu beseitigen, deren einer darin besteht, dass es für die verschiedenen Anwendungen des Apparates nicht gleichgiltig ist, ob der Anker mit vielen Lagen eines dünneren oder wenigen Lagen eines dickeren Drahtes umwickelt ist, und der Strom die Umwindungen der beiden Eisenkerne eine hinter der andern, oder beide gleichzeitig neben einander durchlaufen muss. Man benötigte daher zweierlei Anker: den Intensitätsanker mit vielen Lagen dünnen Drahtes, welche hintereinander, und den Quantitätsanker mit wenigen Lagen dickeren Drahtes, welche neben einander vom Strome durchlaufen werden; ersteren dann, wenn ein Gegenstand von grossem Leitungswiderstande in den Stromkreis eingeschaltet war, letzteren im gegentheiligen Falle. Man musste daher nach Bedarf immer erst den einen Anker gegen den andern auswechseln. Ein zweiter Uebelstand liegt darin, dass während jeder vollen Ankerumdrehung zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung entstehen, was für manche Zwecke höchst störend ist. Eittingshausen half sich damit, dass er nur den einen der

beiden Ströme benützte, indem während der zweiten Hälfte der Ankerumdrehung die Leitung unterbrochen blieb, so dass der entsprechende Strom nicht zur Entwicklung kommen konnte. Damit geht aber auch die auf die zweite halbe Umdrehung verwendete Arbeit verloren, und es muss als ein erheblicher Fortschritt bezeichnet werden, dass Stöhrer durch eine einfache Umschaltung, welche den Quantitätsanker in einen Intensitätsanker zu verwandeln gestattet, die Auswechslung der Anker ersparte, und zugleich durch einen rotirenden Commutator <sup>1)</sup> die entgegengesetzten Inductionsströme in übereinstimmender Richtung in die äussere Leitung eintreten machte. Damit schien für längere Zeit ein Höhenpunkt erreicht, denn alle weiteren Unternehmungen zielten nur darauf ab, die Dimensionen der Apparate zu vergrössern oder aus mehreren einfachen Apparaten einen einzigen grösseren zusammensetzen, und dadurch die Wirkung zu vervielfachen. So baute Stöhrer seinen grossen magnetoelektrischen Apparat aus drei Hufeisenmagneten auf, über deren Polen sechs im Kreise gestellte Inductionsspulen rotirten, welche in drei verschiedenen Weisen mit einander verbunden und dem zu

---

<sup>1)</sup> Man versteht unter obiger Bezeichnung eine Vorrichtung, durch die man bewirken kann, dass ein Strom von gegebener Richtung eine Leitung entweder in dem einen, oder im gerade entgegengesetzten Sinne durchläuft. Es sind zu diesem Zwecke eine Menge mehr oder weniger einfache Einrichtungen erdacht worden, für deren Aufzählung hier nicht der Ort sein kann.

überwindenden Widerstände angepasst werden konnten. Es wechselt bei dieser Einrichtung der Eisenkern einer jeden Spule schon bei einem Sechstel einer Umdrehung seine Polarität, so dass einer vollen Umdrehung des Ankers sechs inducirte Ströme entsprechen, die sämmtlich durch einen Commutator übereinstimmend gerichtet werden. Noch grossartiger sind die von der Gesellschaft „l'Alliance“ construirten Inductionsapparate, bei welchen 56 und noch mehr hufeisenförmige Stahlmagnete in acht Reihen so um eine cylindrische Trommel angeordnet sind, dass ihre Pole sowohl in jedem auf die Trommelaxe senkrechten Querschnitt, als auch parallel derselben abwechselnd gestellt sind. Zwischen den Magnetpolen rotiren die an der Trommel in parallelen Kreisen angeordneten Inductionsspulen, deren Anzahl doppelt so gross ist, als jene der Magnete, und die mit Hilfe eines Commutators stets gleichgerichtete Ströme in die Leitung senden. Die Trommel macht etwa 350 Umdrehungen in der Minute und wird durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt. Solche Apparate wurden in Frankreich und England benutzt, um Leuchthürme mit elektrischem Kohlenlichte zu beleuchten; auch in galvanoplastischen Ateliers fanden sie Verwendung, aber immerhin standen der hohe Anschaffungspreis und die Betriebskosten dieser Apparate in einem wenig günstigen Verhältnisse zu ihren Leistungen, so dass, abgesehen von den kleineren, zu ärztlichen Zwecken construirten Apparaten eine wirklich praktische Verwendung der magnetoelektrischen Induction nur bei der elektrischen

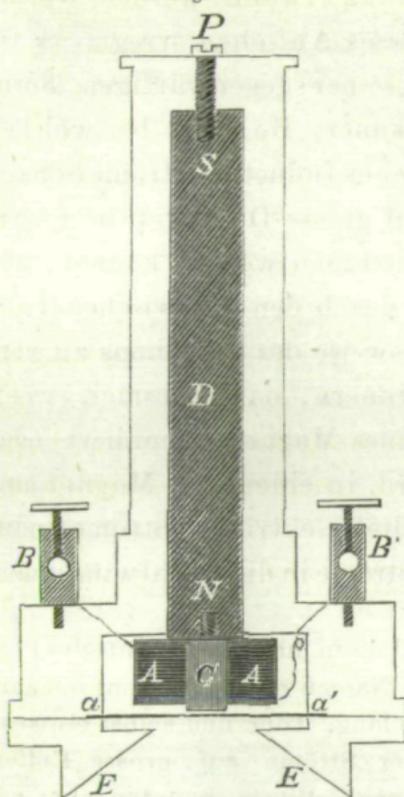
Telegraphie stattfand; in dieser Richtung hat sich insbesondere Siemens dadurch sehr verdient gemacht, dass er dem rotirenden Anker eine im Vergleiche mit der bisherigen viel wirksamere Einrichtung gab, von der noch später die Rede sein wird. Bei dieser Gelegenheit mag auch einer Vorrichtung erwähnt werden, welche gegenwärtig allerorten grosses Aufsehen erregt; es ist dies das Telephon, in seiner gegenwärtigen Form eine Erfindung des Amerikaners Bell <sup>1)</sup>, bei welcher durch Benützung magnetischer Inductionsströme Schallerscheinungen jeder Art auf grosse Distanzen hörbar, und in ähnlicher Weise übertragen werden können, wie die Schriftzeichen lesbar durch den elektrischen Telegraphen. Um die Functionsweise des Telephons zu verstehen, müssen wir uns erinnern, dass jedesmal, wenn ein Eisenanker dem Pole eines Magnetes genähert oder von demselben entfernt wird, in einem den Magnet umgebenden geschlossenen Leiter elektrische Ströme inducirt werden. Werden diese Ströme in die Drahtwindungen

---

<sup>1)</sup> Schon vor etwa 20 Jahren hatte der deutsche Physiker Reiss unter demselben Namen ein Instrument bekannt gemacht, durch welches es gelang, Töne und selbst einfache Melodien mittelst elektrischer Ströme auf grosse Entfernungen hörbar zu übertragen. Worte konnten aber mit demselben nicht vernehmlich gemacht werden. Dafür aber waren die von dem Reiss'schen Telephon übertragenen Töne für mehrere Umstehende gut vernehmbar, während das Bell'sche Telephon eine Wahrnehmung des von der entfernten Quelle kommenden Schalles nur dann gestattet, wenn dasselbe unmittelbar an das Ohr angelegt wird.

eines Elektromagnetes geleitet, so ertheilen sie ihm die Fähigkeit, Eisen anzuziehen, welche Fähigkeit aber mit dem Aufhören des Stromes sogleich wieder verschwindet. Würde man aber diese Ströme in gleicher Weise um einen Stahlmagnet herumführen, so würden sie je nach

Fig. 5.



ihrer Richtung den bereits vorhandenen Magnetismus entweder verstärken oder schwächen, und dadurch die Anziehungskraft seiner Pole gegen Eisen vergrössern oder vermindern.

Die Einrichtung des Bell'schen Telephons ist eine äusserst einfache und in nebenstehender Fig. (5) in halber Naturgrösse dargestellt. Den Hauptbestandtheil bildet die Spule  $AA'$ , auf welche äusserst feiner, überspannener Kupferdraht in vielen Lagen aufgewickelt ist. Die Enden desselben führen zu den Schraubenklemmen  $BB'$ , welche zur Aufnahme der Drähte bestimmt sind, durch welche die in der Spule  $AA'$  inducirten Ströme zu einem zweiten, an einem entfernten Orte aufgestellten Apparate von ganz derselben Einrichtung, wie der eben

beschriebene, geleitet werden. Die Spule wird entweder unmittelbar auf das eine (am besten auf das nordpolare) Ende eines in dem Holzgehäuse des Apparates angebrachten und durch die Schraube  $P$  festgehaltenen Stahlmagnetes  $D$  aufgesteckt, oder sie enthält einen cylindrischen Kern von weichem Eisen  $C$ , welcher dadurch, dass er an dem Pole  $N$  des erwähnten Stahlmagnetes  $D$  anliegt, selbst zum Magnete wird. Auf der entgegengesetzten Seite wird eine kreisrunde Platte  $aa'$  von Eisenblech dem Pole des Eisenkernes möglichst nahe gebracht, ohne ihn jedoch zu berühren, und da sie nur am Rande festgeklemmt, im Uebrigen aber völlig frei vor den Polen schwebt, übernimmt sie die Rolle des sich nähernden und entfernenden Ankers. Sowie nämlich vor dem seichten Schalltrichter  $EE'$ , der die Eisenplatte bis auf eine kreisrunde Oeffnung von etwa 2 Centimeter Durchmesser von aussen überdeckt, ein Schall erregt wird, geräth die Platte durch die auf sie auffallenden Schallwellen in Schwingungen, wobei sie abwechselnd und in jenen Intervallen, die durch die Schwingungsweise der Schallwellen bedingt sind, sich dem Pole des Magnetes  $C$  nähert, und von demselben wieder entfernt. Dadurch werden in dem Spulendrahte Ströme inducirt, welche in das zweite, entfernt aufgestellte Telephon gelangend, den Magnetismus des in demselben befindlichen Magnetes intermittirend verstärken und schwächen und dadurch bewirken, dass die Eisenplatte dieses zweiten Telephons ebenfalls intermittirend, und zwar in denselben Intervallen angezogen

und wieder losgelassen wird, in welchem die Eisenplatte des ersten sich ihrem Magnete nähert und von ihm entfernt, so dass sie genöthigt ist, die Schwingungen der von den Schallwellen direct getroffenen Platte genau zu copiren, und so einem Ohre, das an den Schalltrichter angelegt wird, hörbar zu machen. Dass die so entstandenen Ströme nur eine äusserst geringe Intensität haben und daher auch nur äusserst kleine Bewegungen in der zweiten Eisenplatte hervorbringen können, liegt auf der Hand, man hört daher den von der entfernten Schallquelle kommenden Schall mit Hilfe des zweiten Telephons nur dann, wenn man den Schalltrichter desselben hart an das Ohr anlegt und jedes störende Nebengeräusch sorgfältig ferne hält. Ebenso dürfte es nicht schwer einzusehen sein, dass man die Telephonleitung nicht neben den Drähten einer gewöhnlichen Telegraphenleitung fortführen kann, weil durch die beim Telegraphiren in dieser Leitung verlaufenden Linienströme Inductionsströme von solcher Intensität in der Telephonleitung erregt werden würden, dass die von den Schallschwingungen herrührenden vollständig durch sie maskirt werden müssen. Man kann auch mehrere Telephone in eine und dieselbe Leitung einschalten, derart, dass der Strom, nachdem er das erste durchlaufen hat, aus demselben in ein zweites, von diesem in ein drittes u. s. w. geleitet wird, und es dadurch ermöglichen, dass mehrere Personen gleichzeitig und an verschiedenen Orten das hören können, was an einem anderen, weit entfernten Orte gesprochen wird. Es findet aber dies

bald eine Grenze darin, dass, wenn mehr und mehr Telephone in dieselbe Leitung eingeschaltet werden, der von den inducirten Strömen zu überwindende Leitungswiderstand allmähig so anwächst, dass die diesem Widerstande verkehrt proportionale Intensität jener Ströme endlich zu gering wird, um eine noch wahrnehmbare Wirkung auf die Eisenplatte hervorbringen zu können. Derselbe Grund lässt auch die Anwendbarkeit des Telephons nur auf mässige Entfernungen zu, weil bei zu grosser Entfernung der Widerstand des Leitungsdrahtes zu gross wird.

Die Hauptschwierigkeit, welche sich der praktischen Anwendung magnetoelektrischer Inductoren im Grossen lange entgegenstellte, lag in der Kostspieligkeit der Stahlmagnete, deren Magnetismus überdies an eine nur zu bald erreichte Grenze gebunden ist, und durch Vergrösserung der Dimensionen in weitaus geringerem Verhältnisse, als diese wächst, während der Anschaffungspreis sich erheblich steigert. Auch die Stahlsorte und der Härtegrad derselben haben einen so wesentlichen Einfluss sowohl auf die Stärke, als auch auf die Unveränderlichkeit der aus ihr erzeugten Magnete, dass nicht selten in Bezug auf Grösse und Art der Ausführung scheinbar ganz gleiche Apparate sich sehr ungleich kräftig erweisen, und anfänglich sehr kräftige Inductoren im Laufe der Zeit beträchtlich an Wirksamkeit einbüssen. Dem wäre durch Elektromagnete allerdings leicht abzuhelfen, da man diesen einen Grad von Magnetismus ertheilen kann, welcher die den Stahlmag-

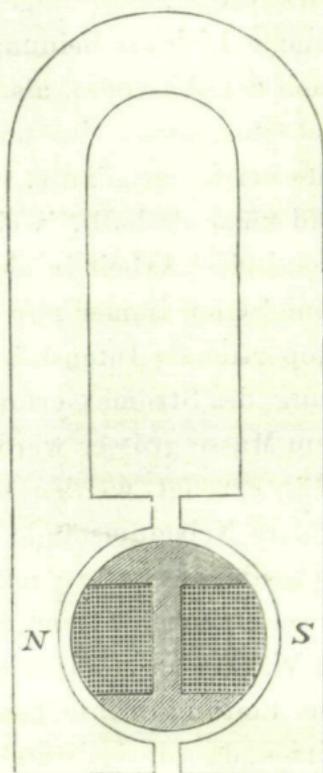
neten gesteckte Grenze weit übersteigt. Wollte man aber diesen Zweck durch Batterieströme erreichen, so ginge der Hauptvorthail der magnetoelektrischen Inductoren, welcher eben in der Entbehrlichkeit galvanischer Batterien liegt, vollständig wieder verloren. Man hatte zwar schon seit langer Zeit die durch Stahlmagnete inducirten Ströme an Stelle der Batterieströme zum Betriebe elektrischer Telegraphen nutzbar gemacht, und Siemens hatte, wie bereits erwähnt wurde, durch eine verbesserte Construction des rotirenden Ankers auf diesem Wege bedeutende Erfolge erzielt. Es lag somit nahe, den durch Stahlmagnete inducirten Strom in einen Elektromagnet zu leiten und erst diesen den eigentlichen Nutzstrom erzeugen zu lassen. Der erste, welcher diese Idee der Industrie im Grossen dienstbar zu machen versuchte, war Wilde in Manchester (1866). Ein Magneto-Inductor nach dem Systeme von Siemens, bestehend aus einer grösseren Anzahl von hufeisenförmigen Stahlmagneten, welche parallel neben einander so aufgestellt sind, dass sämmtliche Nordpole auf der einen, sämmtliche Südpole auf der entgegengesetzten Seite liegen, dient zur Induction eines elektrischen Stromes in einem rotirenden Siemens-Anker <sup>1)</sup>, welcher durch eine Dampf-

---

<sup>1)</sup> Der Siemens-Anker ist ein Cylinder von weichem Eisen, an dessen beiden Seiten diametral gegenüberstehend zwei tiefe Nuthen eingehobelt sind, so dass der Querschnitt die in der Fig. 6 durch Schraffirung hervorgehobene Form erhält. In diese Nuthen wird überspannener Draht derart aufgewickelt, dass die Windungen der Cylinderaxe

maschine in Bewegung versetzt wird. Dieser Strom wird in die Drahtwindungen eines grossen Elektromagnetes geleitet, und erzeugt in demselben kräftigen Magnetismus. Dieser aber inducirt in einem zweiten, durch dieselbe Transmission in Rotation versetzten Siemens Anker den eigentlichen Nutzstrom. Wilde hat sogar versucht, den so erzeugten Strom abermals auf einen noch grösseren Elektromagnet wirken zu lassen, und dadurch so gewaltige Wirkungen erzielt, wie sie bis dahin noch nie beobachtet worden waren. Einen solchen von einer fünfzehnpferdigen Dampfmaschine

Fig. 6.



betriebenen Inductor stellte Wilde der Royal Society zu London vor, und brachte durch den Inductionsstrom desselben einen mehrere Meter langen Eisendraht, einen

parallel liegen. Der Cylinder rotirt zwischen den cylindrisch ausgehöhlten Polflächen *N* und *S* eines Systemes von Magneten um seine geometrische Axe, zu welchem Ende Ansätze mit Zapfen beiderseits angebracht sind, von denen der eine überdies mit einem Commutator versehen ist und die beiden Enden der Drahtwindungen aufzunehmen hat.

fingerdicken und einen Meter langen Platindraht, eine kurze dicke Eisenstange u. dgl. in kurzer Zeit unter blendenden Lichterscheinungen zum Schmelzen. Es hat sonach den Anschein, als ob man durch derart fortgesetzte Uebertragungen eine unbegrenzte Verstärkung des Stromes erreichen könnte. Dies ist indessen nicht der Fall, und zwar deshalb, weil der aus der Umwandlung mechanischer Arbeit in elektrischen Zustand hervorgegangene Strom immer nur eine der aufgewendeten Arbeit proportionale Intensität erlangen kann; die zur Erzeugung des Stromes erforderliche Arbeit muss daher in dem Masse grösser werden, eine je grössere Stromintensität erzeugt werden soll. Es treten aber auch noch andere Nebenumstände hindernd entgegen, so z. B. der, dass nie die ganze aufgewendete mechanische Arbeit in elektrischen Strom, sondern ein Theil derselben auch in Wärme umgewandelt wird, unter deren Einfluss sich die Leitungsdrähte des Stromes endlich so stark erhitzen, dass die isolirende Umspinnung durch Verbrennen zerstört wird, ja die Drähte selbst endlich zu schmelzen beginnen. Die Nothwendigkeit der Stahlmagnete bleibt jedoch aus den eben zuvor erwähnten Gründen auch für die Wilde'sche Maschine eine missliche Sache, und es gelang ihr auch nicht, sich bleibende Geltung in der Grossindustrie zu erringen. Bahnbrechend wirkte in dieser Richtung erst das dynamoelektrische Princip; in den Ruhm, dasselbe zuerst angewendet zu haben, theilen sich der Engländer Ladd und Siemens. Ersterer behauptet, zwar schon im Jahre 1864 auf dieses

Princip verfallen zu sein, Thatsache aber ist, dass, als Wheatstone im Jahre 1867 die erste von Ladd construirte dynamoelektrische Maschine in der Royal Society vorzeigte, Siemens in derselben Sitzung die Einrichtung eines neuen, von ihm ausgeführten Inductors erklärte, der in allen wesentlichen Punkten dieselbe Idee, wie die Ladd'sche Maschine realisirte. Der Grundgedanke der dynamoelektrischen Maschine ist folgender: Man weiss längst, dass jede nicht zu weiche Eisensorte bleibenden Magnetismus besitzt, Gusseisen sogar in ziemlich hohem Grade, und selbst in ganz weichem, geschmeidigem Eisen wird während der Bearbeitung desselben durch den Magnetismus der Erde mehr oder weniger bleibende magnetische Polarität hervorgerufen, aus welchem Grunde es sogar sehr schwer hält, von solcher vollkommen freies Eisen zu bekommen. Würde man nun in irgend einem der früher besprochenen Magneto-Inductoren den Stahlmagnet durch eine Lamelle von hartem magnetisch polarem Schmiedeeisen oder Gusseisen ersetzen, so würde dieser im Vergleiche mit einem Stahlmagnete allerdings viel schwächere Magnet, in dem rotirenden Anker auch nur einen schwachen Inductionsstrom erregen können; führt man aber, was leicht möglich ist, diesen Strom in solcher Richtung um den Eisenkörper, dass dessen Polarität verstärkt wird, so wird dadurch auch wieder der inducirte Strom stärker, dieser stärkere Strom verstärkt wieder den Magnetismus des Eisens und so fort bis zu einer von der Qualität und den Dimensionen des Eisenkörpers und des verwendeten

Drahtes abhängigen Grenze, die bei guter Wahl dieser Dimensionen eine sehr weit gesteckte sein kann.

Sowohl Ladd, als Siemens, glaubten anfangs zwei Anker benützen zu müssen, von denen der eine bloß dazu dient, den Strom für die continuirliche Verstärkung des Magnetismus zu liefern, während der zweite den durch diesen verstärkten Magnetismus inducirten Strom in die Schliessungsleitung zu senden bestimmt war. Man fürchtete nämlich, den Leitungswiderstand der letzteren zu sehr zu vergrößern und die Stromintensität dadurch bedenklich zu vermindern, wenn man auch noch die Drahtumwicklung des Elektromagnetes in die Gesamtleitung einbezieht. Diese Furcht ist jedoch unbegründet, und man kann durch passende Wahl der Drahtdicke jede solche Gefahr in allen Fällen beseitigen.

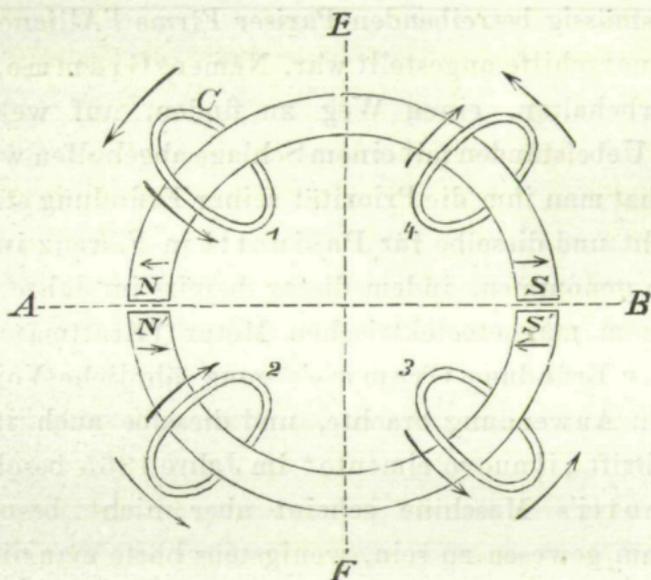
Ein fataler und scheinbar nicht zu beseitigender Umstand bei allen Magneto-Inductoren blieb aber die fortwährende Aenderung der Stromrichtung in den Umwindungen des Ankers; man kann zwar durch einen Commutator diese abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Ströme gleich gerichtet in die äussere Leitung senden, aber bei allen bisher besprochenen Einrichtungen den nach jeder halben Ankerumdrehung in den Drahtwindungen selbst eintretenden Wechsel der Stromrichtung nicht vermeiden. Eine nothwendige Folge hievon sind Stromunterbrechungen und Extrastrome, welche nicht nur die Gesamtwirkung beeinträchtigen, sondern auch durch starke Funkenbildung an den Con-

tactstellen des Commutators eine mehr oder weniger rasche Zerstörung derselben herbeiführen.

Einem einfachen Arbeiter, der bei der vorhin erwähnten, die Erzeugung grosser Magneto-Inductoren fabrikmässig betreibenden Pariser Firma l'Alliance als Schreinergehilfe angestellt war, Namens Gramme, war es vorbehalten, einen Weg zu finden, auf welchem diesen Uebelständen mit einem Schlage abgeholfen wurde. Zwar hat man ihm die Priorität seiner Erfindung streitig gemacht und dieselbe für Pacinotti in Florenz in Anspruch genommen, indem dieser bereits im Jahre 1860 an einem magnetoelektrischen Motor (Kraftmaschine) eine der Erfindung Gramme's ganz ähnliche Vorrichtung in Anwendung brachte, und dieselbe auch in der Zeitschrift „il nuovo cimento“ im Jahre 1865 beschrieb. Pacinotti's Maschine scheint aber nicht besonders wirksam gewesen zu sein, wenigstens hörte man niemals von ihr, auch der im „nuovo cimento“ enthaltene Aufsatz fand keine Verbreitung; weder in wissenschaftlichen, noch technischen Schriften las man davon, und die Sache blieb aller Welt, und somit gewiss auch dem einfachen Pariser Schreinergehilfen unbekannt. Ueberdies verfiel Gramme nicht sogleich auf diejenige Einrichtung seines Inductors, welche er bis heute noch als die beste beibehalten hat, sondern gelangte von unvollkommenen Anfängen auf dem Wege fortschreitender, auf Nachdenken gegründeter Verbesserung zu der letzteren, ganz abgesehen davon, dass Gramme seine Maschine nicht als Motor, wie Pacinotti, sondern von vornherein als

Inductor <sup>1)</sup> construiert hatte, so dass ihm wohl der Preis von 50.000 Francs, welchen ihm die französische

Fig. 7.



Akademie für seine Erfindung zuerkannte, mit Recht gebührt.

<sup>1)</sup> Es ist bemerkenswerth, dass, während es früher schien, als liesse sich das Problem, aus dem elektrischen Strom mechanische Arbeit zu gewinnen (elektromagnetische Motoren) nicht mit denselben Apparaten lösen, durch welche man mechanische Arbeit in elektrischen Strom umsetzen kann (magnetoelektrische Inductoren), der Apparat Gramme's beiden Anforderungen zugleich entspricht, und so wie er durch mechanischen Arbeitsaufwand betrieben, Ströme inducirt, bei Hindurchleitung von elektrischen Strömen in Bewegung geräth und mechanische Arbeit leistet.

Gramme's Inductor beruht auf folgendem Grundgedanken: Man stelle sich vor, zwei halbkreisförmige Magnete seien einander so gegenübergestellt, dass sie ihre gleichartigen Pole (Fig. 7)  $N$  und  $N'$  einerseits, und  $S$  und  $S'$  anderseits einander zukehren; nun werde ein geschlossener Draht ring  $C$ , welcher den Magnet umgibt, längs des Ringes, etwa in der Richtung der äusseren Pfeile im Kreise herumbewegt. Auf dem Wege von  $E$  nach  $A$  nähert sich der Ring dem Nordpole  $NN'$ , wobei in ihm ein Inductionsstrom auftritt, dessen Richtung gerade die entgegengesetzte von jener ist, die vorhanden sein müsste, wenn in weichem Eisen bei  $A$  Nordpolarität auftreten sollte. <sup>1)</sup> Auf dem Wege von  $A$  nach  $F$  entfernt sich der Ring von dem Nordpole  $NN'$ , und der dabei inducirte Strom hat dieselbe Richtung, wie jener, der bei  $A$  einen Nordpol erzeugen könnte. Wie die dem Ringe in seinen Positionen 1 und 2 beige setzten Pfeile andeuten, durchlaufen beide Ströme den Ring in übereinstimmender Richtung. Von  $F$  gegen  $B$  zu nähert sich der Ring dem Südpole  $SS'$  des Magnetes, der inducirte Strom hat die entgegengesetzte

---

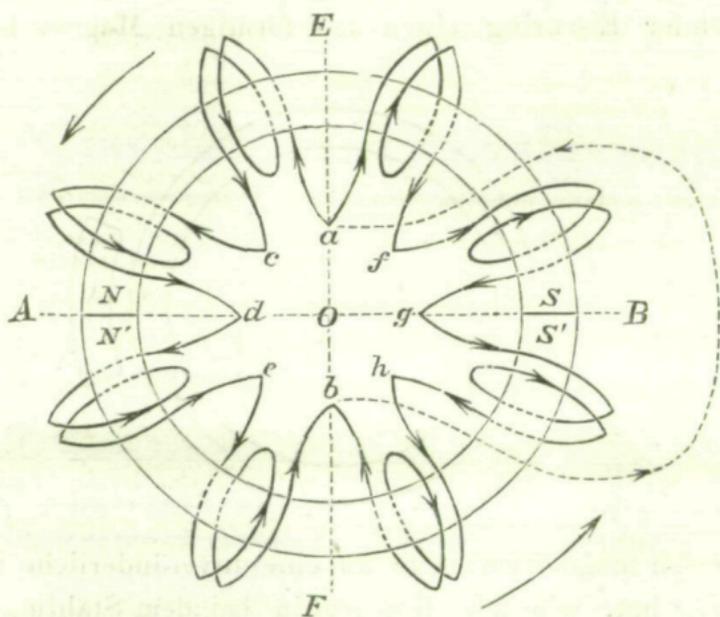
<sup>1)</sup> Nach der Ampère'schen Regel wird in einem weichen Eisenstücke, über welches quer hinweg ein elektrischer Strom geleitet wird, stets dasjenige Ende nordpolar, welches zur linken Hand einer mit dem Strome schwimmenden, das Gesicht der Eisenmasse zuwendenden menschlichen Figur liegt, so dass die zur Erzeugung der Pole  $NN'$  und  $SS'$  erforderliche Stromrichtung die in der Figur durch in der Nähe dieser Pole gezeichnete kleine Pfeile angedeutete sein müsste.

Richtung von jener, die auf dem Wege von  $E$  nach  $A$  vorhanden war, und behält diese Richtung auch auf dem Wege von  $B$  nach  $E$ , worauf sodann wieder die erste Stromrichtung zum Vorschein kommt, so dass jedesmal, wenn der Ring die in einem auf der Verbindungslinie der Pole  $NS$  senkrechten Durchmesser liegenden Punkte  $E$  und  $F$  passirt, ein Wechsel der Stromrichtung auftritt, während von  $E$  über  $A$  bis  $F$  die Stromrichtung immer dieselbe, und zwar die entgegengesetzte von der auf dem Wege von  $F$  über  $B$  nach  $E$  herrschenden bleibt. Die grösste Intensität haben die betreffenden Ströme immer beim Vorübergehen des Ringes an den Polen  $NN'$  und  $SS'$ .

Um gibt man den kreisförmigen Magnet statt nur mit einem einzigen Ringe mit einem schraubenförmig, und so wie Fig. 8 zeigt, gewundenen Drahte, der eine in sich geschlossene Leitung bildet, und denkt sich dieses System bei ruhendem Magnete im Sinne der äusseren Pfeile bewegt, so werden in allen Windungen, die von  $E$  über  $A$  nach  $F$  sich bewegen, die Ströme die in der Figur angedeutete und in jenen, die sich von  $F$  aus über  $B$  nach  $E$  bewegen, die entgegengesetzte Richtung haben. An den Verbindungsstellen der einzelnen Drahtwindungen  $c, d, e$ , und ebenso  $f, g$  und  $h$  geht der Strom von einer Windung in die andere über, aber an den Verbindungsstellen  $a$  und  $b$ , welche in die auf  $AB$  senkrechte Gerade  $EF$  fallen, kommen Ströme von entgegengesetzter Richtung zusammen, so dass, wenn man diese Stellen leitend verbinden würde, stets

ein Strom in derselben Richtung von  $b$  nach  $a$  durch die Leitung ginge, indem bei fortgesetzter Rotation zwar die Verbindungsstelle  $f$  an die Stelle von  $a$  und  $e$  an jene von  $b$  u. s. w. treten würde, dabei aber immer die Stromrichtungen in den rechts und links von  $EF$  liegenden Windungen die in der Figur angedeuteten bleiben und in den in die Gerade  $EF$  selbst fallenden

Fig. 8.

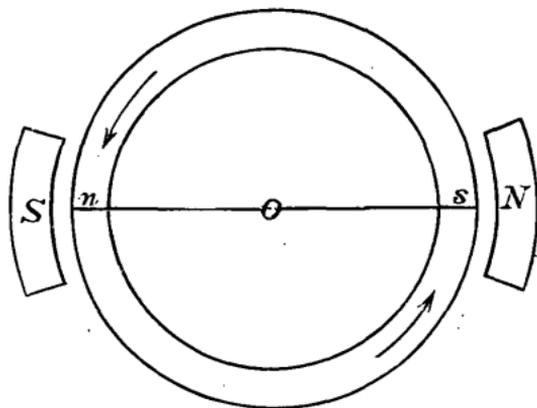


Verbindungsstellen immerfort entgegengesetzte Ströme zusammenkommen müssten. Selbstverständlich ist eine solche Bewegung der Drahtwindungen um einen feststehenden, kreisförmigen Magnet, wie wir sie eben vorausgesetzt haben, praktisch schwer ausführbar.

Würde man aber statt zweier halbkreisförmigen, mit ihren gleichnamigen Polen an einander gelegten

Stahlmagneten einen Ring von weichem Eisen nehmen und diesen um eine auf die Ringebene senkrechte, durch seinen Mittelpunkt  $O$  (Fig. 9) gehende Axe zwischen den zwei Polen  $S$  und  $N$  eines kräftigen Magnetes rotiren lassen, so würden sich in dem Eisenringe zwei Magnetpole  $n$  und  $s$  bilden, die immer in den die Pole  $S$  und  $N$  mit einander verbindenden Ringdurchmesser fallen, so dass ein solcher rotirender Eisenring einen kreisförmigen Magnet bildet,

Fig. 9.



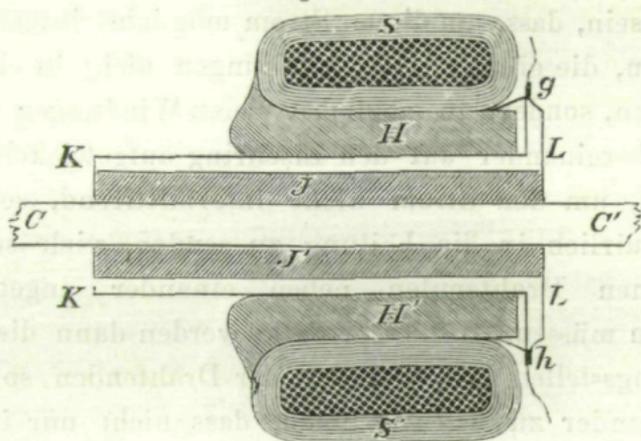
dessen magnetische Axe  $ns$  eine unveränderliche Richtung hat, wie wir dies vorhin bei dem Stahlmagnete annahmen. Wickelt man nun überdies auf den Ring überspannenen Draht, fest an den Ring anliegend, so auf, wie die frühere schematische Figur andeutet, so hat man ein geschlossenes Leitungssystem, das sich während der Rotation des Ringes gegen die stets in demselben Durchmesser liegenden Pole  $n$  und  $s$  genau in derselben Weise hinbewegt, wie wir vorhin gefordert haben;

man hat nur noch dafür zu sorgen, zwei Contactfedern, welche mit der äusseren Leitung verbunden werden können, so anzubringen, dass jede in die Gerade  $EF$  (vorige Figur) eintretende Verbindungsstelle der Drahtenden zweier Spulen ( $a, f, g, h$  etc.) der Reihe nach an diesen Federn vorüberstreifen und sie berühren muss; man erhält sodann in der äusseren Leitung einen Strom von unveränderlicher Richtung. Es wird leicht einzusehen sein, dass, um diesen Strom möglichst intensiv zu machen, die einzelnen Drahtschlingen nicht in einigen wenigen, sondern in möglichst vielen Windungen neben und übereinander auf den Eisenring aufgewickelt und ebenso, um den Strom nicht intermittirend, sondern continuirlich in die Leitung zu senden, viele solcher einzelnen Drahtspulen neben einander angebracht werden müssen. In diesem Falle werden dann die Verbindungsstellen  $a, f, g, h$  etc. der Drahtenden so nahe an einander zu liegen kommen, dass nicht nur immer je eine, sondern mindestens je zwei oben und unten gleichzeitig die Contactfedern berühren.

Damit ist die Einrichtung des Gramme'schen Ringes und seine Wirkungsweise vollständig erklärt, so dass es genügen dürfte, nur noch einige wenige Worte über die Ausführung selbst hinzuzufügen und sie durch Fig. 10 und 11, von denen die eine (Fig. 10) den Durchschnitt, die andere (Fig. 11) die Frontansicht des Gramme'schen Inductors darstellt, zu versinnlichen. Den Eisenring selbst bildet Gramme nicht aus einem massiven Eisenstücke, sondern aus vielen kreisfö-

migen, zu einem einzigen Ringe vereinigten Eisendrähten, man erkennt denselben im Durchschnitte in Fig. 10, den Kern der Drahtspulen  $S$  und  $S'$  bildend. Der mit Draht umwickelte Eisenring ist auf den Holzkörper  $HH'$  (Fig. 10 und 11) fest aufgesteckt, durch dessen centrale Höhlung die eiserne Axe  $CC'$  hindurchgeht, welche bei den kleineren Maschinen mittelst Trieb und

Fig. 10.

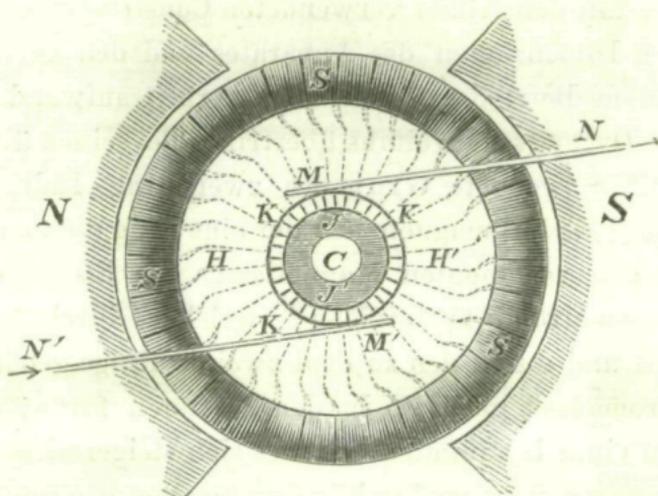


Zahnrad, bei den grossen mittelst Riemenscheibe die Rotation des Ringes vermittelt.

Auf dieser Axe steckt der Holzcylinder  $JJ'$ ; zwischen ihm und dem Holzkörper  $HH'$  sind die Strahlstücke (pièces rayonnantes)  $KL$  angeordnet, durch welche die Stromleitung von den Verbindungen  $g, h$  (Fig. 10) der Drahtenden der einzelnen Spulen zu den Contactfedern  $MN$  und  $M'N'$  besorgt wird. Ihre Anzahl ist der Anzahl der auf dem Eisenringe befindlichen Spulen gleich, deren Anzahl bei den kleinen Maschinen einige 30, bei

den grossen 100 und darüber beträgt. Jedes Strahlstück wird von einem rechtwinklig gebogenen Kupferstreifen gebildet, dessen längerer Schenkel  $K$  der Axe  $CC'$  parallel gestellt ist, während der kürzere  $L$  eine radiale Richtung hat; an das Ende  $g$  dieses Schenkels sind, wie in Fig. 11 durch punktirte Linien angedeutet ist, die Drahtenden der Spulendrähte derart angelöthet, dass immer das Ende der Drahtumwicklung der voran-

Fig. 11.



gehenden und der Beginn der Umwicklung der nächsten Spule zusammenfallen, während die der Axe parallelen Schenkel  $J$  von einander durch eine dünne Schichte eines isolirenden Stoffes getrennt, einen Cylinder bilden, der auf der Frontseite des Ringes über das Holzstück  $HH'$  so weit vorragt, dass die Contactfedern <sup>1)</sup> an zwei

<sup>1)</sup> Die Contactfedern sind Drahtbündel, welche sich pinselartig an den rotirenden Cylinder anlegen, und so einen

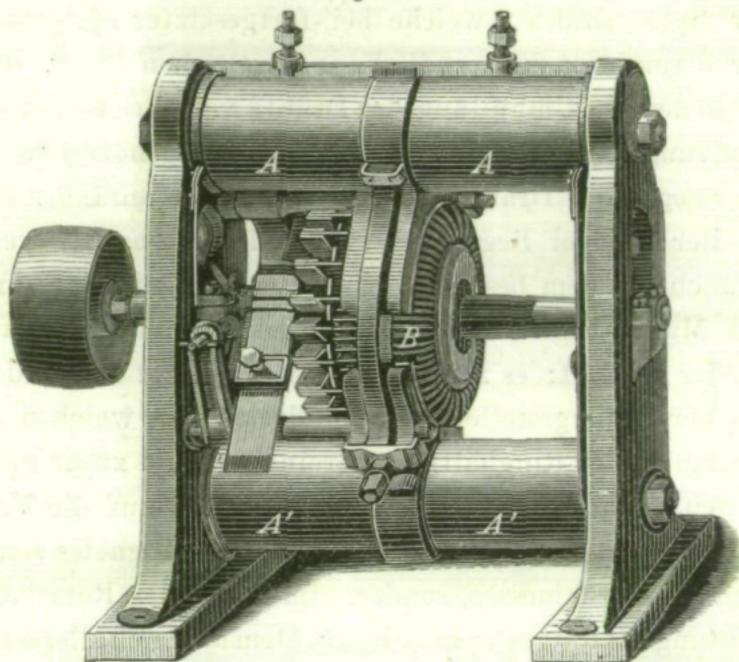
diametral einander gegenüber liegenden Stellen des Cylinders schleifen können. Der Ring selbst rotirt zwischen den cylindrisch ausgehöhlten Polflächen *N* und *S* eines kräftigen Magnetes, der bei den kleinen Apparaten ein Stahlmagnet, bei den grossen, für industrielle Zwecke bestimmten dagegen ein Elektromagnet ist, der, nach dem dynamoelektrischen Principe durch den eigenen Strom des Apparates erregt, einen Effect möglich macht, der mit Rücksicht auf die im Vergleiche mit den früher verwendeten Constructionen sehr kleinen Dimensionen des Apparates und den geringen, zu seinem Betrieb erforderlichen Arbeitsaufwand alles früher Dagewesene weitaus übertrifft. Bei seinen älteren Maschinen wendete Gramme zwei Ring-Inductoren und zwei Elektromagnete an; der eine Ring diente dazu, durch den remanenten Magnetismus des Eisens einen Inductionsstrom zu erzielen, welcher durch seinen eigenen und durch den zu dem zweiten Ringe gehörigen Elektromagnet geleitet, in dem letzteren fortwährend (bis zu einer bestimmten Grenze) sich steigenden Magnetismus erzeugte, wodurch in dem zweiten Ringinductor der eigentliche Nutzstrom inducirt wurde. Die im Jahre 1873 auf der Wiener Weltausstellung von Gramme exponirten Maschinen hatten noch diese Einrichtung. Seither hat er aber die Construction wesentlich vereinfacht und verbessert, indem er, wie Fig. 12 zeigt, nur einen Elektromagnet *AA'* und nur einen Inductor *B* anwendet.

---

möglichst guten Contact bei möglichst geringer Reibung gestatten.

Der durch den remanenten Magnetismus des Eisens inducirte Strom durchläuft, bevor er in die äussere Leitung gelangt, zuerst die Drahtwindungen des Elektromagnetes  $AA'$  und erreicht durch dynamoelektrische

Fig. 12.



Verstärkung endlich den gewünschten Grad der Intensität. <sup>1)</sup>

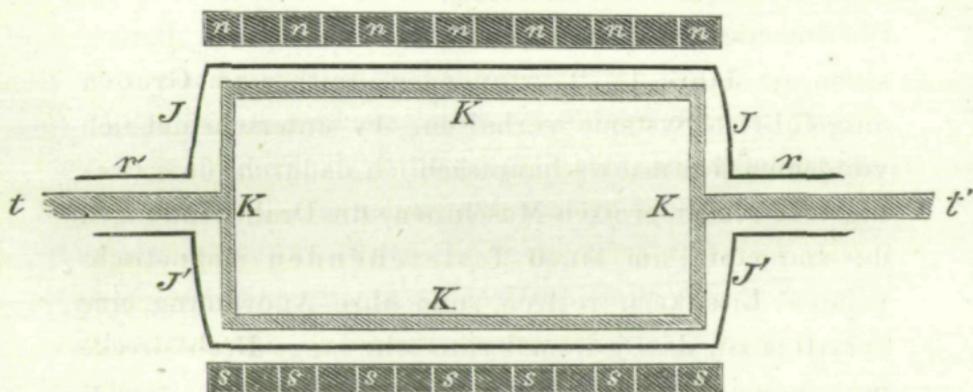
<sup>1)</sup> Bei dieser neuen Einrichtung wird der Apparat so compendiös, dass z. B. die zur Erzeugung des elektrischen Kohlenlichtes dienenden Inductoren, wie wir sie hier in Wien auf dem Productionsplatze des Wiener Eislaufvereines in Wirksamkeit sehen, nur ein Gewicht von höchstens 200 Kilogrammen haben und dabei nicht mehr, als etwa  $\frac{1}{8}$  Kubikmeter Raum beanspruchen.

Sowie allen früher construirten haften indessen auch den Gramme'schen Magneto-Inductoren zwei, ihre Leistungsfähigkeit, auf eine nicht zu überschreitende Grenze beschränkende Mängel an. Des Einen wurde schon früher Erwähnung gethan, nämlich der Erhitzung, der Spulendrähte, welche bei fortgesetzter Steigerung der Stromintensität endlich so weit gehen kann, dass entweder die Umhüllung der Drähte verbrennt, und die Isolirung der einzelnen Drahtlagen aufgehoben wird, oder sogar der Draht selbst zu schmelzen anfängt. Ein zweiter Mangel liegt darin, dass der Eisenring, wenn er auch aus dem besten weichen Eisen angefertigt wird, den Magnetismus nicht augenblicklich annimmt und wieder verliert; es zeigt sich dies zunächst darin, dass die Verbindungsstellen der Spuldrähte, in welchen die Ströme beider Ringhälften übereinstimmend zusammen treffen, nicht wie es sein sollte, in einem auf die Verbindungslinie der Pole des inducirenden Magnetes senkrechten Durchmesser, sondern im Sinne der Rotationsrichtung des Ringes vorausliegen. Dem lässt sich allerdings noch leicht durch entsprechende Verstellung der Contactfedern abhelfen, viel schlimmer ist es, dass von dem Augenblicke an, in welchem die Rotationsgeschwindigkeit des Ringes so gross geworden ist, dass der Magnetismus, welchen ein bestimmter Ringquerschnitt unter dem Einflusse des einen Poles des inducirenden Magnetes erlangt hat, noch nicht verschwunden ist, während derselbe Querschnitt bereits unter dem Einflusse des zweiten Poles den entgegengesetzten Magnetismus an-

nehmen soll, eine weitere Steigerung des Ringmagnetismus nicht mehr möglich, und alle zur Erzielung einer grösseren Rotationsgeschwindigkeit aufgewendete Arbeit verloren ist. Es haben zwar in den letzten zwei Jahren Schuckert in Nürnberg und Bürgin in Basel das System Gramme's derart zu modificiren versucht, dass die erwähnten Einflüsse sich weniger bemerkbar machen sollen, doch scheint der Erfolg kein so bedeutender und durchgreifender zu sein, um die Gramme'schen Maschinen verdrängen zu können. Anders dürfte es sich mit dem von Friedrich v. Hefner-Alteneck, Chefingenieur bei Siemens und Halske in Berlin, schon im Jahre 1872 erfundenen, seither im Grossen ausgeführten Systeme verhalten. Es unterscheidet sich von jenem Gramme's hauptsächlich dadurch, dass (wenigstens bei den grossen Maschinen) die Drahtwindungen des Inductors um einen feststehenden magnetisch-polaren Eisenkern rotiren, und ihre Anordnung eine derartige ist, dass jedesmal eine sehr lange Drahtstrecke der inducirenden Wirkung des Magnetes ausgesetzt wird. Das Wesen der Construction dürfte aus der schematischen Zeichnung (Fig. 13) a. f. S. zu entnehmen sein.  $K$  ist ein Hohlcyliner aus starkem Kesselblech, der mittelst der massiven Axen  $tt'$  in geeigneten Lagern festgehalten wird. Um denselben rotirt um die auf  $tt'$  laufenden hohlen Axen  $rr'$  die gleichfalls cylindrische Trommel  $JJ'$  zwischen zwei Reihen von Magnetpolen, die auf der einen Trommelseite sämmtlich nord-, auf der entgegengesetzten süd magnetisch sind. Die

Trommel  $JJ'$  trägt die Drahtwindungen, in welchen die Ströme inducirt werden sollen. Dieselben sind jedoch, parallel der Trommelaxe, über die Mantelfläche des Cylinders aufgewickelt und dadurch in einer Ausdehnung, welche der Höhe des Trommelcylinders gleich ist, der inducirenden Wirkung der Magnetpole ausgesetzt. So wie bei Gramme aus einzelnen Spulen, besteht auch bei Alteneck die Drahtumwicklung aus acht getrennten Partien, welche auf dem Trommel-

Fig. 13.



mantel 16 unter einander und mit der Trommelaxe parallele, von einander unabhängige Streifen bilden. Die Drahtenden jeder Partie sind längs der hohlen Axe  $r$  fortgeführt und an einem an derselben Axe angebrachten Stromsammler befestigt. Dieser Stromsammler ist ein Cylinder aus einem isolirenden Stoffe, auf dessen Mantelfläche acht von einander isolirte Kupferstreifen seiner Axe parallel angeordnet sind; die Drahtenden der einzelnen Windungen sind mit diesen Streifen derart ver-

bunden, dass alle von gleichgerichteten Strömen durchflossenen Drahtlagen vereinigt werden und die so gesammelten Ströme ähnlich wie bei Gramme an zwei gegenüberliegende Contactfedern abgegeben werden.

Die Polflächen der Magnete sind ebenfalls cylindrisch ausgehöhlt und derartig construirt, dass jede von ihnen ein Dritttheil der Trommelperipherie umfasst und demnach bei jeder Trommelumdrehung zwei Drittel ihrer Mantelfläche der inducirenden Einwirkung des Magnetes unterliegen. Bei den kleinen Handmaschinen wendet Alteneck Stahlmagnete, bei den grossen Maschinen dagegen Elektromagnete an, welche nach dem dynamoelektrischen Principe durch den eigenen Strom der Maschine erregt werden. Einerseits durch den feststehenden Eisenkern, der seine Pole unverändert an derselben Stelle erhält, andererseits durch die grosse Länge der Drahtstrecken, auf welche die Magnetpole wirken, sowie durch die grosse Ausdehnung der Polflächen und ihre Nähe an den vorübergeführten Drahtlagen erlangen die Alteneck'schen Inductoren eine ausserordentliche Leistungsfähigkeit, und insbesondere sind die Lichteffecte dieser Maschinen die bedeutendsten, die jemals erreicht worden sein dürften. Die kleineren Alteneck'schen Maschinen, die zum Betriebe einen Arbeitsaufwand von nur 1 bis 3 Pferdekraften erfordern, leisten zwar verhältnissmässig nicht bedeutend viel mehr, als die Gramme'schen ähnlicher Grösse, sie geben nämlich bei Aufwand von 3 Pferdekraften eine Lichtstärke des elektrischen Kohlenlichtes von 4000

Kerzenflammen, während Gramme bei demselben Arbeitsaufwande 3600 Kerzenflammen erreicht. Dafür aber erzeugte die grösste von Alteneck construirte Maschine, mit 6 Pferdekraften in Gang gesetzt, eine Lichtstärke von 14.000 Kerzenflammen. Das Gramme'sche System dagegen leidet bei stärkerer Inanspruchnahme bereits durch zu starke Erhitzung der Drähte, so dass man die Intensität des elektrischen Kohlenlichtes kaum bis auf 8000 Kerzenflammen steigern kann, ohne Gefahr zu laufen, die Maschine durch zu starke Erhitzung unbrauchbar zu machen. Wollte man ähnliche Lichtwirkungen durch den Strom der Bunsen'schen Batterie hervorrufen, so wären mindestens 500 bis 800 Elemente derselben erforderlich. Es ergibt sich daraus eine Folgerung, welche für die lange gehegte Erwartung, den Elektromagnetismus an Stelle des Dampfes zum Maschinenbetriebe nutzbar machen zu können, wenig trostreich ist. Wenn man im Stande ist, durch den Aufwand von nur wenigen Pferdekraften einen elektrischen Strom zu erzeugen, welcher dem einer Kette von einigen hundert Bunsen'schen Elementen gleichkommt, so folgt daraus, dass man umgekehrt durch den Strom einer so mächtigen Batterie im günstigsten Falle auch nur eine Arbeitsleistung von eben so wenig Pferdekraften erzielen kann, als zur Erzeugung eines Stromes von gleicher Intensität erforderlich sind; in Wirklichkeit wird die Arbeitsleistung eines elektromagnetischen Motors aber noch bedeutend geringer sein, weil immer ein Theil der dem Strome äquivalenten Arbeitsgrösse statt in nutz-

bare mechanische Arbeit in andere Thätigkeiten, wie z. B. Wärme, umgewandelt wird, ganz abgesehen davon, dass auch die Arbeit, welche zur Ueberwindung der in dem Motor selbst gelegenen Bewegungshindernisse (Reibung u. dgl.) erforderlich ist, aus dem Arbeitsäquivalente des Stromes bestritten werden muss. Erwägt man nun die Umständlichkeit der Instandsetzung und die Kostspieligkeit des Betriebes eines derartigen Motors, so kommt jede Pferdekraft desselben so hoch zu stehen, dass, so lange nicht billigere und bequemere Stromquellen, als die hydroelektrischen Batterien zur Disposition stehen, an eine Verdrängung der Dampf-, Heissluft- oder Gasmaschinen durch elektromagnetische Motoren wohl nicht zu denken ist. Die Gramme'sche Inductionsmaschine dagegen, welche, wenn man einen gegebenen Strom durch ihre Drahtwindungen leitet, als Motor zu fungiren vermag, würde es bei ihren kleinen Dimensionen möglich machen, eine Arbeitskraft, welche wegen ungünstiger Localverhältnisse an Ort und Stelle selbst nicht verwendbar ist, dennoch verwendbar zu machen. Man könnte nämlich durch die sonst verlorene Arbeitskraft einen Gramme'schen Inductor betreiben lassen, und den von demselben gelieferten Strom auf eine zweite, weit entfernte, oder überhaupt an einer am besten passenden Stelle aufgestellte Gramme'sche Maschine wirken und dieselbe als Motor fungiren lassen. Würde nun auch in Folge der vorhin erwähnten Ursachen immer nur ein aliquoter Theil der ursprünglichen Arbeitskraft wirklich nutzbar gemacht werden können,

so wäre dieser Theil dennoch als reiner Gewinn zu betrachten, umsomehr, als die Stromerzeugung, abgesehen von dem Anlagecapital, keinen weiteren Kostenaufwand erfordern würde.

Sehen wir ab von der Anwendung der magneto-elektrischen Induction zum Betriebe elektrischer Telegraphen, so sind es vorzugsweise zwei Richtungen, nach welchen hin sich die Magneto-Inductoren bereits Geltung im grossen Maassstabe errungen haben, nämlich einmal zu dem eben zuvor berührten Zwecke der elektrischen Beleuchtung, welche, man kann sagen, erst durch diese neuesten Constructionen in ein Stadium getreten ist, in welchem ihre Anwendung nicht blos bequem, sondern auch so wenig kostspielig ist, um in gewissen Fällen selbst die Concurrenz mit dem Leuchtgase aushalten zu können. Die chemische Industrie ist das zweite Feld, auf welchem die Magneto-Inductoren sich praktisch bewährt, daher auch in die grossen Werkstätten für Galvanoplastik, galvanische Vergoldung und Versilberung u. dgl. ihren Einzug mit Erfolg gehalten haben.

Ein nicht weniger wichtiges Feld für die praktische Anwendung der inducirten Ströme bietet die elektrische Minenzündung. Die Idee, den elektrischen Funken zur Entzündung von Sprengladungen zu benützen, ist schon eine ziemlich alte, ihre Ausführung scheiterte jedoch an einer Menge praktischer Schwierigkeiten. Später, nachdem man mit den thermischen Wirkungen des voltaelektrischen Stromes bekannt worden

war, versuchte man, den elektrischen Strom der Voltaschen Batterie diesem Zwecke dienstbar zu machen, indem man durch denselben dünne Drähte erglühen machen und so die Entzündung einer Sprengmasse bewerkstelligen kann. Aber die Umständlichkeiten, welche mit dem Transporte und der Instandsetzung einer hydroelektrischen Batterie verbunden sind, welche noch im Stande sein soll, auf grosse Entfernung Drähte glühen zu machen, beschränkten die Anwendung dieser Methode auf günstige Umstände und Localverhältnisse. Als man jedoch Präparate erfunden hatte, welche durch den schwächsten, kaum sichtbaren elektrischen Funken zur Explosion gebracht werden können und dadurch die Entzündung auf grössere Massen Sprengmaterials zu übertragen vermögen, kam man wieder auf die Funkenzündung zurück. So lange es sich nur um die Entzündung einer einzigen Mine handelte, erreichte man durch die Ruhmkorff'schen Funkeninductoren den beabsichtigten Zweck ganz gut. Sobald aber mehrere Minen gleichzeitig explodiren sollten, stellte sich wieder die Schwierigkeit ein, dass man, um den Erfolg einigermassen zu sichern, zu grossen Inductoren, die wieder eine grössere galvanische Batterie fordern, seine Zuflucht nehmen musste, und dabei denselben Uebelständen ausgesetzt war, welche die Minenzündung durch Batterieströme begleiten.

Ein ganz compendiöser, von dem Wiener Mechaniker Marcus schon im Jahre 1862 erfundener magnetoelektrischer Inductor, leistet in dieser Bezie-

hung Vorzügliches; während die kleinsten Apparate etwa  $1\frac{1}{4}$  Kilogramm, und die grössten nur etwas über 13 Kilogramm wiegen, sind die ersteren noch im Stande, bis auf 50 Meilen Distanz 3, die letzteren aber auf 200 Meilen 20 gleichzeitige Zündungen zu bewirken. Seither hat Marcus seine Apparate derart vervollkommenet, dass hundert und mehr Minen gleichzeitig zur Explosion gebracht werden können.

Marcus bewahrt zwar über das Detail seiner durch Privilegien geschützten Erfindung das strengste Geheimniss, demungeachtet lässt sich über den Grundgedanken derselben Einiges angeben.

Um dem Inductionsstrome eine möglichst hohe Spannung zu geben, soll der mit sehr dünnem Drahte in sehr vielen Lagen umwickelte Anker mit möglichst grosser Geschwindigkeit vor den Polen eines starken Magnetes vorübergeführt werden. Wie aber bei einer früheren Gelegenheit bereits erwähnt wurde, kann man eine gewisse Grenze dabei nicht überschreiten, weil das Eisen des Ankers den Magnetismus nur allmähig annimmt und wieder verliert. Um nun zu bewirken, dass die Eisenkerne, auf welche die Drahtwindungen gewickelt sind, trotz grosser Bewegungsgeschwindigkeit dennoch den stärksten Magnetismus erlangen können, dessen sie fähig sind, müssen sie lange genug dem Einflusse der Magnetpole ausgesetzt sein. Für die Minenzündung ist es aber genug, wenn der Strom nur einen Moment dauert, der Anker braucht daher auch nicht förmlich zu rotiren, sondern sich nur um einen hin-

reichend grossen Winkel derart zu drehen, um aus einer fixen Stellung, in welcher er eine Zeit lang der vollen Wirkung der Magnetpole ausgesetzt möglichst starke magnetische Polarität erlangt hatte, plötzlich in eine zweite Position gebracht zu werden, in welcher die vorhandene Polarität vernichtet wird, und in die entgegengesetzte überzugehen anfängt. Zu diesem Zwecke ist der Anker an einer sehr starken Stahlfeder befestigt, welche sich spannt, wenn jener mittels eines Griffes zwischen die Magnetpole eingestellt und durch eine einschnappende Feder in dieser Stellung festgehalten wird. Löst man die Feder durch einen Drücker aus, so schnellt der Anker mit grosser Geschwindigkeit in eine Stellung zurück, bei welcher die früher erlangte Polarität in der zuvor erwähnten Weise verschwindet. Marcus hat jedoch auch auf dieses Princip gegründete Apparate construirt, bei welchen der Anker durch Zahnrad und Trieb in förmliche Rotation versetzt wird, und durch sorgfältige Isolirung, Anwendung eines Condensators u. dgl. es dahin gebracht, dass die abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Inductionsströme mit so hoher Spannung auftreten, dass zwischen den einander bis auf eine Distanz von 2 bis 3 Millimeter genäherten Enden des inducirten Drahtes glänzende und prasselnde Funken entstehen. Wird eine Geissler'sche Röhre in die Strombahn eingeschaltet, so gewahrt man eine Lichterscheinung, die von jener, welche dieselbe Röhre in einen Ruhmkorff'schen Funkeninductor eingeschaltet zeigen würde, insofern verschieden ist, als die Ströme

des Marcus'schen Apparates abwechselnd entgegengesetzt, jene des Ruhmkorff'schen Inductors aber stets gleich gerichtete sind.

Damit dürften die Fälle elektrodynamischer Induction, welche von allgemeinerem Interesse sind, wohl erschöpft sein, und wir wollen zum Schlusse nur noch der sogenannten Dämpfung der Schwingungen, welche man bei Apparaten anwendet, an welchen wodurch immer hervorgebrachte Ablenkungen von Magnetnadeln beobachtet werden sollen, aus dem Grunde kurz Erwähnung thun, weil die Möglichkeit, mittels des atlantischen Kabels telegraphisch zu correspondiren, zum Theile dadurch bedingt ist. Der in diesem Falle benützte Signalapparat besteht nämlich aus einer Magnetnadel, welche durch den um sie geführten Strom der entfernten Station je nach der Richtung desselben nach Ost oder West abgelenkt wird; dadurch, dass man diese entgegengesetzten Ablenkungen verschiedentlich combinirt, erhält man das Buchstabensystem für die transatlantische Telegraphensprache. Wird aber eine aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachte Nadel wieder sich selbst überlassen, so kehrt sie nicht sogleich, sondern erst nach einer längeren Reihe von Schwingungen in dieselbe zurück. Gesähä dies beim transatlantischen Telegraphen ebenfalls, so würde die Correspondenz zum mindesten äusserst langwierig, und deshalb so gut als unmöglich werden; man müsste nämlich nach jedem einzelnen Zeichen immer erst abwarten, bis die Nadel wieder zur Ruhe gekommen ist, und erst dann könnte

man das nächste Zeichen folgen lassen. Diese langwierigen Nadelschwingungen müssen also beseitigt werden, indem man zu bewirken sucht, dass die Nadel nach einer einmaligen Ablenkung in möglichst kurzer Zeit sich wieder in ihre Gleichgewichtslage einstellt. Man erreicht dies dadurch, dass die Magnetnadel allseitig mit einer massiven Hülle von Kupfer oder Messing (dem sogenannten Dämpfer) umgeben wird, in welchem die sich bewegende Nadel elektrische Ströme inducirt, die immer so gerichtet sind, dass sie die Bewegung der Nadel zu hemmen suchen. Ist die Metallmasse des Dämpfers zweckmässig angeordnet und construirt, so kann ihre hemmende Wirkung sich bis zu dem Grade steigern, dass die Schwingungen, indem ihre Amplituden äusserst schnell abnehmen, sich beinahe nur auf einen einzigen Ausschlag reduciren; man sagt dann, die Nadel schwinde aperiodisch. Nun ist es auch möglich, die einzelnen Zeichen, beziehungsweise Nadelausschläge, so rasch auf einander folgen zu lassen, dass die Correspondenz mit möglichst geringem Zeitaufwande erfolgen kann. Auf diese Weise hat dieselbe Erscheinung, welche vor mehr als fünfzig Jahren den Ausgangspunkt der Untersuchung über elektrodynamische Induction bildete, in unseren Tagen dazu beigetragen, ein Problem zu lösen, dessen Lösung zur Zeit ihrer Entdeckung höchstens als frommer, nicht erfüllbarer Wunsch erscheinen musste.

---

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1878

Band/Volume: [18](#)

Autor(en)/Author(s): Pierre Victor

Artikel/Article: [Ueber elektrodynamische Induction. 297-363](#)