

# Versuche mit Wechselströmen.

Von

**Viktor v. Lang.**

---

Vortrag, gehalten den 6. December 1893.

*(Mit Experimenten.)*

Mit 4 Abbildungen im Texte.



Wer denkt nicht, wenn er von einem elektrischen Strome hört, sogleich an die großen Errungenschaften der Neuzeit, an die elektrische Beleuchtung, an die elektrischen Bahnen, an die elektrische Kraftübertragung. Gegen diese Kraftäußerungen der Elektrizität verschwinden meine heutigen Versuche, welche mit verhältnismäßig sehr schwachen Strömen zur Ausführung kommen werden. Allerdings ließen sich die folgenden Experimente auch in großem Maßstabe ausführen, und sie würden dann brillante Effecte geben, dazu müsste ich aber auch über einen stärkeren Strom verfügen können. Dieser Saal ist freilich elektrisch beleuchtet, und es ist sogar die Einrichtung getroffen, den starken Strom, welcher die Beleuchtung besorgt, auch zu Experimenten verwenden zu können. In der That wird er ja hier häufig zum Betriebe einer kräftigen Bogenlampe verwendet, welche die Aufstellung des großen Projectionsapparates erst möglich gemacht hat. An den Leistungen dieses Apparates hat auch unser Verein schon bei vielen Vorträgen Gelegenheit gehabt, sich zu erfreuen.

Dieser Strom ist aber ein Gleichstrom, der von der Allgemeinen Österreichischen Elektrizitäts-Gesell-

schaft geliefert wird, ich aber bin für meine heutigen Versuche auf Wechselstrom angewiesen. Ein solcher Wechselstrom ist der von der Internationalen Elektrizitäts-Gesellschaft gelieferte, welcher jetzt schon ausgiebig in Wien verwendet wird. Ich erwähne nur, dass die ganze k. k. Hofburg durch denselben ihre Beleuchtung erhält. Leider steht mir aber hier dieser Strom nicht zur Verfügung, und ich bin darauf angewiesen, mir den nöthigen Wechselstrom mit Hilfe dieser kleinen Maschine selbst zu erzeugen. Die Experimente werden wohl durch diesen kleinen Maßstab ihrer Ausführung nicht weniger lehrreich, sie würden aber im großen ausgeführt die vortheilhafte Eigenschaft haben, auch noch am andern Ende des Saales ohne Anstrengung gesehen werden zu können.

Entschuldigen Sie ferner, wenn ich noch zur Einleitung ein paar Worte sage über die Grundbegriffe der Lehre von den elektrischen Strömen. Gewiss sind diese Begriffe vielen von Ihnen geläufig, doch ist die Verbreitung derselben noch keine sehr allgemeine, und leider ist ein Fehlen dieser Begriffe oft bei Lernenden, sogar bei Lehrern zu finden.

Ein elektrischer Strom ist die Bewegung der Elektrizität in einem Drahte von Stellen höherer Spannung zu Stellen niederer, gerade so wie in dem gewöhnlichen Sprachgebrauche ein Strom die Bewegung des Wassers von höher gelegenen Stellen zu tieferen bedeutet. Beim Wasser ist es der Höhenunterschied zweier Orte, welcher macht, dass das Wasser von einem Orte zum

andern fließt, bei der Elektrizität ist es der Spannungsunterschied, der sie in Bewegung setzt. Diesen Spannungsunterschied nennen wir auch elektromotorische Kraft.

Die Menge Wasser, die bei einem Orte, der am Ufer eines Stromes liegt, in der Secunde vorbeifließt, ist offenbar die Stärke dieses Stromes und kann in Litern oder Kilogrammen angegeben werden. Ebenso heißt die Menge positiver Elektrizität, die durch einen Querschnitt des Drahtes in der Secunde hindurchfließt, die Intensität des elektrischen Stromes und wird in einer Ampère genannten Einheit gemessen. Ferner wird die treibende Kraft beim Wasser oder das Gefälle in Metern gemessen, die entsprechende Spannungsdifferenz zweier Punkte beim elektrischen Strome aber in einer Volt genannten Einheit. Wie groß diese elektrischen Einheiten Ampère und Volt sind, darauf kann ich allerdings heute nicht eingehen, ich erwähne nur beispielsweise, dass zwischen den zwei Enden der Kohlenfäden, die in den Glühlampen diesen Saal erleuchten, eine Spannung von 110 Volt herrscht, und dass Glühlampen, welche eine Leuchtkraft von 16 Kerzen haben, einen Strom von ungefähr  $\frac{5}{11}$  Ampère brauchen; die 50kerzigen Lampen verbrauchen beiläufig  $\frac{4}{3}$  Ampère.

Der Vergleich zwischen einem elektrischen und einem Wasserstrom lässt sich auch auf die Arbeitsleistungen derselben ausdehnen. Ein Strom ist, wie wir gesehen haben, die Bewegung von Wasser über eine

schiefe Ebene infolge der Schwere; gäbe es hiebei keine Bewegungshindernisse, so würde die Geschwindigkeit des Wassers bei seinem Fortschreiten immer größer und größer werden, überhaupt genau dieselbe sein, als ob es von seinem Ursprunge frei herabgefallen wäre. Dies ist aber nicht das, was wir an den Flüssen und Strömen beobachten, bei denen stellenweise das Wasser mit sehr geringer Geschwindigkeit sich fortbewegt. Die Ursachen dieser Verzögerungen sind in den Bewegungshindernissen, in der Reibung des Wassers an den Wänden seines Bettes zu suchen. Ein Schlitten gleitet immer schneller über eine Schneebahn hinunter, von einem Sandhügel aber gleichförmig langsam.

Die Arbeit, welche die Schwerkraft bei der Bewegung des Wassers durch Überwindung der Hindernisse dieser Bewegung leistet, geht natürlich nicht verloren, wie überhaupt nie Arbeit verloren gehen kann. Es entsteht für die verbrauchte Arbeit eine äquivalente Menge Wärme, welche das Strombett und auch das Wasser etwas wenig, freilich kaum messbar, erwärmen wird.

Mit Hilfe von Wasserrädern, Turbinen u. dgl. kann man aber, wie Sie wissen, die Arbeit der Schwerkraft bei der Fortschaffung des Wassers auch in mechanische Arbeit umwandeln und auf diese Weise die verschiedenartigsten Maschinen in Bewegung setzen. Sie wissen auch, dass der Höchstbetrag an Arbeit, welchen man aus einem Wassergefälle per Secunde

herausbekommen kann, gefunden wird durch Multiplication der Höhe des Gefälles mit dem Gewichte des in einer Secunde herabfallenden Wassers.

So wie nun der Effect des fließenden Wassers in Meterkilogrammen gefunden wird, so gibt auch das Product von Volt und Ampère, das Voltampère oder kürzer Watt genannt, auch die Arbeit des elektrischen Stromes an zwischen den zwei Punkten, auf welche sich die elektromotorische Kraft, in Volt gemessen, bezieht. Ist zwischen diesen zwei Punkten eine ununterbrochene gute Leitung vorhanden, so besteht die einzige Arbeitsleistung des elektrischen Stromes in der Erwärmung der Leitung, und die Menge entwickelter Wärme muss per Secunde genau äquivalent sein dem Producte aus Volt und Ampère. Die Kohlenfäden der Glühlampen sind ebenfalls als metallische Leitungen zu betrachten, und Sie sehen, dass diese Fäden durch den hindurchgehenden Strom sogar weißglühend werden. Nach dem, was ich Ihnen früher mittheilte, verbraucht eine 50kerzige Glühlampe  $110 \times \frac{4}{3}$  Voltampère oder 147 Watt. Da nun rechnungsmäßig 735 Watt einer Pferdekraft entsprechen, so erfordern fünf solcher Glühlampen eine Pferdekraft; in Wirklichkeit etwas mehr, da ja bei den Maschinen, welche den Strom erzeugen, so wie bei allen Maschinen ein Theil der aufgewandten Arbeit auf Reibung, Erwärmung der Drähte u. s. f. verloren geht.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen wollen wir unserem Thema näherrücken und einen Wechsel-

strom betrachten. Das ist ein elektrischer Strom, der, von Null beginnend, allmählich stärker, dann wieder schwächer wird, hierauf sogar seine Richtung ändert, wieder anwächst und abnimmt, worauf er wieder die ursprüngliche Richtung annimmt und das Spiel von neuem beginnt. Hier fehlt die Analogie in der Geographie. Der Vorgang in jedem Punkte der Leitung erinnert vielmehr an die Bewegung des Uhrpendels. In der That setzen wir bei einem Wechselstrom immer voraus, dass sein Anwachsen und Abfallen nach jedesmaliger Änderung der Richtung regelmäßig in immer gleichen Zeittheilen erfolgt. Der Wechselstrom der Internationalen Elektrizitäts-Gesellschaft ändert beiläufig 84 mal seine Richtung in der Secunde, sodass in dieser Zeit 42 ganze Perioden verlaufen. Man hat aber auch schon Maschinen construiert, die einen 10.000 maligen Wechsel in der Secunde geben, freilich dienen diese Maschinen nicht zur Beleuchtung.

Man kann den Strom eines galvanischen Elementes (es ist dies die am längsten bekannte elektromotorische Kraft) mit einer einfachen Vorrichtung (Commutator genannt) leicht in der einen oder in der anderen Richtung durch einen Apparat, etwa durch eine Drahtspule schicken. Würde man den Commutator fort und fort bewegen, so würde der durch die Spule gehende Strom beständig seine Richtung ändern, und man hätte so in der Spule einen Wechselstrom. Auf diese mechanische Art kann man aber, wie die Praxis lehrt, keine große Zahl von Richtungsänderungen in der Secunde erzielen.

Dagegen gibt es eine gewisse Art von elektromotorischer Kraft, welche gleich direct Wechselströme liefert, ich meine die Induction, die epochemachende Entdeckung des großen Faraday.

Die Gesetze der Induction ergeben sich am einfachsten durch die ebenfalls von Faraday ausgebildete Vorstellung über die Kraftlinien, welche von dem bekannten Experimente ausgeht, bei dem man Eisenfeilspäne auf einen mit einem Blatt Papier bedeckten Magneten streut. Die Eisenfeilspäne lagern sich in Curven, die von der einen Hälfte des Magneten in immer größeren Curven zu der anderen Hälfte gehen und besonders in der Nähe der Pole des Magneten sehr deutlich sind. Bewegt man nun einen Drahtkreis, sodass die Anzahl der Kraftlinien, welche durch die Fläche des Drahtkreises gehen, zunimmt, so entsteht, solange die Bewegung dauert, ein Strom in dem Draht. Führt man mit dem Drahtkreis die entgegengesetzte Bewegung aus, bei welcher die Zahl der durchgehenden Kraftlinien abnimmt, so wird wieder ein Strom induciert, aber in entgegengesetzter Richtung. Nur bei Bewegungen, wo die Kraftlinienzahl gleich bleibt, entsteht kein Strom. Man kann aber, um inducierte Ströme zu erhalten, auch den Drahtkreis in Ruhe lassen und den Magneten so bewegen, dass die Zahl der Kraftlinien, welche durch den Drahtkreis gehen, sich ändert.

Auf diesen einfachen Principien beruht die Erzeugung der riesigen Ströme, mit welchen die Elektrizität

ihre modernen Kraftäußerungen vollführt. Diese Leistungen bedeuten Geld, und es ist von vornherein klar, dass man sie nicht umsonst erhalten kann. Will man durch inducierte Ströme Arbeit leisten, so muss man genau soviel Arbeit bei deren Erzeugung aufwenden. Worin besteht nun die bei der Induction elektrischer Ströme aufzuwendende Arbeit? Dieselbe kann nur in einer Wechselwirkung zwischen Magnet und induciertem Strome liegen, welche so erfolgen muss, dass durch sie die inducierende Bewegung gehemmt wird und einen zu überwindenden Widerstand erfährt.

In der That wirkt ein Magnet und ein elektrischer Strom aufeinander ein, wie Oerstedt entdeckte. Die Gesetze dieser Wechselwirkung wurden von Biot und Savart festgestellt, und man ist hiedurch im Stande, die Richtung des inducierten Stromes vorauszusagen. Derselbe muss eben so verlaufen, dass er durch seine Wirkung auf den Magneten die inducierende Bewegung aufhält. Der letzte Satz wurde zuerst von Lenz ausgesprochen.

Seit der großen Entdeckung Faradays sind nun eine Unzahl sogenannter magneto-elektrischer Apparate oder Magnetinductorien construirt worden, welche durch Bewegung von Drahtspulen in der Nähe von Magnetpolen elektrische Ströme liefern. Fast alle Constructeure benützen Hufeisenmagnete, indem bei denselben die Kraftlinien auf ihrem Wege vom Nord- zum Südpol dicht beisammen bleiben; ferner wird nicht

ein einziger Drahtkreis benützt, sondern eine oder mehrere Drahtspulen, indem die inducierte elektromotorische Kraft in jeder Windung der Spule sich wiederholt und die gesammte elektromotorische Kraft daher mit der Anzahl der Windungen wächst. Die Spulen werden immer auf einen Kern von weichem Eisen gewickelt, weil dann beim Nähern der Spule an den Magneten der Kern, indem er magnetisch wird, die Zahl der Kraftlinien um einen bedeutenden Betrag vermehrt, welcher bei der Entfernung der Spule wieder verschwindet.

In dem kleinen Apparate,<sup>1)</sup> welchen ich heute zur Erzeugung von Wechselströmen benützen werde, ist nur eine längliche Spule vorhanden, welche zwischen zwei sie einhüllenden Eisenstücken (Polschuhen) rotiert, die durch fünf hintereinandergestellte Hufeisenmagnete

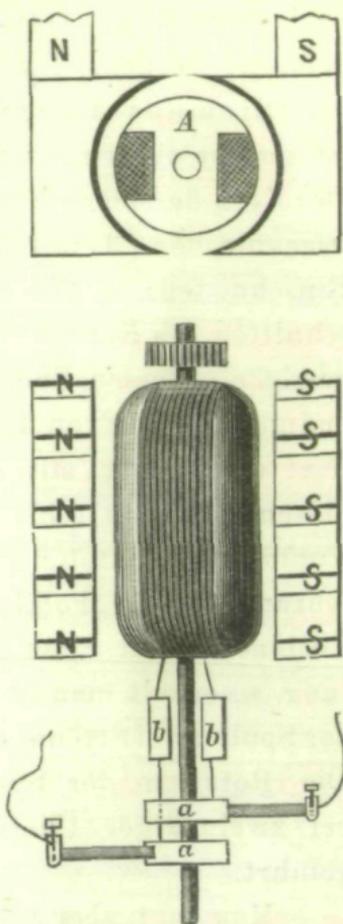


Fig. 1.

<sup>1)</sup> Derselbe stammt aus der Werkstätte der Herren E. Ducretet et L. Lejeune in Paris.

beziehungsweise stark Nord und Süd magnetisch gemacht werden. Die Spule hat eine eigenthümliche, von Siemens angegebene Gestalt, ihr Querschnitt ist aus der oberen Zeichnung der Fig. 1 zu entnehmen. Der Kern derselben besteht aus einer Reihe von runden Eisenblechen (*A*) mit gegenüberstehenden rechteckigen Einschnitten; in den zwei so gebildeten langen Einschnitten des Kernes ist der isolierte Kupferdraht aufgewickelt, dessen Enden in zwei Metallscheiben (*a, a*) endigen, welche von der Achse der Spule natürlich isoliert sind, aber mit ihr gleichzeitig rotieren. Auf diesen Scheiben schleifen zwei Bündel aus blankem Kupferdraht, Bürsten genannt, welche mit zwei Klemmschrauben, den „Polklemmen“, in Verbindung stehen. Verbindet man diese Klemmen durch eine gute Leitung, so erhält man in derselben bei jeder Umdrehung der Spule zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung. Die Rotation der Spule wird mittels einer Kurbel bei zweimaliger Übersetzung durch Zahnräder ausgeführt.

Man kann aber auch Gleichstrom mit diesem Apparate erhalten. Zu dem Zwecke sind beide Bürsten auf einem Hartgummistücke befestigt und können gleichzeitig längs der Drehungsachse nach einwärts verschoben werden. Hiedurch kommen die Bürsten auf zwei Halbcylinder (*b, b*) aus Kupfer zu liegen, wovon je einer mit einem der Enden des Spulendrahtes verbunden ist. Beim Drehen der Spule kommen dann die Bürsten immer in abwechselnder Ordnung mit den

beiden Halbcylindern in Berührung, wodurch bei jeder Umdrehung die Stromrichtung in der Leitung geändert und die zwei Wechselströme gleichgerichtet werden.

Mit Hilfe dieser Maschine kann ich Ihnen also zeigen, dass eine Reihe von Erscheinungen ganz gleich sind für Gleichstrom und Wechselstrom. Wenn ich z. B. die Endklemmen dieser Glühlampe mit den Polklemmen des Inductoriums durch Kupferdrähte leitend verbinde, so kommt dieselbe durch beide Stromarten in helles Leuchten, und da diese Lampe beim Weißglühen eine Spannung von 50 Volt an ihren Enden und eine Stromstärke von beiläufig  $\frac{1}{2}$  Ampère braucht, so gewinnen wir durch dieses Experiment gleich einen Maßstab für die Wirksamkeit unseres Inductoriums.

Wie die Wärmewirkung gleichbleibt, bleibt auch die magnetisierende Wirkung beider Arten von Strömen gleich. Ich habe hier eine vertical stehende cylindrische Drahtspule und über deren Hohlraum einen aus gewöhnlichem Eisenblech gerollten Cylinder, der an einer Spirale aus dünnem, harten Messingdrahte so hängt, dass sein unteres Ende noch etwas in den cylindrischen Hohlraum der Spule hineintaucht. Lasse ich nun den Anker des Inductoriums immer schneller rotieren, so wird der Eisencylinder entsprechend immer tiefer in die Spule hineingezogen, indem die Spule wie ein Magnet wirkt, der immer stärker wird.

Geht Wechselstrom durch die Spule, so wirkt freilich die Spule einmal so, als ob oben ein Nordpol

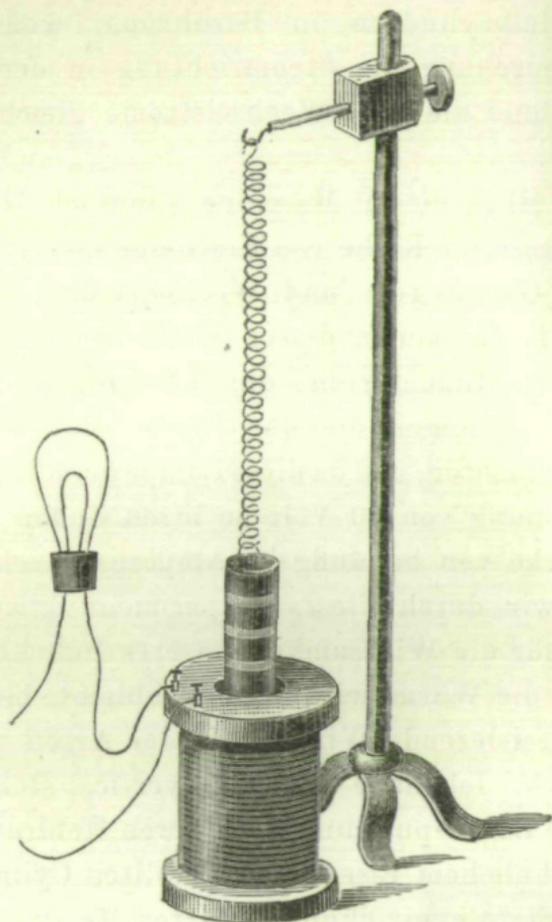


Fig. 2.

wäre, dann nach geändeter Stromrichtung wieder so, als ob oben ein Südpol wäre, weil aber in beiden Fällen das weiche Eisen angezogen wird und der Wechsel sich sehr rasch vollzieht, so zeigt sich bei diesem Experimente kein Unterschied zwischen Gleichstrom und Wechselstrom.

Da auf dem Eisencylinder in gleichen Abständen fünf weiße Striche angebracht sind, so kann die eben benützte Zusammenstellung auch als Ampèremeter dienen, d. i. als Apparat zum Messen der Stromstärke. Schalte ich z. B. in den Stromkreis auch noch die früher benützte Glühlampe ein, so wird, wenn ich den Anker so rasch drehe, dass die Lampe hell leuchtet, der Eisencylinder bis zum dritten Strich in die Spule hineingezogen, so dass ein Strich auf dem Cylinder ungefähr  $\frac{1}{4}$  Ampère bedeutet.

Bei dem folgenden Experimente zeigt sich jedoch gleich ein Unterschied in beiden Stromarten. Ich befestige an den Enden der zu den Polklemmen führenden Poldrähte zwei Platinbleche und tauche dieselben in diese blaue Flüssigkeit, die durch Auflösung von Kupfervitriol-Krystallen erhalten wurde. Stelle ich nun die Bürsten des Inductoriums auf Wechselstrom und setze dasselbe in Thätigkeit, so bleiben beide Platinbleche blank. So wie ich aber Gleichstrom mittels der zwei Bleche durch die Flüssigkeit leite, wird in kurzer Zeit eines derselben, die sogenannte Kathode, mit einer Kupferschichte überzogen.

Diesen Kupferüberzug könnte ich wieder wegbringen, indem ich die Platinbleche vertausche und das, was früher Kathode war, zur Anode mache. Allein ich würde jetzt das Kupfer auf dem anderen Bleche erhalten. Ich nehme daher an Stelle des reinen Platinbleches eine Kupferplatte zur Kathode, auf sie wird nun das Kupfer niedergeschlagen, während das auf der

Anode befindliche Kupfer wieder aufgelöst wird, so dass ich mein Platinblech wieder in den ursprünglichen reinen Zustand zurückgebracht habe.

Während galvanoplastische Arbeiten dem eben gezeigten Experimente zufolge nur mit Gleichstrom ausgeführt werden können, eignet sich zu dem folgenden Experimente gerade der Wechselstrom. Ich habe hier eine stählerne Stimmgabel auf einem Resonanzkasten und stelle sie mit ihren Zinken zwischen die Pole eines kleinen Elektromagneten. Durch letzteren lasse ich einen Wechselstrom gehen, indem ich den Anker des Inductoriums zuerst langsam, dann schneller drehe. Die Stimmgabel ist noch immer tonlos, ich drehe noch schneller, jetzt setzt plötzlich der Ton der Stimmgabel ein, jetzt entspricht die Zahl der Anziehungen, welche die Zinken der Gabel durch den Elektromagneten in der Secunde erfahren, gerade dem Tempo ihrer eigenen Schwingungen. Da die Stimmgabel 256 ganze Schwingungen in der Secunde macht, so muss sich der Anker 128 mal in dieser Zeit umgedreht haben, da ja bei jeder Umdrehung zwei Ströme entstehen, die, obwohl abwechselnd gerichtet, beide die Anziehung der Zinken durch den Elektromagneten bewirken. Ein Gleichstrom kann die Gabel nicht zum Tönen bringen, außer er wird regelmäßig unterbrochen. Dies ist freilich bei dem mit unserem Inductorium erhaltenen Gleichstrom der Fall, wie schon aus der früher gegebenen Beschreibung des Inductoriums hervorgeht. Der Stimmgabelversuch geht aber doch schlecht mit dem Gleich-

strom, da seine Unterbrechungen zu kurz sind und der Elektromagnet in der Zwischenzeit nicht unmagnetisch wird.

Zum Verständnis des Nachfolgenden will ich jetzt ein Experiment machen, das gleich gut mit Gleichstrom und Wechselstrom gelingt. Ich habe hier einen großen Holzring an zwei Drähten aufgehängt. Auf dem Ring ist ein isolierter Kupferdraht oftmals aufgewickelt, und die zwei Aufhängungsdrähte sind eben die beiden Enden des aufgewickelten Drahtes; mittels dieser Drähte kann ich durch die Drahtspule einen elektrischen Strom senden. Ich sende nun gleich denselben Strom durch eine zweite, ganz gleiche Spule, welche von einem Gestelle getragen wird und auf dem Experimentiertisch verschoben werden kann.

Nähere ich nun conaxial die zweite fixe Spule der ersten beweglichen Spule, so wird letztere von der fixen angezogen und beträchtlich aus ihrer Ruhelage herausgebracht, drehe ich aber die fixe Spule um, so wird jetzt beim Nähern derselben die bewegliche Spule abgestoßen.

Würden wir, wozu die Zeit uns mangelt, die Drahtverbindungen zwischen den beiden Spulen genau verfolgen, so würden wir aus diesem Experimente ersehen, dass zwei Ströme, die dieselbe Richtung haben, sich anziehen, zwei Ströme aber, welche durch die beiden Leiter in entgegengesetzter Richtung fließen, sich abstoßen. Zwei Ströme, die sich anziehen, thun dies natürlich auch noch, wenn sie beide ihre Richtung wech-

seln, und ebenso zwei Ströme, die sich abstoßen: es muss also das letzte Experiment gleich gut gehen mit Wechselstrom und mit Gleichstrom.

Waren die bisherigen Experimente leicht verständlich, so gestaltet sich das Verständnis der folgenden etwas schwieriger, und wir werden da einen ganz neuen Begriff, den der „Selbstinduction“ kennen lernen.

Ich will zuvörderst, wie in einem früheren Experimente, den Wechselstrom durch dieselbe Glühlampe und durch eine Drahtspule gehen lassen. Die jetzige Spule ist zwar gleich hoch mit der früheren, ist aber innen weiter und enthält namentlich viel mehr Drahtwindungen. Ich lasse nun von meinem Gehilfen das Inductorium in Thätigkeit setzen, die Glühlampe leuchtet fast so gut wie früher. So wie ich aber in den Hohlraum der Spule einen Eisencylinder stecke, der diesen Raum ganz ausfüllt, erlischt die Lampe, und Sie sehen den Kohlenfaden derselben eben nur noch dunkelroth glühend; trotzdem dreht mein Gehilfe den Anker des Inductoriums noch immer mit gleicher Geschwindigkeit. Stecke ich statt des Eisencylinders ein ebenso großes Bündel dünner Eisenstäbe, welche aus Blumendraht geschnitten sind, in den Hohlraum der Spule, so bleibt der Kohlenfaden jetzt sogar ganz dunkel.

Um diesen Versuch zu verstehen, wollen wir zuerst den Vorgang in der Spule untersuchen, wenn in sie ein Gleichstrom eingeleitet wird. So wie dieser Strom in die ersten Windungen der Spule eintritt, wird

der Eisenkern der Spule magnetisch, es entstehen Kraftlinien, welche etwa vom oberen Ende der Spule zum unteren gehen. Es wird also ein großer Theil dieser Kraftlinien durch sämmtliche Windungen der Spule hindurchgehen, wodurch in diesen Windungen selbst ein Strom induciert wird, welchen man Extrastrom nennt. Dieser Strom muss natürlich die entgegengesetzte Richtung von dem Strome haben, der ihn hervorruft. Denn würde er den ursprünglichen Strom verstärken, so würden neue Kraftlinien entstehen, die wieder einen Extrastrom hervorrufen, wodurch der ursprüngliche Strom wieder verstärkt würde, so dass letzterer von selbst ins Grenzenlose wachsen müsste. Da die Ungereimtheit dieses Resultates, welches eine unendliche Arbeitsleistung ohne nennenswerten Aufwand ermöglichen würde, auf der Hand liegt, so folgt hieraus, dass der Extrastrom beim Entstehen des primären Stromes die entgegengesetzte Richtung wie letzterer haben muss. Durch diese Art der Induction, welche eben Selbstinduction genannt wird, kann daher der Gleichstrom in der Spule nur allmählich zu seiner vollen Stärke anwachsen, da, wie seine Intensität steigt, sogleich immer ein Extrastrom in der Spule entsteht, der allerdings nur einen Moment dauert, aber den primären Strom zurückhält. Allmählich, in Wirklichkeit freilich in sehr kurzer Zeit, erhält der Gleichstrom seine volle Stärke, welche trotz des Eisenkernes die Lampe zum Leuchten bringt.

Unterbricht man den Gleichstrom, so verschwinden

jetzt die Kraftlinien des Kernes und geben einen Extrastrom in umgekehrter Richtung, der daher jetzt in demselben Sinne fließt wie der ursprüngliche primäre Strom und jetzt wieder das plötzliche Aufhören des letzteren verhindert.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, dass, wenn wir Gleichstrom durch Spule und Lampe fließen lassen, nur Anfang und Ende des Versuches durch die Selbstinduction der Spule modificiert werden können, indem die Lampe einen Moment später, als die Schließung des Stromes geschieht, zu leuchten beginnt, dafür aber nach Unterbrechung des Stromes noch einen Moment fortleuchtet. Lassen wir aber einen Strom durch die Spule gehen, dessen Intensität schon von Haus aus abwechselnd ansteigt und abfällt, so haben wir während der ganzen Periode des Ansteigens die Gegenwirkung des Extrastromes, so dass bei starker Selbstinduction der Spule die Stärke des primären Stromes fast Null bleibt. Dies gilt aber auch für die Periode des Abfallens, da, wie der primäre Strom einsetzt, die Selbstinduction ihn immer zu vernichten strebt. Ebenso sind diese Betrachtungen unabhängig von der Stromrichtung, so dass durch eine Spule mit großer Selbstinduction d. h. durch eine Spule mit sehr viel Windungen und großem Eisenkerne die Stromstärke eines Wechselstromes auf Null reduciert wird.

Zum vollen Verständnis des letzten Versuches ist nur noch zu erörtern, warum ein Bündel von Eisendrähten die beobachtete Erscheinung noch besser zeigt

wie ein solider Eisencylinder. Es rührt dies daher, dass in einem Bündel Eisendrähte die Änderungen des Magnetismus prompter vor sich gehen wie in einem soliden Eisenstücke. In letzterem werden durch den Wechselstrom ebenfalls inducierte Ströme erzeugt, die das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus verzögern.

Das letzte Experiment lässt sich noch auf folgende Weise abändern. Ich theile den Wechselstrom zwischen der Glühlampe und der Drahtspule, oder anders ausgedrückt, ich schalte die Spule als Zweigleitung zwischen die zur Lampe führenden Poldrähte. Solange nun die Spule keinen Eisenkern enthält, geht der größte Theil des Stromes durch die Spule, da ihr Widerstand kleiner als der der Glühlampe ist, die Lampe leuchtet auch infolge dessen nicht, trotz der raschen Umdrehung des Ankers. So wie ich aber das Bündel Eisendrähte in die Spule stecke, leuchtet die Lampe. Durch die Selbstinduction der Spule wird jetzt die Stromstärke in derselben fast Null, und die ganze erzeugte Elektrizität nimmt ihren Weg durch die Lampe.

Übrigens besitzt die Spule auch schon ohne Eisenkern etwas Selbstinduction, die Spule wirkt ja, wenn ein Strom durch sie fließt, selbst als Magnet, wie wir in dem früher benützten Modell eines Ampèremeter gesehen haben. Es erklärt sich hieraus folgender Versuch. Wenn ich dieses galvanische Element, bestehend aus Zink und Kohle in Chromsäurelösung, schließe und dann öffne, indem ich die beiden Poldrähte des Ele-

mentes in metallische Berührung bringe und wieder trenne, so sieht man bei der Trennung einen ganz schwachen Funken. Wenn ich aber in den einen Poldraht die eben benutzte Spule vorerst einschalte, so bekomme ich beim Öffnen des galvanischen Stromes ganz deutlich wahrnehmbare Funken, die ein hörbares Geräusch geben. Diese Funken, welche von dem durch die Selbstinduction veranlassten Extrastrome bei der Unterbrechung herrühren, werden noch verstärkt, wenn in die Spule der Eisenkern eingesetzt wird.

Die letzten Experimente werde ich mit dieser eigenthümlich gebauten Spule ausführen. Dieselbe hat im Gegensatze zu den früher benützten Spulen eine flache, dosenförmige Gestalt; ihre Drahtwindungen werden nur durch Siegelack und Mastix zusammengehalten. Bei den schwachen Strömen, die ich hier zur Verfügung habe, wäre es nämlich sehr schädlich, die Windungen auf einen Metallrahmen zu wickeln, weil durch die Induction von Strömen, welche auch in diesem Metallrahmen stattfinden würde, ein Theil der zur Verfügung stehenden Energie verloren gieng. Die Anwendung von Holz empfiehlt sich aber nicht, weil dasselbe zuviel von dem inneren Hohlraume der Spule wegnehmen würde. Dieser Raum ist nämlich ganz dicht mit Stäben aus Eisendraht ausgefüllt, aber so, dass der Eisenkern nur auf einer Seite der Spule, und zwar beiläufig 20 cm, herausragt.

Ich stelle nun die Spule mit ihrer flachen Seite auf eine Eisenplatte, bei dieser Stellung ragt der Eisen-

kern nach oben aus der Spule heraus. Über diesen Kern lege ich auf die obere Endfläche der Spule eine zweite Spule, die ebenfalls bloß aus Draht gewickelt ist, und, wie aus dem Gesagten hervorgeht, keinen Kern hat. Die Drahtenden dieser zweiten Spule führen zu einer kleinen Glühlampe, welche, wie Sie sehen, leuchtet, sobald durch die erste Spule, die primäre, ein Wechselstrom hindurchgeht. Hebe ich die zweite oder secundäre Spule in die Höhe, so nimmt das Leuchten der mit ihr verbundenen Glühlampe rasch ab. Das Ganze gibt Ihnen das Bild eines sogenannten Transformators.

Der primäre, vom Inductorium kommende Wechselstrom geht durch die primäre Spule und macht den Eisenkern magnetisch, aber mit beständig wechselnder Lage der Pole an den Enden des letzteren. In der secundären Spule wird hiedurch ebenfalls ein Wechselstrom induciert, indem die Kraftlinien des Eisenkernes bald in der einen Richtung, bald in der entgegengesetzten durch ihre Windungen hindurchgehen.

Der primäre Wechselstrom und der durch den Eisenkern inducierte secundäre stimmen aber nicht in ihrer Richtung überein, sondern ihre Richtungen sind in jedem Momente nahezu entgegengesetzt. Man kann sich dies auf folgende Art klarmachen. Der primäre Strom geht jedenfalls nicht in voller Stärke durch die primäre Spule, da ihre Selbstinduction infolge der vielen Windungen und des großen Eisenkernes eine beträchtliche ist. In der primären Spule leistet er

aber zweierlei Arbeit: er erwärmt erstens den Draht und den Kern, und zweitens besorgt er die abwechselnde Magnetisierung des Kernes, was ja auch Arbeit erfordert, da ja ein magnetisiertes Eisen durch Anziehung eines anderen wiederum Arbeit leisten kann. Diese zur Magnetisierung des Kernes nöthige Arbeit ist es ja gerade, was die Stromstärke in der primären Spule so herunterdrückt. Geht nämlich der Wechselstrom durch eine Spule ohne Eisenkern, so wird seine Energie ganz durch die Erwärmung des Drahtes aufgezehrt; soll er nun nach eingeschobenem Eisenkern auch noch die Magnetisierungsarbeit leisten, so bleibt weniger Energie für die Erwärmung des Drahtes übrig, d. h. durch den Draht geht jetzt ein schwächerer Strom. So kann man sich durch die Betrachtung der Energieverhältnisse ebenfalls Rechenschaft geben von der früher gezeigten Erscheinung der Selbstinduction. Die Verfolgung dieser Energieverhältnisse durch alle Gebiete der Physik ist aber von v. Helmholtz zuerst gelehrt worden in seiner berühmten Schrift „Über die Erhaltung der Kraft“.

Wird nun auf den Eisenkern der primären Spule noch eine secundäre Spule gesetzt, deren Enden leitend verbunden sind, so muss jetzt der primäre Strom auch noch die Energie des in der secundären Spule inducierten Wechselstromes liefern, und diese Energie ist, wie wir sehen, im Stande, eine kleine Glühlampe zum Leuchten zu bringen. Dieser neue Energiebetrag kann nur seine Quelle darin haben, dass jetzt mehr

Strom durch die primäre Spule geht, dass ihre Selbstinduction abgenommen hat. Letztere kann aber nur dadurch abnehmen, dass der Eisenkern jetzt nicht mehr so stark magnetisch wird, dies kann wieder nur daher rühren, dass der secundäre Strom, welcher ja auch den Kern zu magnetisieren sucht, die entgegengesetzte Richtung des primären Stromes hat und so dessen magnetisierende Wirkung schwächt.

Es ist jetzt leicht, folgenden Versuch zu verstehen. Ich gebe über den Eisenkern unserer Spule statt der secundären Spule einen Aluminiumring. Es ist dies die Hälfte eines der cylindrischen Serviettenbänder, wie sie vor einiger Zeit in den Handel kamen. Sowie ich den Wechselstrom durch die

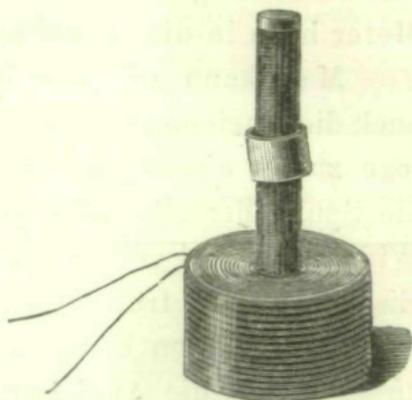


Fig. 3.

Spule gehen lasse, erhebt sich der Aluminiumring von der oberen Endfläche der Spule etwa 10 cm und schwebt ganz frei um den Eisenkern. In dem Aluminiumring wird nämlich wie früher in der Spule mit der Glühlampe ein Wechselstrom induciert, dessen Intensität, weil der Ring nur einen geringen Widerstand darbietet, ziemlich beträchtlich ist. Dieser Wechselstrom und mit ihm sein Träger, der Ring, wird aber von dem primären Wechselstrom der Spule abgestoßen, da diese zwei

Ströme, wie wir uns gerade klargemacht haben, immer in entgegengesetzter Richtung verlaufen; dass aber solche Ströme sich abstoßen, habe ich Ihnen früher experimentell nachgewiesen.

Gerade bei dem zuletzt ausgeführten Versuche bedaure ich, nicht stärkeren Wechselstrom zur Verfügung zu haben. Würde ich einen zehnmal so starken Strom durch die Spule gehen lassen, so würde der Aluminiumring beim Schließen des Stromes einige Meter hoch in die Luft fliegen.<sup>1)</sup>

Man kann mit der letzten Versuchsanordnung auch die Anziehung paralleler Ströme nachweisen. Ich lege zuerst einen ganz schmalen Aluminiumring auf die Spule, derselbe wird nur wenig gehoben, da sein Widerstand viel größer ist. Bringe ich nun über den Eisenkern den früheren Aluminiumring und nähere ich ihn von oben her dem schmalen Ringe, so wird dieser durch die Anziehung des breiten Ringes noch mehr gehoben und vereinigt sich endlich ganz mit demselben.

Zum Schlusse noch folgendes Experiment. Hier ist eine Kupferscheibe, die in der Mitte ein Achat-hütchen, wie eine Magnetnadel, hat, mit welchem sie sich sehr leicht um eine kurze Stahlspitze *S* dreht, die am Rande einer rechteckigen Kupferplatte, und zwar in der Mitte einer ihrer längeren Seiten eingesetzt ist,

---

<sup>1)</sup> Der erste, der durch Wechselströme veranlasste Abstoßungen und Drehungen (siehe letztes Experiment) nachwies, war Tesla.

welche wir mit  $AB$  bezeichnen wollen. Um die Drehung der Scheibe besser beobachten zu können, habe ich auf dieselbe einen Papierkegel conaxial aufgesetzt und die Mantelfläche dieses Kegels in schwarze und weiße dreieckige Felder getheilt. Die Spule benütze ich aber mit Hilfe dieses Holzgestelles in umgekehrter Lage, bei welcher der Eisenkern nach unten aus der Spule ragt. Oben habe ich dann eine runde Fläche gebildet von den letzten Windungen der Spule und dem einen Ende des Eisenkernes. Auf diese Fläche setze ich nun die Kupferplatte so mit der drehbaren Scheibe, dass die Spitze  $S$  einige Millimeter weg vom Mittelpunkt  $O$  der oberen Fläche liegt, während die Seite  $AB$  der Kupferplatte parallel ist mit der Verbindungslinie der Punkte  $O S$ . Wenn ich einen Wechselstrom durch die Spule gehen lasse, so beginnt der Kegel sich zu drehen, und diese Drehung nimmt immer mehr an Geschwindigkeit zu, so dass man zuletzt die

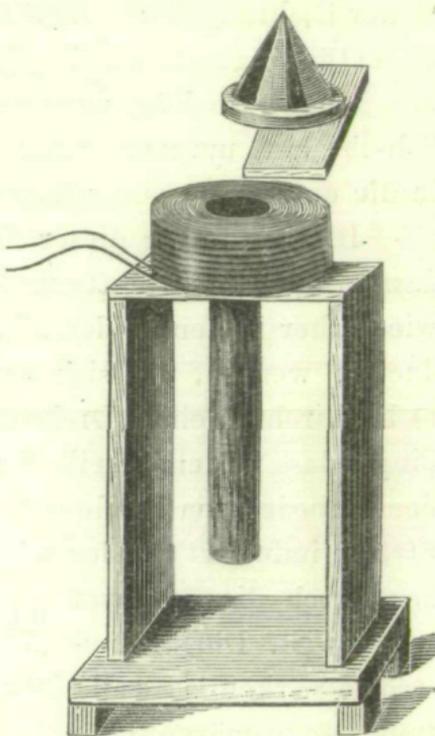


Fig. 4.

schwarzen und weißen Felder nicht mehr unterscheiden kann und nur ein gleichförmiges Grau wahrnimmt. Es ist hiezu nicht einmal nöthig, den Anker des Inductatoriums besonders rasch zu drehen.

Verschiebe ich die Kupferplatte mit der Scheibe in der Richtung der Seite *A B*, so dass die Spitze *S* auf die entgegengesetzte Seite des Mittelpunktes *O* zu liegen kommt, so hört nach und nach die Drehung der Scheibe auf, um nach gänzlichem Stillstande sogleich in die entgegengesetzte überzugehen.<sup>1)</sup>

Die Erklärung dieser Erscheinung besteht darin, dass in der Kupferplatte und in der Kupferscheibe, so wie früher in den beiden Aluminiumringen Ströme induciert werden, die sich gegenseitig anziehen. Dass es hiedurch zu einer Drehung kommt, ist dadurch bedingt, dass in dem Theile der Kupferscheibe, die über dem unbedeckten Theile des Eisenkernes steht, stärkere Ströme induciert werden wie in dem Theile der Scheibe, der durch die darunter befindliche Kupferplatte geschützt ist. Die in dieser Platte inducierten Wechselströme wirken ja, weil sie die entgegengesetzte Richtung der primären Ströme haben, schwächend auf die in der Kupferscheibe inducierten Ströme. Diese Scheibe muss sich daher von dem unbedeckten Theile des Eisenkernes zu dem bedeckten drehen, was, wie Sie sehen, mit dem Versuche stimmt.

---

<sup>1)</sup> In Fig. 4 sind beide Theile des Apparates noch getrennt dargestellt.

---

# 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: 1894

Band/Volume: [34](#)

Autor(en)/Author(s): Lang Viktor Edler von

Artikel/Article: [Versuche mit Wechselströmen. 129-156](#)