

Der Wechselstrom.

Von

Dr. Max Reithoffer.

Vortrag, gehalten den 13. December 1899.

Mit 3 Abbildungen im Texte.

Die rasche Entwicklung, die die Elektrotechnik genommen, die staunenswerten Erfolge, auf die sie schon nach so kurzer Zeit hinzuweisen vermag, berechtigen zu den schönsten und kühnsten Hoffnungen für die Zukunft. Die Elektrotechnik durchdringt schon heute alle Zweige der Industrie und des Verkehrs und ist beinahe allen reinen und angewandten Naturwissenschaften eine unentbehrliche Hilfswissenschaft geworden. Von ihr erwarten wir zuversichtlich die Lösung noch vieler schwierigen Fragen. Die Gründe für diese großartige Bedeutung der Elektrotechnik sind bald gefunden. Wir brauchen zu unserem Culturwerk vor allem Arbeit, viel Arbeit, zu welcher unsere schwachen Muskelkräfte nicht ausreichen. Wir müssen vielmehr die Arbeitskräfte der Natur zu unseren Verbündeten machen, die Energie der Natur in ihren verschiedenen Formen für unsere Zwecke nutzen. Von allen den verschiedenen Energieformen, die wir uns dienstbar gemacht haben, ist aber keine so schmiegsam, so gefällig — wir könnten sagen — so menschenfreundlich wie die elektrische. Sie lässt sich in der einfachsten Weise formen und umwandeln, gibt Wärme, Licht, mechanische Leistung, chemische Arbeit, wie wir wünschen.

Sie kennt nicht Raum, noch Zeit; sie überfliegt die größten Entfernungen und braucht — beinahe könnten wir sagen — keine Zeit. Sie gibt uns die Möglichkeit, die Arbeit eines kleinen Raumes, einer Centrale, über ein großes Stadtgebiet zu vertheilen, wir sind aber auch in der Lage, die Arbeit einer großen Maschine in einem kleinen Punkte zu concentrieren, wie in den großen elektrischen Öfen der Carbid- und Aluminiumwerke. In manchen dieser elektrischen Öfen werden zwischen den Enden der als Elektroden dienenden Kohlenklötze 300 Pferdestärken durch den Lichtbogen in Wärme umgesetzt, d. i. eine secundliche Arbeit von 300×75 Kilogrammetern. Wenn es von der Spitze des Stephansthurmes (137 m hoch) Steine zur Erde regnen würde, und das Gewicht der in einer Secunde fallenden Steine würde 165 kg betragen, so würde das dieselbe Leistung bedeuten, und wir können uns vorstellen, dass diese Leistung, zusammengedrängt auf den kleinen Raum des Lichtbogens im elektrischen Ofen, ganz gewaltige, vorher ungeahnte Wärmewirkungen zu erzeugen vermag.

Und wie wunderbar ist es nicht zu sehen, wie der elektrische Strom mit seiner alles besiegenden Gewalt in seinen kleinen Wirkungen mit äußerster Präcision arbeitet? Wie er mit staunenswerter Reinheit die vielen Schwingungen, hunderte, ja tausende von Schwingungen pro Secunde, welche unsere Sprache auf eine Telephonmembran wirft, über viele Kilometer überträgt, so dass der am Empfangstelephon Horchende nicht bloß das Gesprochene hört, sondern deutlich die Klangfarbe der

Sprache wahrnimmt, die Stimme des Sprechenden erkennt?

Das rasende Entwicklungstempo der Elektrotechnik stellt die größten Anforderungen an die Arbeitskraft des Fachmannes, wenn dieser auf der Höhe der Zeit bleiben will. Aber auch das Interesse des Laien wächst bei jeder neuen Siegesthat dieser jüngsten aller technischen Wissenschaften, es wächst sein Bestreben, wenigstens im Principe die Erscheinungen zu verstehen. Da lässt sich nun leicht der Weg durch die verschiedenen Anwendungsformen des Gleichstromes finden. Aber der Wechselstrom bietet Erscheinungen und Gesetze, welche ganz eigener Art sind, und deren mathematische Behandlung zu den complicierten Problemen der Elektrotechnik gehört. Wir wollen heute die wichtigsten dieser Gesetze experimentell nachweisen und erkennen.

Beantworten wir zuerst die Frage, wie wir denn überhaupt in unseren Dynamomaschinen oder Generatoren elektrischen Strom, sei es Gleich- oder Wechselstrom, erzeugen. Faraday, einer der größten Physiker dieses Jahrhunderts, hat zuerst die Entdeckung gemacht, dass in einem elektrischen Leiter, z. B. in einem Kupferdraht oder -Stab, Elektrizität in Bewegung gesetzt wird, wenn derselbe vor einem Magnetpole vorbeigeführt wird. Es wird gewissermaßen der neutrale Zustand zerlegt in einen positiv und einen negativ elektrischen und diese beiden zu Fortpflanzung nach entgegengesetzter Richtung gezwungen. Diesen Vorgang nennt man Induction. Wollen wir sehr kräftige Magnetpole haben,

so müssen wir sogenannte Elektromagnete nehmen. Ein solcher Elektromagnet ist nichts anderes als ein Stück Eisen, Gusseisen oder besser weichstes Schmiedeseisen, in geeignete Form gebracht, um welches wir durch viele Windungen elektrischen Strom führen. Durch den Einfluss des herumgeführten Stromes wird das Eisen magnetisch, und wir können auf diese Weise außerordentlich starke Magnetpole erzeugen. Diese Pole üben auf ihre Umgebung magnetische Wirkungen aus, sie machen den umgebenden Raum, wie der Fachmann sagt, zu einem magnetischen Felde. Um diese magnetische Herrschaft des Poles über den umliegenden Raum zu symbolisieren, denkt sich der Elektrotechniker Fühler, Kraftfühler von dem Pole in den Raum gehend, die Kraftlinien, welche gewissermaßen die Repräsentanten, freilich unsichtbare, bloß gedachte Repräsentanten der Kraft der Pole sind. Wir werden uns daher oft des Ausdruckes bedienen, „ein Eisenkern entsendet Kraftlinien“, um anzudeuten, dass er magnetisch ist, dass er Magnetpole besitzt. Wir können jetzt die Faraday'sche Entdeckung auch in eine andere Form kleiden. Wir können sagen: wenn ein Leiter Kraftlinien schneidet, findet in ihm Induction statt. Es wird in ihm eine Elektrizitätsbewegung auftreten. Positive Elektrizität geht gegen das eine Ende, negative gegen das andere. Wir betrachten immer nur die Bewegung der positiven Elektrizität. Nach welcher Seite die Elektrizitätsströmung erfolgt, hängt von dem Zeichen des Poles und von der Richtung der Bewegung des Leiters ab. Es gibt sehr einfache Gedächtnis-

regeln dafür, doch wollen wir uns nicht damit befassen. Nur das eine wollen wir feststellen, dass sich die Richtung der Induction ändert, wenn wir eines von den beiden, Pol- oder Bewegungsrichtung, entgegengesetzt nehmen. Schließen wir an die Enden dieses bewegten Leiters einen äußeren Stromkreis an, so erhalten wir einen nach außen fließenden elektrischen Strom, dessen Dauer und Richtung von der Dauer und Richtung der Induction abhängt, dessen Stärke von der Stärke der Induction und von der Beschaffenheit des äußeren Kreises, dem Widerstande desselben bedingt wird. In unseren Maschinen kommt nun nicht bloß ein einziger Draht zur Verwendung, sondern, um größere elektrische Leistungen zu erzielen, sind viele Drähte in wohldurchdachter Weise derart miteinander verbunden, dass sich die die Elektrizität bewegenden Kräfte der einzelnen Leiter, die elektro-motorischen Kräfte derselben addieren. Solange an den Enden dieser so hintereinander geschalteten Drähte kein äußerer Stromkreis angeschlossen ist, so hat zwar die Elektrizität in den Drähten die Tendenz, ihre Bewegung auszuführen, kann aber nur bis an die Enden der ganzen Drahtcombination gelangen. Aber das Streben, weiter zu fließen, besteht, es entsteht an diesen Enden ein Elektrizitätsdruck, welchen wir Spannung nennen. Je nachdem nun an diese Spannung ein Stromkreis größeren oder kleineren Widerstandes angelegt wird, entsteht ein kleinerer oder größerer elektrischer Strom, gerade so wie zwischen zwei Punkten, zwischen welchen eine Flüssigkeits-Druckdifferenz besteht, je nach dem Verbindungsrohre viel oder wenig

Flüssigkeit pro Secunde von dem Punkte höheren Druckes zu dem Punkte niederen Druckes abfließen wird.

Wir sehen also, wie in unseren Centralen solche Drahtcombinationen auf einem eisernen Körper, dem Anker, angebracht sind und durch große Arbeitsmaschinen, Dampfmaschinen oder Turbinen gedreht werden, sodass sie sich fortwährend an Magnetpolen, die im Umkreise angebracht sind, vorbei bewegen und dabei die früher betrachtete Induction erfahren. Nehmen wir dabei an, dass die Pole, an denen wir die Drähte des Ankers vorbei bewegen, abwechselnd entgegengesetztes Zeichen haben, so ergibt sich, dass auch die Inductionen in den Drähten fortwährend ihr Zeichen wechseln, also bald positiv, bald negativ sein werden, wenn wir eine Richtung als positiv bezeichnen. Wird nun von den Enden des Ankerdrahtes Strom nach außen geleitet, so fließt er bald in der einen, bald in der anderen Richtung. Jede Bewegung, die ihre Richtung, ihr Zeichen ändert, muss aber dazwischen einen Nullwert haben, muss im Momente des Richtungswechsels aufhören. Wir sehen das beim Pendel. Das Pendel schwingt nach links, dann nach rechts, dazwischen aber hat es einen Punkt, in dem es die Geschwindigkeit Null besitzt, gerade dann, wenn es seine Bewegungsrichtung umkehrt. Unser Strom wird also auch einen ähnlichen Verlauf zeigen wie die Pendelbewegung. Er wird zu einer gewissen Zeit Null sein, dann anwachsen, ein Maximum erreichen, dann wieder abnehmen, endlich wieder Null werden, dann wird er seine Richtung umkehren, also sagen wir negativ werden,

wieder wachsen bis zu einem maximalen Wert, und zwar einem negativen, wieder bis Null abnehmen und dann die eben beschriebene Variation von vorne beginnen. Eine solche wiederkehrende Bewegungs- oder Zustandsänderung nennen wir eine periodische oder wellenförmige. Den Verlauf derselben von einem Nullwerte, z. B. dem, wo der Strom ins Positive zu wachsen beginnt, bis zum zweitnächsten Nullpunkt, wo der Strom wieder ins Positive zu wachsen beginnt, nennen wir eine Periode, die Zeitdauer derselben eine Periodendauer. Der Strom wechselt in der Periode einmal sein Zeichen, durch die eine halbe Periode ist er positiv, durch die zweite negativ. Einen solchen Strom nennen wir nun einen Wechselstrom.

Die Anordnung abwechselnd entgegengesetzter Pole im Umkreise ist aber die natürliche, da wir ja ohnedies einen Magnetpol allein nicht erzeugen können, sondern immer den entgegengesetzten zugleich mit. Sie ist auch heute noch bei den meisten Wechselstrommaschinen und bei allen Gleichstrommaschinen, einige physikalische Modelle ausgenommen, in Anwendung. Wir erhalten demgemäß in den Drähten Wechselstrom induciert. Und in der That waren die ersten construierten Inductionsmaschinen Wechselstrommaschinen. Die Gesetze des Wechselstromes sind aber äußerst compliciert und waren den Elektrotechnikern der damaligen Zeit unbekannt, während die Eigenschaften des Gleichstromes, den man doch schon von den galvanischen Elementen her kannte, allen Fachleuten geläufig waren. Man wusste den Wechselstrom

nicht recht zu nutzen — zum Glücke für die Entwicklung der Elektrotechnik könnten wir sagen —, denn man sah sich veranlasst, Methoden zu ersinnen, diesen wechselnden Strom in einen Strom constanter Richtung und Stärke, in Gleichstrom, umzuwandeln, und diesem verdankt ja bis heute die Elektrotechnik den größten Theil ihrer ganz außerordentlichen Erfolge.

Die Wissenschaft ist aber nicht stille gestanden, sie hat vielmehr alle elektrischen Erscheinungen zu durchforschen gestrebt, und es ist ihr gelungen, auch volles Licht in das Dunkel der Wechselstromerscheinungen und -Gesetze zu strahlen. Und da zeigt es sich, dass der Wechselstrom Eigenschaften besitzt, die ihn vom Gleichstrome wesentlich unterscheiden, die ihn aber befähigen, an die Lösung der großartigsten Aufgabe der Gegenwart und Zukunft heranzutreten, und das ist die Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen. Weit eher aber, als dass dadurch der Wechselstrom ein Concurrent des Gleichstromes wird, wird er vielmehr sein Bundesgenosse; nebeneinander werden sie, einer den anderen ergänzend, ihre segensreiche Thätigkeit zum Heile der Industrie und der Cultur fortsetzen. Ganz bestimmte Aufgaben werden dem Wechselstrom, ganz bestimmte dem Gleichstrom zufallen, und das Gebiet, in dem sie sich berühren und miteinander rivalisieren, ist verhältnismäßig klein; es werden daraus mitunter ernste locale Fragen, gewiss aber nicht wichtige Zeitfragen entstehen.

In Wien sind wir in der glücklichen Lage, beide Stromgattungen zu besitzen. Speciell dieser prächtige Saal ist

mit Gleichstrom beleuchtet, der dem Netze der Wiener Elektrizitätsgesellschaft entnommen wird. In viel größerem Maße noch gelangt Gleichstrom durch das Leitungssystem der Allgemeinen Österreichischen Elektrizitätsgesellschaft zur Vertheilung. Mit Wechselstrom wird Wien durch das weitverzweigte Kabelnetz der Internationalen Elektrizitätsgesellschaft versorgt, die, gleichwohl ihre Centrale an der großen Donau in der Nähe der Reichsbrücke liegt, es auf Grund der besonderen Eigenschaften des Wechselstromes unternehmen kann, Strom bis an die entferntesten Punkte der Stadt zu liefern, so z. B. an das kaiserliche Schloss Schönbrunn. Machen wir der Centrale dieser Gesellschaft einen Besuch, so sehen wir da selbst eine lange Reihe von Dynamomaschinen aufgestellt; wir zählen deren siebzehn, sehen aber, dass gerade wieder an der Aufstellung neuer gearbeitet wird. Jede dieser Maschinen, die uns als Wechselstrommaschinen bezeichnet werden, besteht aus einem feststehenden eisernen Kranz, in welchen in Bohrungen Drähte eingelegt sind, und einem großen beweglichen eisernen Rade innerhalb dieses Kranzes. An dem Umfange des Rades sitzen gleichmäßig vertheilt 40 eiserne, mit Draht umwickelte Klötze. An der Welle des Rades sind zwei mächtige Kurbeln angebracht, welche von den Kurbelstangen einer 600pferdigen Dampfmaschine gefasst sind und 125 mal in der Minute im Kreise bewegt werden. Wir lassen uns belehren, dass die 40 bewickelten Eisenkerne 40 Magnetpole bilden,

20 Nord- und 20 Südpole, welche dadurch erhalten werden, dass um weiches Eisen in vielen Windungen elektrischer Strom, Gleichstrom, geführt wird; also Elektromagnete. Wir erkennen auch sofort, dass die Drähte, in denen die Induction stattfindet, in denen also eigentlich der Strom, der nach außen geleitet werden soll, erzeugt wird, im feststehenden Eisenkranze liegen, dass wir also hier nicht den Leiter, den Kupferdraht, vor den Polen vorbeibewegen, sondern umgekehrt die Pole vor dem Leiter. Für die Wirkung bleibt sich das natürlich gleich. In diesen Drähten wird also Strom induciert, und zwar, da abwechselnd entgegengesetzte Pole vorbeibewegt werden, Wechselstrom. Wir können sogleich die Periodenzahl dieses Wechselstromes berechnen. Bei einer Umdrehung des Pol- oder Magnetrades werden vor jedem Drahte des feststehenden Inductionskranzes 20 Nordpole und 20 Südpole vorbeibewegt; es wird also bei einer Umdrehung 20 mal eine Induction in der einen Richtung, 20 mal in der entgegengesetzten Richtung stattfinden, oder auf eine Umdrehung entfallen 40 Richtungs- oder Polwechsel und somit 20 Perioden des Wechselstromes. Da das Magnetrad in der Minute 125 Umdrehungen vollführt, gibt das in der Minute 2500 Perioden oder 5000 Polwechsel. Gewöhnlich bezieht man solche Angaben auf die Secunde; wir müssen demnach sagen: der Wechselstrom der Internationalen Elektrizitätsgesellschaft hat $\frac{2500}{60} = 41.6$ Perioden oder rund 83 Polwechsel in der Secunde. Die Dampfmaschine, die die Drehung eines solchen Magnetrades besorgt, hat eine verhältnismäßig

leichte Arbeit, solange der Dynamomaschine kein Strom entnommen wird. Sobald aber Strom nach außen zu liefern ist, verlangt das mehr und mehr Arbeit. Die Maschine braucht mehr Dampf, und der Heizer im Kesselhause muss aufpassen und fleißig Kohlen nachlegen, um den erhöhten Dampfbedarf der Maschine zu decken. Die Erklärung dieser Beobachtung drängt sich uns bei einiger Überlegung von selbst auf. Das souveränste aller physikalischen Gesetze ist das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Die Natur hat uns einen gewissen aufgespeicherten Arbeitsvorrath (z. B. in der Kohle) überlassen und spendet uns noch weiter neue Arbeitsquellen, wie den Wind, das fallende Wasser, Ebbe und Flut. Aber mit der uns zur Nutzung überlassenen Energie treibt sie strenge Rechnung. Wir können mit den durch den herrlichen Menschenggeist ersonnenen Hilfsmitteln die verschiedenen Energieformen unseren Zwecken passend verwerten, wir können eine Form in eine andere Form umwandeln, aber wir sind ohnmächtig gegenüber dem ehernen Naturgesetze, welches von uns sofortige Begleichung unserer Rechnung verlangt. „Bar zu zahlen“ gilt es. Und während es uns gegönnt ist, eine Energieform zu gewinnen, müssen wir mit anderer Energie diesen Gewinn bezahlen. So auch in unserem Falle. Wenn wir in unseren Maschinen elektrische Energie erzeugen, müssen wir sie andererseits mit mechanischer Energie kaufen, die wir freilich aus den uns überlassenen Energiequellen nehmen, aus der Kohle oder dem Gewichte des fallenden Wassers. Wird also durch Induction elektrische Energie

erzeugt, so ist dies nur dadurch möglich, dass der inducierte Strom unserem Inductionsvorgange sich widersetzt und von uns Arbeit erfordert. Dieses Gesetz heißt das Lenz'sche Inductionsgesetz. In unseren Dynamomaschinen wird durch Bewegung Strom induciert; der inducierte Strom muss also der Bewegung entgegenarbeiten, er stemmt sich gegen den näher kommenden Pol und greift mit unsichtbaren, kräftigen Armen nach dem enteilenden; die Dampfmaschinen würden stehen bleiben, wenn sie nicht durch Reguliervorrichtungen automatisch mehr Dampf bekämen; mit mächtiger Faust halten sie die Kurbeln fest und zwingen die großen Magneträder, ihre Drehung mit unveränderter Geschwindigkeit fortzusetzen. Und all die vielen tausend Lampen durch die ganze Stadt leuchten in hellem Glanze, aber die Heizer im Kesselhause der Centrale müssen Kohlen über Kohlen in den glühenden Feuerherd unter den Kesseln werfen.

Durch das Entgegenkommen der Wiener Elektrizitätsgesellschaft, welche das ausschließliche Stromlieferungsrecht in diesem Hause besitzt, und der Internationalen Elektrizitätsgesellschaft bin ich in der angenehmen Lage, aus einer Versuchsleitung, welche die letztgenannte Gesellschaft eigens für diesen Vortrag hergestellt hat, Wechselstrom für unsere Experimente zu entnehmen. Das erste, was wir damit versuchen wollen, ist die Magnetisierung von Eisen. Wir wissen, dass weiches Eisen durch einen elektrischen Strom, der in Windungen um dasselbe herumgeführt wird, zu einem kräftigen Magneten wird. Die Pola-

rität dieses Magneten hängt von der Richtung ab, in welcher wir den Strom herumführen. Machen wir diesen Versuch mit Wechselstrom, so wird, entsprechend dem Richtungswechsel des Stromes, der Magnet oftmal in der Secunde, speciell für unseren Strom 83 mal in der Secunde, seine Pole wechseln. Wir können dies zeigen, indem wir einen Eisenstab, eigentlich ein fest geschnürtes Bündel von Eisendrähten in eine Spule mit ca. 300 Windungen eines dicken Drahtes (Fig. 1) stecken. Durch diese Spule schicken wir unsern Wechselstrom. Damit aber der Strom für unsere Leitungen nicht zu stark werde, lassen wir ihn erst durch einen Widerstand fließen. Ein solcher Widerstand ist nichts anderes als ein Rahmen, auf dem sich sehr viel Draht befindet. Der Draht ist in Spiralenform gewickelt, um Raum zu sparen, und als Material ist eine Nickellegierung gewählt, die dem Strome viel größeren Widerstand bietet als Kupfer; durch eine Kurbel bin ich in der Lage, mehr oder weniger von dieser Drahtlänge in den Weg des Stromes zu schalten. Sobald wir nun den Stromkreis schließen, fließt Wechselstrom durch unsere Spule, und der Eisenkern wird wechselnd magnetisiert. Wir hören dies auch sofort; ein lautes, tiefes Brummen macht sich vernehmlich, umso lauter, je stärker

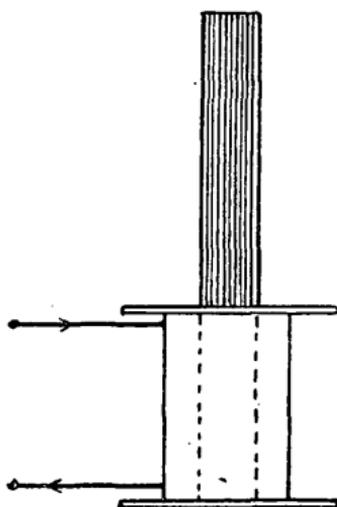


Fig. 1.

der Strom ist. Wir erkennen sofort aus den Gesetzen der Akustik, dass es sich hier um periodische Vorgänge handeln muss, denn nur solche erzeugen Luftschwingungen, die wir akustisch als Ton wahrnehmen. Dieser kommt in folgender Weise zustande. Eine jede stromdurchflossene Spule sucht einen in sie ragenden Eisenkern hineinzuziehen. Hier steht Spule und Kern auf dem Tische; der Kern wird also jedesmal, wenn ein starker Strom durch die Spule fließt, auf den Tisch stoßen; ist der Strom schwach oder gar Null, so hört der Druck des Kernes auf den Tisch auf. Da der Strom in jeder Secunde 83 mal Null und ebenso oft ein Maximum, abwechselnd positiv und negativ wird, so stößt der Kern ebenso oft kräftig auf den Tisch. Das hören wir als lauten Ton. Heben wir Spule und Kern vom Tische auf, so verschwindet der laute Ton, wir hören einen anderen, weniger lauten, mehr metallenen Ton derselben Höhe. Der rührt von den Eisendrähten, aus denen der Stab besteht, her, die magnetisiert einander abstoßen und die Umschnürung spannen, sobald sie aber wieder unmagnetisch sind, von dieser wieder zusammengepresst werden. Dass der Eisenstab wechselnde Magnetpole besitzt, also oben bald Nordpol, bald Südpol, lässt sich durch folgendes Experiment erkennen. Ich habe mein Taschenmesser an den kräftigen Magnetpolen einer Gleichstrommaschine magnetisiert; die Spitze der großen Klinge ist nordmagnetisch. Stecke ich sie in eine Schachtel mit Schreibfedern, so bleiben einige daran hängen. Nun halte ich das Messer über unseren Wechselstrommagneten. Ich

spüre, wie es zittert. Langsam entferne ich es vom Stabe in gerader Richtung, es auf diese Weise mehr und mehr der Wirkungssphäre des wechselnden Magnetismus entziehend. Wenn ich das Messer jetzt den Federn nähere, erkenne ich, dass es vollkommen unmagnetisch geworden ist. Das ist leicht erklärlich. Das Messer war der Einwirkung eines kräftigen Wechselmagnetpols ausgesetzt, wurde von diesem hin und her magnetisiert, beim Ent-

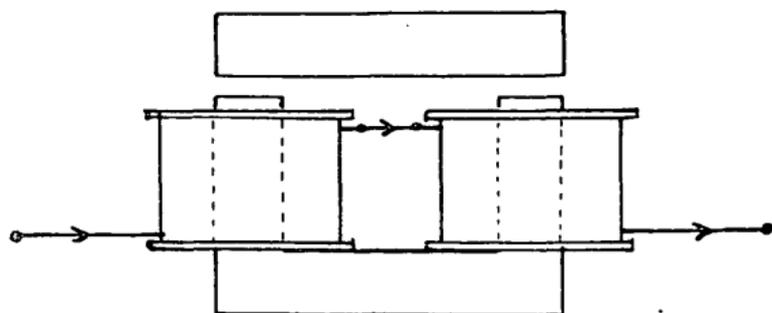


Fig. 2.

fernen immer schwächer und schwächer, sodass nichts zurückgeblieben ist. Das gibt dem Elektrotechniker ein einfaches Hilfsmittel, unbequemen Magnetismus zu entfernen, z. B. aus Taschenuhren, die ja nur zu leicht unter dem Einflusse starker Gleichstrommagnete, mit denen er oft zu thun hat, magnetisiert und dadurch unrichtig werden.

Dass ein solcher Wechselstrommagnet äußerst kräftig gemacht werden kann, sehen wir an folgendem Experimente. Ich habe hier ein schweres Eisenstück in der Form eines starken Rahmens, von dem ich eine Seite abheben kann (Fig. 2). Ich stecke über zwei Seiten dieses Rahmens

Spulen mit vielen Windungen und lege die abhebbare Seite, den Anker, darauf. Schicke ich Wechselstrom durch die Spulen, so wird so starker Magnetismus erzeugt, dass ich das ganze schwere System an dem Anker aufheben kann; ja ich bin mit dem Aufgebot meiner ganzen Kraft nicht imstande, den Anker von dem übrigen Eisen loszureißen.

Wir haben schon früher davon gesprochen, dass in einer Drahtwindung durch Induction eine Elektrizitätsbewegung entstehen wird, wenn wir sie einem Magnetpole nähern oder von demselben entfernen. Greifen wir wieder zu unserem sinnlichen Bilde der Kraft, zu den Kraftlinien, so sehen wir aus dem Pole strahlenförmig Kraftlinien austreten. Ist unsere Windung weit weg vom Pole, so wird sie von keiner oder sehr wenigen Kraftlinien getroffen, es gehen wenige durch dieselbe hindurch; steht die Windung vor dem Pole selbst, so gehen viele Kraftlinien hindurch. Beim Nähern wächst also die Kraftlinienzahl, beim Entfernen nimmt sie ab. Unser Gesetz, dass beim Nähern oder Entfernen der Windung eine Induction entsteht, einmal in dem einen, das anderemal in dem anderen Sinne, können wir auch in die Form bringen: in der Windung tritt eine Induction, eine elektromotorische Kraft auf, sobald sich die Kraftlinienzahl, welche die Windung durchsetzt, ändert, bei Vergrößerung dieser Zahl in dem einen Sinne, bei Verkleinerung in dem anderen Sinne. Diese Änderung können wir aber auch in anderer Weise erhalten. Wir stellen eine Windung einem unmagnetischen Eisenkern, der eine Drahtwicklung trägt,

gegenüber; durch die Windung gehen keine Kraftlinien. Sobald wir aber das Eisen magnetisieren, indem wir Strom durch die Wicklung um den Eisenkern senden, wird er Kraftlinien aussenden, welche die Windung treffen, die Windung wird eine Induction erfahren. Machen wir das Eisen wieder unmagnetisch oder schwächer magnetisch, so verschwinden wieder Kraftlinien, in der Windung wird abermals eine Induction, jetzt aber entgegengesetzt, auftreten. Es ist genau derselbe Fall wie beim Nähern und Entfernen. Ob ich meinen Finger einem heißen Metallstabe nähere, oder ob ich den Finger ruhig in der Nähe des Stabes halte, der erst kalt ist und allmählich erwärmt wird, bleibt sich bezüglich der Wirkung gleich. Ich werde in beiden Fällen die Temperaturzunahme fühlen. Die Windung kommt in ein verändertes Magnetfeld und reagiert darauf mit Induction, gleichgiltig, wie die Änderung des Feldes zustande gekommen ist. Für diese Art von Induction oder Stromerzeugung in der Windung müssen wir, wie wir gesehen haben, schon einen Strom gegeben haben, denjenigen für die Magnetisierungswicklung am Eisenkern. Wir nennen diesen den primären, den inducierten den secundären Strom. Wieder muss aber bei all diesen Vorgängen das Gesetz von der Erhaltung der Arbeit erfüllt sein. Durch die Zunahme der Kraftlinien wird in der secundären Windung Strom induciert; nach dem Lenz'schen Gesetze ist es nothwendig, dass dieser secundäre Strom sich der Inductionsursache widersetzt, dass er die Zunahme der Kraftlinien aufzuhalten oder aufzuheben strebt, dass er

also den wachsenden Kraftlinien andere entgegenschickt, entgegengesetzte erzeugt. Um die Kraftlinienvermehrung doch zustande zu bringen, wird es primär einer größeren Stromerhöhung, somit einer größeren Arbeit bedürfen, wegen des magnetischen Gegendruckes, könnten wir sagen. Die Energie, die secundär gewonnen wurde, wurde primär vorausgibt. Wir haben wieder bar gezahlt. Dieses Phänomen können wir auf den Fall des Wechselstromes übertragen. Wir nehmen wieder das Eisendrahtbündel von unserem ersten Versuche her, stecken es in die Spule und schicken Wechselstrom durch die Windungen derselben. Der Kern singt, es entstehen in ihm wieder die wechselnden Kraftlinien. Sie wachsen und nehmen ab, bald in der einen, bald in der anderen Richtung in fortwährendem Wechsel. Wenn ich hier eine geschlossene Windung, z. B. diesen starken Kupferring, über diesen Eisenstab stecke, was wird geschehen? Das fortwährende Anwachsen und Abnehmen der Kraftlinien wird in dem Ringe eine Induction hervorrufen, und da der Stromkreis geschlossen ist, wird in dem Ringe ein secundärer Strom, und zwar wegen des kleinen Widerstandes ein ziemlich starker Strom entstehen. Selbstverständlich ist der secundäre Strom auch ein Wechselstrom. Nach unserer früheren Erkenntnis wissen wir, dass der secundäre Strom in jedem Momente dem primären entgegenarbeiten muss, er wird in jedem Momente entgegengesetzte Richtung haben wie der primäre. Da sich aber nach den Sätzen der Elektrizitätslehre gleich gerichtete Ströme anziehen, entgegengesetzte abstoßen, so wird hier zwischen der pri-

mären Spule und dem secundären, dicken Kupferringe eine abstoßende Kraft auftreten. Wie bedeutend diese werden kann, sehen Sie an folgendem Experimente. Ich schalte den Wechselstrom aus, lege den Ring über den Eisenstab auf die obere Platte der Spule, in welcher der Eisenkern steckt. Schließe ich den Strom plötzlich, so sehen Sie, wie der Ring mit großer Kraft von der Spule abgestoßen wird und ca. $1\frac{1}{2}$ m in die Höhe springt. (Demonstration.) Diese Abstoßung wird nach ihrem Entdecker die Thomson'sche Repulsion genannt; sie wird auch zu größeren continuierlichen Arbeitsleistungen herangezogen in den sogenannten Repulsionsmotoren. Lasse ich den Strom geschlossen, so muss ich Kraft aufwenden, um den Kupferring über den Eisenstab herunterzudrücken. Ich thue dies und halte den Ring eine Weile in dieser Lage. Es fließt in ihm fortwährend Strom. Jeder Leiter wird aber durch hindurchfließenden Strom erwärmt, und zwar umso mehr, je größer der Strom ist. Hier fließt ziemlich starker Strom. Der Ring wird bald so heiß, dass ich eine Zange nehmen muss, um ihn zu halten. Um die Erwärmung nachzuweisen, brauche ich bloß ein Zündhölzchen anzuhalten; Sie sehen, es flammt sofort auf. Ich nehme nun zwei solche Kupferringe. Ich lege den einen über den Eisenstab, der von unserem Wechselstromemagnetisiert wird. Den Strom nehme ich jetzt etwas schwächer, damit der Ring nicht zu hoch gehoben wird. Sie bemerken, er schwebt frei ungefähr in der Mitte des Stabes. In ihm fließt Wechselstrom, der in jedem Momente entgegengesetzt ist dem Strome der magnetisierenden Spule, wir

sagen: entgegengesetzter Wechselstrom. Nun halte ich den zweiten Ring auch über den Stab in der Nähe seines oberen Endes. Auch in diesem Ringe wird Wechselstrom induciert und natürlich wieder entgegengesetzt dem Spulenstrome, der die Kraftlinien erzeugt, somit gleichgerichtet mit dem Strome in dem schwebenden Ringe. Gleichgerichtete Ströme ziehen sich an, wissen wir aus der allgemeinen Elektrizitätslehre. Wenn auch die Ströme in den beiden Ringen Wechselströme sind, so sind sie doch gegeneinander in jedem Momente von gleicher Richtung. Sie ziehen sich also in jedem Momente an, mit verschiedener Kraft zwar immer, aber als Resultat muss doch eine Anziehung erscheinen. Das Experiment wird unsere Überlegung bestätigen. (Demonstration.) Sie sehen, der schwebende Ring hebt sich zum oberen Ringe, den ich festhalte, hinauf.

Wir haben aus all diesen Experimenten erkannt, dass periodisch variierende Kraftlinien in allen Windungen, welche von ihnen durchsetzt werden, Wechselströme inducieren, die der Variation entgegenarbeiten. Sind die Kraftlinien, wie es bei uns der Fall war, selbst von einem Wechselstrom erzeugt, so muss der inducierte Strom die entgegengesetzte Richtung von dem erzeugenden haben. Von diesem Schicksale werden alle Windungen getroffen, welche die Kraftlinien umgeben. Dabei ist es gleichgiltig, ob die Windung aus Kupfer, Eisen oder einem anderen Leiter besteht. Nur für die Stärke des entstehenden Stromes wird Dimension und Material der Windung maßgebend sein. Nun nehmen wir an, wir

hätten an Stelle des Eisendrahtbündels massives Eisen verwendet und dieses wechselnd magnetisiert. Dann können wir uns den Querschnitt in lauter concentrische leitende Ringe zertheilt denken. Jeder der Ringe umschließt die im Innern entstehenden wechselnden Kraftlinien, erfährt also eine Induction. Das hätte zur Folge, dass erstens in dem Eisen Ströme entstehen, die ich nicht nützen kann, und dass zweitens jeder solcher Ring die ihn durchsetzenden Kraftlinien zu erdrosseln strebt. Um diese unerwünschten Secundärströme zu vermeiden, zerschneidet man das Eisen und gibt Nichtleiter dazwischen. Alle Eisenkerne für Wechselstromapparate sind aus diesem Grunde aus Drähten oder häufiger noch aus Blechen zusammengesetzt, zwischen welchen sich Nichtleiter befinden, wie Papier oder Schellack. Unser Stab besteht aus schellackierten Drähten, unser Rahmen aus Blechen mit Papierzwischenlagen.

Die Windungen der Spule, durch die wir den Wechselstrom schicken, die primären Windungen, umschließen aber auch die Kraftlinien. Es müssen also auch in ihnen diese Inductionen stattfinden. Dass sie gleichzeitig den Strom führen, welcher die Kraftlinien erzeugt, kann für die Kraftlinien nicht Ursache bilden, auf sie keine Induction auszuüben. Diese Induction wird wieder entgegengesetzt dem primären Ströme sein. Es werden also in den Windungen der Spule gewissermaßen zwei Ströme fließen, ein primärer und ein von den Kraftlinien erzeugter secundärer, welcher dem primären entgegenwirkt. In der That fließt natürlich nur ein Strom, welcher

eben aus dieser Zusammenwirkung oder, besser gesagt, Gegenwirkung resultiert. Ganz aufgehoben kann der primäre Strom nicht werden, da ja sonst keine Kraftlinien entstehen würden, die wieder Vorbedingung des secundären Stromes sind. Das Resultat aber ist, dass der primäre Strom geschwächt wird. An den Klemmen hier unter dem Tische, aus welchen ich den Wechselstrom entnehme, herrscht eine gewisse Spannung, ein elektrischer Druck. Sobald ich einen Stromkreis aus Leitern an diese Klemmen schalte, wird durch denselben Strom gepresst. Ich stelle einen solchen Stromkreis her, bestehend aus einem Widerstande zur Regulierung und aus dem Drahte der Spule. Denken wir uns diesen Draht abgewickelt und ausgespannt, so wird entsprechend der Größe der Spannung und der Größe des Widerstandes ein Strom entstehen und, da wir hier eine Wechselspannung haben, ein Wechselstrom. Lassen wir die Schaltungen des Stromkreises ungeändert, aber nehmen wir den ausgespannten Spulendraht und schlingen ihn wieder in Windungen um den Eisenstab, so wird der Strom geschwächt werden, denn es tritt Gegeninduction auf. Das können wir nun in zweierlei Weise ausdrücken. Der Stromkreis hat jetzt, scheint es, durch die variierenden Kraftlinien einen größeren Widerstand bekommen; der Elektrotechniker spricht dann auch von dem scheinbaren Widerstande; der ist größer als der wirkliche. Das ist aber nur eine abgekürzte Ausdrucksweise. In der That verhält sich die Sache so. Die Wechselstromspannung, der wechselnde elektrische Druck hier an den

Klemmen, schickt Strom durch die Windungen, dadurch entsteht aber sofort unter dem Einflusse der Kraftlinien Induction, Gegendruck. Die Spannung kann jetzt nicht mehr den vollen Strom erzeugen, da in dem Kreise ein Gegendruck herrscht; sie wird zum Theile durch diesen compensiert, und die Differenz beider ist eigentlich der stromtreibende Druck. Diese Gegeninduction, diesen Gegendruck, den sich der Strom selbst schafft, indem er Kraftlinien erzeugt, nennt man die Selbstinduction. Alles das wollen wir experimentell nachweisen. Zu diesem Zwecke nehmen wir wieder den eisernen rechteckigen Rahmen her, dessen obere Seite abhebbar ist, und auf dessen verticalen Seiten zwei Spulen mit vielen Windungen aufgesteckt sind. Diese Spulen nehmen wir herunter vom Eisen und schalten sie in den Stromkreis einer Glühlampe in folgender Weise: Von einer Klemme unserer Spannung führe ich einen Draht zu einer Spule, diese verbinde ich mit der zweiten Spule, diese mit einem Drahte der Glühlampe, und von dem zweiten Draht derselben führe ich eine Verbindung zur zweiten Spannungsklemme. Der Wechselstrom wird also hintereinander die beiden Spulen und die Glühlampe durchfließen. Die Glühlampe ist für 100 Volt bestimmt, 100 Volt habe ich als Spannung zur Verfügung. Die beiden Spulen sind zwar der Glühlampe vorgeschaltet, aber ihr Widerstand ist nicht groß, die Lampe wird ziemlich normal brennen. Die Spulen erzeugen zwar jetzt auch Kraftlinien, aber sie umschließen nur Luft; diese ist zwar auch magnetisierbar, aber nur in weit geringerem Maße als Eisen;

die Wirkung dieser Kraftlinien ist daher sehr gering. Anders wird es aber, wenn die Spulen Eisen umschließen. Ich mache diesen Versuch. Ich nehme die beiden Spulen und stecke sie langsam über die beiden verticalen Seiten des Eisenrahmens. Sie hören die Eisenbleche, aus denen der Rahmen gebildet ist, tönen, umso stärker, je tiefer ich die Spulen senke, ein Beweis, dass wechselnde Kraftlinien erzeugt werden, aber Sie sehen zugleich, wie die Lampe weniger und weniger hell brennt. (Demonstration.) Jetzt stecken die beiden Spulen ganz darauf, die Lampe brennt schon sehr düster. Das beweist uns, dass der Strom schwächer geworden ist, er bringt den Lampenfaden nicht mehr zur vollen Glut. Der Widerstand des Kreises ist scheinbar erhöht worden. Oder wir können auch sagen, die Lampe bekommt jetzt nicht mehr eine Spannung von 100 Volt, wie sie sie braucht, sondern eine geringere Spannung; von den 100 Volt, die uns geliefert werden, compensiert die Spule einen großen Theil durch die Gegenwirkung der Selbstinduction. Legen wir gar noch die abhebbare vierte Seite des eisernen Rahmens darauf, sodass das ganze Rechteck geschlossen ist und die Kraftlinien in noch größerer Zahl entstehen können, so erlischt die Lampe vollends. Strom geht noch durch, wir hören das Eisen tönen, aber zu schwach, um in dem Faden auch nur dunkle Rothglut zu erzeugen.

Wir ziehen gleich Consequenzen aus diesem Phänomen der Selbstinduction. Um die elektrische Energie in einer Stadt zu vertheilen, verlegt man unterirdisch Leitungen. Diese müssen sorgfältig isoliert sein, damit

nicht der Strom in die Erde gehe, sondern nur dorthin, wo wir ihn brauchen und nutzen wollen. Wir umgeben also den Kupferleiter mit einem schlechten Leiter einer Isolationsmasse. Damit aber die Isolation durch eindringendes Wasser nicht etwa zerstört werde, umgeben wir sie mit einem ununterbrochenen Bleimantel. Noch ist aber das so gebildete Kabel nicht vor mechanischen Beschädigungen geschützt, die ja durch Niveausenkungen oder durch das Werkzeug eines Arbeiters bei den vielen Aufgrabungen, die in einer Stadt vorgenommen werden müssen, vorkommen können. Diesen Schutz bekommt das Kabel erst durch den Eisenpanzer. Das Kabel wird der ganzen Länge nach mit einem Eisenband umwickelt, und zwar meist zweimal, nach beiden Richtungen. So sieht das Gleichstromkabel aus. Würden wir aber durch ein solches Kabel Wechselstrom schicken, so würde derselbe das Eisen, das ihn umgibt, magnetisieren, und zwar wechselnd magnetisieren, es würden wechselnde Kraftlinien entstehen und das Phänomen der Selbstinduction auftreten. Das heißt, die in der Centrale wirkende Spannung würde der ganzen Länge des Kabels entlang Gegenspannungen finden; es treten bedeutende Spannungsverluste auf. Die entfernteren Punkte würden eine kleinere Spannung bekommen, umso kleiner, je entfernter sie sind, und je größer gerade der Strom ist, den das Kabel führt. Da wäre aber jede geregelte Vertheilung undenkbar. Aus diesem Grunde müssen die Wechselstrom-Gesellschaften, da sie den Eisenpanzer nicht entbehren können, eine Anordnung treffen, die Magnetisierung desselben zu ver-

hindern, und das geschieht dadurch, dass sie Hin- und Rückleitung in einem Kabel, beide von einander wohl isoliert, vereinen und beide Leitungen zusammen mit einem gemeinsamen Panzer umgeben. Da in den beiden Leitungen immer gleichzeitig entgegengesetzte Ströme fließen, so werden sie keine Magnetisierung auf das sie umgebende Eisen ausüben können. Eine beliebte Anordnung dieser Art ist das concentrische Kabel. Es besteht aus einem centralen Innenleiter, entweder aus einem Drahte oder bei größeren Querschnitten aus mehreren blanken, zusammengedrillten Kupferdrähten gebildet, um denselben Isolation, hierum ein Bleimantel, um diesen die Rückleitung, der sogenannte Außenleiter, aufgelöst in mehrere im Kreise angeordnete Kupferdrähte, concentrisch den Innenleiter umgebend, hierauf eine äußere Isolation, dann wieder Blei und jetzt erst die beiden Eisenpanzer. Ein Muster eines solchen Kabels aus dem Wiener Netze zeige ich Ihnen hier vor.

Und nun nehmen wir wieder unsere Spule mit dem langen Eisenstab her, die uns heute schon viele Dienste geleistet hat. Wir schicken wieder Wechselstrom durch die Spule, der Stab sendet wieder seine wechselnden Kraftlinien aus. Dieselben haben wir früher benützt, um den Kupferring springen zu lassen; jetzt wollen wir sie zu einer anderen Leistung heranziehen. Ich nehme eine kleine Spule mit mehreren Windungen eines isolierten Drahtes. Anfang und Ende des Drahtes habe ich hier in der Hand und kann damit schalten, wie ich will. Zunächst lege ich die Spule über den Eisenstab. Es zeigt sich

nichts, der Stromkreis der Spule ist ja noch offen; sowie ich aber Anfang und Ende der Spule in Berührung bringe, springt sie in die Höhe wie früher der Ring. Durch wiederholtes Schließen und Öffnen kann ich die Spule einen spassigen Tanz aufführen lassen. Wir wissen schon, es entstehen Inductionsströme in der Spule, Secundärströme. Sie sehen auch, so oft ich die sich berührenden Enden der Spule auseinander reiße, entsteht ein lebhafter Funken, was ja beim Unterbrechen eines Stromes immer auftritt. Wir wollen aber diese Secundärströme ernsthaft nutzen. Zu diesem Zwecke nehme ich die Secundärspule zunächst herunter und verbinde ihre Enden mit einer kleinen Glühlampe. Schiebe ich die Spule jetzt über den Eisenstab, über die wechselnden Kraftlinien könnten wir sagen, so bemerken Sie, wie die Glühlampe zu leuchten beginnt und umso heller leuchtet, je mehr von den Kraftlinien die Secundärspule umschließt. Dieser Versuch ist der wichtigste für die Erkenntnis der Bedeutung des Wechselstromes. Wir sehen, wie in der Spule, die ich hier frei halte, aus einem System, das mit der Spule gar keinen materiellen Zusammenhang hat, durch Vermittlung eines beiden gemeinschaftlichen Mediums, des Eisenkernes, elektrische Energie übertragen wird, und das ist das Fundamentalphänomen des Transformators. Nach diesem Principe findet die Vertheilung und Übertragung elektrischer Energie mittels Wechselstromes statt. Die Centrale oder Primärstation sendet dem Consumenten gar nicht den Strom selbst, den er für seine Beleuchtung etc. braucht. Die Centrale liefert nur Strom

bis zu einem Apparat, den wir Transformator nennen, und erzeugt dort Tag und Nacht wechselnde Kraftlinien. Der Strom des Consumenten entsteht erst in dem Transformator selbst. Der Transformator ist Stromerzeuger; wir können ihn vergleichen mit den stromliefernden Maschinen der Centrale, mit den Generatoren. In diesen wird der elektrische Strom dadurch erzeugt, dass wir durch ruhende Windungen Magnetismus wechselnd schicken, indem wir mit den Dampfmaschinen abwechselnd Süd- und Nordpole vorbeizwingen; im Transformator gewinnen wir den secundären elektrischen Strom auch dadurch, dass wir in den secundären Windungen den Magnetismus oder die magnetischen Kraftlinien wechseln lassen, nur wird das nicht durch eine mechanische Kraft besorgt, sondern durch den primären Strom. Natürlich kann dabei keine Energie gewonnen werden, wie auch bei der Dynamomaschine keine Energie gewonnen wird, sondern mechanisch aufgewendet werden muss, was elektrisch entnommen wird, ja sogar etwas mehr, weil durch Reibung und durch den fließenden Strom in der Maschine Wärme entsteht, also eine Energieform, die ich hier nicht brauchen kann, die mir sogar sehr unangenehm ist. So muss auch beim Transformator primär an elektrischer Energie etwas mehr zugeführt werden, als secundär entnommen wird; was ich erreiche ist nur, dass Energie aus einem Stromkreise in einen anderen übertragen wird, der mit dem ersteren in gar keinem leitenden Zusammenhange steht. Wo steckt da der Vortheil? werden Sie nun fragen. Um das klar zu machen, betrachten wir einmal

eine vollkommenerer derartige Einrichtung, als wir sie hier auf dem Tische sehen, einen wirklichen Transformator. Ein solcher besteht aus zwei Wicklungen von gewöhnlich sehr verschiedener Windungszahl, welche einen gemeinsamen, untertheilten Eisenkern umschließen und so disponiert sind, dass wirklich alle Kraftlinien der einen Wicklung die andere durchsetzen (Fig. 3). Nehmen wir an, die primäre Wicklung bestünde aus 500 Windungen, die secundäre aus 50. Und nun legen wir primär eine Wechselstromspannung an, z. B. 100 Volt. So wird primär Wechselstrom hineinfließen, dadurch werden Kraftlinien geweckt, dadurch die Gegeninduction erzeugt. Das Resultat wird sein, dass die gegebene Spannung weniger dem Gegendruck der Kraftlinien (der gegen elektromotorischen Kraft der Selbstinduction) der eigentliche stromtreibende Spannungsrest sein wird. Der wirkliche Widerstand der Wicklung ist klein, außerdem wird nur ein schwacher Strom wegen der vielen Kraftlinien, die entgegen wirken, entstehen können, es wird also der eigentliche den Strom durch die Wicklung trei-

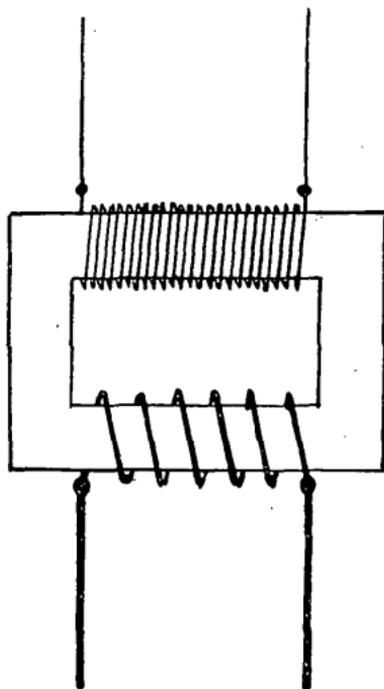


Fig. 3.

bende Theil der Spannung sehr klein sein, d. h. fast die ganzen 100 Volt werden durch Gegendruck der Kraftlinien compensiert. Halten wir also fest: die jetzt vorhandenen Kraftlinien oder der jetzt vorhandene wechselnde Magnetismus induciert in den 500 Windungen eine elektromotorische Kraft von beinahe 100 Volt, die primär als Gegendruck erscheint. Wenn aus irgend einem Grunde die Kraftlinienzahl, der wechselnde Magnetismus abnimmt, so wird sofort der Strom wachsen, weil ja der Gegendruck abnimmt, bis wieder die Kraftlinienzahl hergestellt ist, welche nahezu 100 Volt Gegendruck liefern. Nun haben wir aber noch 50 Windungen, die secundären, auf dem Eisenkerne; auch diese werden von den Kraftlinien durchsetzt; daher wird in jeder der Windungen eine elektromotorische Kraft entstehen, und zwar, da die Kraftlinien in solcher Stärke wechseln, dass sie in 500 Windungen ca. 100 Volt erzeugen, so werden sie in den 50 secundären Windungen 10 Volt inducieren. Wir erkennen daraus, dass die Spannungen, die primär aufgewendet werden, und die secundär erscheinen, sich wie die Windungszahlen verhalten. Nun schließen wir an die secundären Klemmen einen Stromkreis an und entnehmen Strom, z. B. 20 Ampère. Nach dem Gesetze der Induction haben wir erkannt, dass dieser Strom, natürlich ein Wechselstrom, in jedem Momente so fließen wird, dass er den Wechsel der Kraftlinien aufhalten will. Wie er das aber versucht, wird primär Strom nachfließen, um die Kraftlinien doch wieder zu erzeugen, da doch primär immer die 100 Volt drücken,

die durch Kraftlinien-Gegendruck compensiert werden müssen. Es werden also primär, außer dem kleinen Strome, der schon früher zur Erzeugung der Kraftlinien diente, dem Magnetisierungsstrome, wie man ihn nennt, noch soviel Ampère fließen müssen, dass sie die entmagnetisierende Wirkung des secundären Stromes aufheben. Da nun secundär 20 Ampère in 50 Windungen fließen, so werden in den 500 primären Windungen 2 Ampère zur Compensation genügen. Das Resultat ist also, dass primär 100 Volt wirken und wenig mehr als 2 Ampère in den Transformator fließen, secundär 10 Volt als Druck erscheinen und der entnommene Strom 20 Ampère beträgt. Die Energie wird aber gemessen durch das Product aus Spannung mal Strom, sowie eine hydrodynamische Leistung durch Gefälle mal secundlicher Wassermenge gemessen wird. Wir haben primär $ca. 100 \times 2$, secundär 10×20 Einheiten elektrischer Leistung oder Watt. Primär wird ein wenig mehr aufgewendet werden müssen, das ist der Verlust des Apparates. Die elektrische Energie wird auf der einen Seite hineingesteckt und erscheint auf der anderen Seite wieder, aber in anderer Form, und das nennen wir Transformation und den Apparat daher Transformator.

Soll eine Energie über große Distanzen übertragen werden, so ist zweierlei zu berücksichtigen. Für die Ökonomie wäre es am besten, die Energie in der Form hoher Spannung und geringer Stromstärke fortzuleiten, da dann nur dünne Leitungen nöthig sind; für die Sicherheit des Lebens und den Betrieb von Lampen ist

es unbedingt nothwendig, an der Consumstelle niedergespannten Strom zu haben. Mit Wechselstrom bin ich durch Anwendung des Transformators in der Lage, beiden Forderungen gerecht zu werden. So erzeugt z. B. in Wien die Internationale Elektrizitätsgesellschaft Strom von 2000 Volt; in den Transformatoren, die bei jedem einzelnen Consumenten oder bei Gruppen von solchen aufgestellt werden, wird der hochgespannte Strom in niedergespannten umgewandelt und somit ungefährlich gemacht. Die Energiezuführung reguliert sich, wie wir gesehen haben, je nach dem secundären Verbräuche von selbst.

Die Zeit ist bereits sehr vorgerückt. Ich will Ihnen nur noch einen kleinen Versuch zeigen. Hier habe ich einen solchen Transformator, zwar nicht einen Hochspannungstransformator, sondern einen, mit dem ich von 100 auf 2·5 Volt transformieren kann. Ich will zwei Eisenstäbe zusammenschweißen dadurch, dass ich sie miteinander in Berührung bringe und Strom hindurchschicke. Durch den Strom tritt Erwärmung ein, namentlich an der Berührungsstelle, sodass die Enden der Stäbe weißglühend werden. Dazu bedarf es keiner hohen Spannung, es genügen wenige Volt, aber viel Strom ist nothwendig, 200 Ampère. Soviel darf ich aus unserer Leitung nicht nehmen; da würde sie glühend werden und die Isolation zu brennen anfangen. Übrigens ist die Leitung gegen einen solchen Übergriff geschützt. Die Energie, die ich brauche, darf ich aber der Leitung entnehmen. Die geeignete Form gewinne ich durch Trans-

formation. Ich lege die 100 Volt primär an (360 Windungen) und erhalte secundär (9 Windungen) 2·5 Volt. Fließen dann secundär 200 Ampère, so werden primär ca. 5 Apère fließen. Diese werden in dünnen Drähten zugeführt, während der secundäre Strom so stark ist, dass die dicken Zuleitungsdrähte bereits heiß werden. Die Eisenstäbe sind an den Enden bereits weißglühend; ein wenig Borax als Schweißpulver darauf gestreut, die Endflächen aneinander gepresst, jetzt ausschalten — Sie sehen, aus den zwei Stäben ist einer geworden. (Demonstration.)

Mittels Hochspannung und Transformator sind wir in der Lage, Energie in ökonomischer Weise über große Distanzen zu jeder Art von Verwendung zu übertragen. Eines der glänzendsten Beispiele hiefür war die Kraftübertragung Lauffen—Frankfurt a. M., wobei 300 Pferdestärken über 175 *km* mittels Wechselstrom, allerdings nicht mittels einfachem, sondern einer Combination von Wechselströmen übertragen wurden. Wir sind durch den Transformator in die Lage gesetzt, die Energie entlegener Naturkräfte der Cultur und den Industriezentren nutzbar zuzubringen, und wenn wir hören, dass heute bereits mehr als 200.000 Pferdestärken aus dem Niagarafalle gewonnen und zum großen Theile über 40 *km* weiter geleitet werden, so wird uns dies nicht mehr unglaublich scheinen, sondern wir werden das Gefühl haben, das ist erst der Anfang.

ZOBODAT - 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: 1900

Band/Volume: [40](#)

Autor(en)/Author(s): Reithoffer Max

Artikel/Article: [Der Wechselstrom. 197-231](#)