Über die Grundwirkungen
elektrischer Ströme.

Von

Dr. Johann Sahulka.

Vortrag, gehalten den 14. Dezember 1904.

(Mit Experimenten.)

Der Vortragende bemerkt, daß er einige Versuche über die Grundwirkungen elektrischer Ströme zeigen wolle, die zum Teile von ihm ausgeführte neue Vorlesungsversuche sind (im folgenden mit einem Sternchen bezeichnet), zum Teile bekannte Versuche, welche aber mit Rücksicht auf die im Elektrotechnischen Institute zur Verfügung stehenden starken Ströme effektiv ausführbar sind.

Wärme- und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes. Joulesches Gesetz: Jeder Leiter wird beim Durchgange eines Stromes erwärmt; die erzeugte Wärmemenge ist dem Quadrate der Stromstärke und einer von der Beschaffenheit des Leiters abhängigen Größe, d. i. dem Widerstande des Leiters, proportional.

1. Versuch. Eine Kette besteht aus 10 *cm* langen Gliedern von gleich dickem Kupfer- und Platindraht, nur die beiden äußeren Stücke Platindrahtes sind etwas stärker dimensioniert. Bei Stromdurchgang erwärmt sich die Kette, der Durchhang vergrößert sich; bei gesteigerter Stromstärke glühen die Platinstücke mit Ausnahme der äußeren beiden Stücke; bei weiterer Stromverstärkung glühen diese schwach, die anderen Platin-

stücke sind weißglühend, die Kupferstücke glühen nicht. Auf derselben Wirkung beruhen die elektrischen Glühlampen.

2. Versuch. Zwei Kohlenstäbe werden zur Berührung gebracht und Strom durch dieselben geschickt; die Berührungsstelle der Kohlen erhitzt sich stark wegen des großen Übergangswiderstandes. Trennt man die Kohlen auf geringe Entfernung, so bleibt, wenn der elektrische Strom eine hinreichend hohe Spannung hat, zwischen den Kohlen dauernd ein hell leuchtender Funke stehen, der elektrische Lichtbogen.

Magnetische Wirkungen des Stromes. In der Umgebung eines jeden Magneten und eines elektrischen Stromes erleidet der Raum (der Äther) eine Zustandsänderung, was an dem Verhalten von Eisenfeilspänen ersehen werden kann, die sich in der Richtung der sogenannten magnetischen Kraftlinien gruppieren.

3. Versuch. Kraftlinienbilder eines geraden Magneten, eines Hufeisenmagneten, eines geraden und eines kreisförmigen Stromleiters, ferner einer von Strom durchflossenen Spirale, d. i. eines Solenoides. Bei den Magneten gehen die Kraftlinien vom Nordpol zum Südpol, welche Richtung man als positive Richtung der Kraftlinien ansieht, und setzen sich auch im Inneren des Magneten vom Südpol zum Nordpol fort, so daß sie geschlossene Linien bilden. Jeder Raum, innerhalb dessen magnetische Kraftlinien vorhanden sind, heißt ein magnetisches Feld; innerhalb eines solchen wird jeder hineingebrachte Magnetpol in der Richtung der Kraftlinien

getrieben. Innerhalb verschiedener Felder oder an verschiedenen Stellen eines Feldes wird derselbe Pol mit verschiedener Kraft getrieben; man schreibt daher jeder Stelle eine bestimmte Feldstärke zu. Ein Magnetpol wird als Pol von der Stärke 1 angesehen, wenn er auf einen gleich starken Pol in der Distanz 1 *cm* mit der absoluten Kraftereinheit, d. i. mit der Kraft 1 Dyn, welche gleich $\frac{1}{981} g$ ist, einwirkt. Bringt man einen Pol von der Stärke 1 in ein magnetisches Feld so wird er mit einer Kraft getrieben, welche in Dyn ausdrückbar ist; diese Zahl gilt als Maß für die Feldstärke. Bei der bildlichen Darstellung eines magnetischen Feldes zeichnet man nicht von jedem Punkte des Raumes ausgehend Kraftlinien, sondern legt an der betrachteten Stelle des Feldes senkrecht zu den Kraftlinien eine Fläche von 1 *cm*² und läßt von dieser Fläche in gleichförmiger Verteilung nur so viele Kraftlinien ausgehen, als die Feldstärke Einheiten hat. Ein homogenes Feld ist jenes, welches an allen Stellen die gleiche Stärke hat, z. B. das Feld, welches dem Erdmagnetismus in einem nicht ausgedehnten Bereiche entspricht.

Das Feld, welches einem geraden Stromleiter entspricht, besteht aus kreisförmigen, den Stromleiter umschließenden Kraftlinien, deren Mittelpunkte auf dem Stromleiter liegen. Die Richtung der Kraftlinien ergibt sich nach der Maxwellschen Bohrerregel. Man denke sich einen Bohrer in der Richtung des positiven Stromes gehalten und so gedreht, daß die Spitze in der Stromrichtung fortschreitet; die Drehungsrichtung des Bohrers

stimmt mit der Richtung der Kraftlinien überein. Das einem stromdurchflossenen Solenoid entsprechende Feld stimmt vollkommen mit dem Felde eines geraden Magneten überein. Denkt man sich in der positiven Stromrichtung eine Figur (Ampèrescher Schwimmer) schwimmend, welche das Gesicht dem Inneren des Solenoides zuwendet, so entsteht auf der Seite der linken Hand der Figur der Nordpol, auf der entgegengesetzten Seite der Südpol des Solenoides. Ist die Stromstärke in einem Stromleiter sehr groß, so ist auch die Stärke des den Leiter umgebenden Feldes bedeutend.

4. Versuch. Durch ein dickes flexibles Kabel wird ein sehr starker Strom von etwa 4000 Ampères geschickt. Taucht man das Kabel in einen mit Nägeln gefüllten Behälter, so ordnen sich alle Nägel rings um das Kabel entsprechend dem Verlaufe der Kraftlinien des sehr starken Feldes; beim Unterbrechen des Stromes fallen die Nägel ab.

Wird in das Innere eines Solenoides ein Eisenkern gebracht, so wird derselbe sehr stark magnetisch. Der Nordpol dieses Elektromagneten entsteht auf derselben Seite wie der Nordpol des Solenoides. Der Eisenkörper kann auch eine geschlossene Form, z. B. Ringform haben; dann wird derselbe besonders stark magnetisch, jedoch treten keine Kraftlinien aus dem Ringe aus. Derselbe ist ein polloser Elektromagnet; die Kraftlinien bestehen aus geschlossenen, im Ringe verlaufenden kreisförmigen Linien. Die Elektromagnete äußern viel stärkere magnetische Wirkungen als die Stahlmagnete (Dauermagnete).

Daher ist auch die Tragkraft der Elektromagnete eine sehr bedeutende; dieselbe kann bis zu 20 *kg* pro 1 *cm*² der Polfläche gesteigert werden. Die Anziehung ist durch Ätherdruck bewirkt.

5. Versuch. Ein Eisenkern von 25 *cm* Höhe und 8 *cm* Durchm. ist innerhalb einer Spule von zirka halb so großer Höhe angeordnet. Wird durch die Spule ein Strom gesendet, so wird der Eisenkern so stark magnetisch, daß Schlüssel, welche man in der Nähe fallen läßt, zum Kerne hinfliegen und daran mit großer Kraft haften.

6. Versuch. Ein kleiner hufeisenförmiger Magnet von 2 *cm*² Polfläche wird durch einen Strom erregt; derselbe trägt ein Gewicht von 25 *kg*, welches man eventuell bis 80 *kg* vergrößern könnte.

Wechselwirkung zwischen Strömen und Magneten und zwischen Strömen untereinander. Da sowohl ein stromdurchflossener Leiter als ein Magnet von einem magnetischen Felde umgeben sind, kommt durch wechselseitige Einwirkung der Felder eine Kraftwirkung zustande. Das Ampèresche Gesetz lautet: Denkt man sich in der Richtung des positiven Stromes den Ampèreschen Schwimmer mit dem Gesichte gegen den Nordpol schauend, so wird der Nordpol nach Seite der linken Hand, der Strom nach Seite der rechten Hand des Schwimmers getrieben; ist der Pol ein Südpol, so haben die Kräfte die entgegengesetzte Richtung. Diese Regel läßt sich verallgemeinern: Wenn ein Stromleiter in irgend einem magnetischen Felde sich befindet, so möge der Schwimmer in solcher Lage gedacht werden, daß er in der

Richtung des positiven Stromes schwimmt und gegen die positive Richtung der Kraftlinien blickt; der Stromleiter wird nach der Seite der rechten Hand des Schwimmers abgelenkt, ein das Feld verursachender Nordpol nach der Seite der linken Hand. Wenn zwei Leiter von Strömen durchflossen sind, so wirken sie unter Vermittlung der sie umgebenden magnetischen Felder ebenfalls aufeinander. Parallele gleichgerichtete Ströme ziehen sich an, entgegengesetzt gerichtete stoßen sich ab.

7. Versuch. Aus einem zirka 40 m langen biegsamen dünnen Draht ist eine Schleife von 10 Windungen gebildet und frei aufgehängt. Schickt man in dieselbe einen Strom, so bläht sie sich auf, weil in den beiden Seiten der Schleife der Strom in entgegengesetzter Richtung fließt. Der Strom darf nur momentan in die Schleife geschickt werden, da sonst der dünne Draht glühend würde. Der Versuch kann auch mit Wechselstrom gemacht werden, d. i. mit einem Strome, welcher sehr oft, z. B. in einer Sekunde hundertmal seine Richtung wechselt; die Schleife bläht sich wieder auf, weil in jedem Augenblicke der Strom in den beiden Seiten der Schleife in entgegengesetzter Richtung fließt.

8. Versuch.*) Ein aus einem 1 mm starken Kupferdraht gebildetes Solenoid von zirka 1 dm Durchmesser ist auf einem durchgesteckten horizontal liegenden Glasstabe gelagert, die Enden des Solenoides sind mit flexiblen Stromzuleitungen versehen. Schickt man einen Strom durch das mehrere Dezimeter lange Solenoid, so gehen die Windungen ganz zusammen, weil in den einzelnen

Windungen der Strom in paralleler und gleicher Richtung fließt. Bei Unterbrechung des Stromes schnellen die Windungen infolge der Elastizität des Drahtes auseinander. Der Versuch kann auch mit Wechselstrom gemacht werden; in zusammengezogenem Zustande vibriert das Solenoid und gibt einen der Zahl der Stromwechsel des Stromes entsprechenden Ton, da die anziehende Kraft der Windungen entsprechend der Stromstärke in jeder Sekunde hundertmal von Null bis zu einem maximalen Werte wächst und dann wieder abnimmt.

9. Versuch.*) Zwischen den Polen eines mit Gleichstrom erregten Hufeisenmagneten (Magnet vom diamagnetischen Apparat) ist horizontal ein 1.8 m langer, 1 mm starker Platindraht ausgespannt. Durch den Platindraht wird ein Gleichstrom von solcher Stärke geschickt, daß er glüht und daher weithin sichtbar ist. Wechselt man die Stromrichtung in dem Platindraht, so wird derselbe abwechselnd stark nach oben, beziehungsweise unten gebogen, was aus der Wechselwirkung zwischen Magnet und Stromleiter erklärlich ist. Sendet man in den Platindraht einen Wechselstrom, welcher in der Sekunde hundertmal die Richtung wechselt, so sucht er sich an der Stelle zwischen den Polen ebenso oft nach oben, beziehungsweise unten zu biegen und kommt dadurch in Schwingungen wie eine Saite. Bei entsprechender Spannung teilt sich der Draht in eine Anzahl, z. B. 8 schwingende Teile, welche durch Knoten getrennt sind. Die Schwingungsweite bei den Bäuchen beträgt zirka 2 cm .

An den Knoten glüht der Draht sehr hell, an den Bäumen kühlt er infolge der heftigen Bewegung aus.

10. Versuch. Die bei dem Versuche 5 verwendete Spule wird hoch gestellt, der zirka 10 *kg* schwere Eisenkern ragt nur von unten etwas in die Spule hinein. Bei Stromdurchgang durch die Spule wird der Kern in die Spule gezogen und schwebt frei. Hebt man den Kern empor, so nimmt er die Spule mit. Auf der Anziehung eines Kernes durch ein Solenoid beruhen die elektrischen Gesteinsbohrer, ein System elektrischer Bremsen, wobei der Kern unter Vermittlung einer Kette die Bremsbacken anzieht, und viele elektrische Regulierapparate. Die elektrische Kanone von Birkeland besteht aus einer Reihe von Solenoiden, die unter Vermittlung des den Kern bildenden Geschosses sukzessive Strom erhalten und dadurch dem Geschosse eine stetig steigende Geschwindigkeit verleihen. Gibt man in die Spule anstatt des schweren Kernes ein Bündel von in der Mitte zusammengebundenen Eisendrähten, so schnellen dieselben auseinander und ordnen sich in Form eines Doppelkegels an, weil die einzelnen Drähte an den gleichen Enden gleichnamig magnetisch werden und sich daher abstoßen.

11. Versuch.*) Der beim Versuche 5 verwendete Elektromagnet wird erregt und auf den Eisenkern noch ein Rohr aus Pappe aufgesetzt, welches einer aus etwa 200 Windungen 1 *mm* dicken Drahtes bestehenden Spule zur Führung dienen soll. Schickt man durch diese Spule einen Gleichstrom, so wird die Spule je nach der Stromrichtung von dem Elektromagneten und seiner Erreger-

spule entweder sehr kräftig angezogen oder abgestoßen, so daß sie über dem Kerne schwebt. Anstatt dieser Spule von 200 Windungen kann man in gleicher Weise die Schleife eines sehr dicken Kabels, durch welches man einen Strom von zirka 400 Ampères schickt, benützen. Da für letzteren Strom bei der gewählten Versuchsanordnung kein Kommutator vorgesehen ist, hat man den Erregerstrom des Elektromagneten zu kommentieren.

12. Versuch.*) Ober den Kern des beim Versuche 5 verwendeten Elektromagneten wird in geringer Entfernung horizontal ein zweiter gerader oder bogenförmig gekrümmter Eisenkern gelegt; dieser ist mit einigem Spielraume von einer Spule umgeben, welche pendelnd aufgehängt ist. Schickt man in diese Spule einen Gleichstrom, so wird sie infolge der Wechselwirkung mit dem Elektromagneten in die eine Grenzlage getrieben, welche sie mit Rücksicht auf ihre Aufhängung seitlich vom Magneten einnehmen kann. Wenn man den Strom in der Spule kommentiert, so bewegt sie sich rasch zum Kern und über diesen hinweg in die Grenzlage auf der anderen Seite. Auf diesem Prinzipie beruhen die Elektromotoren mit Grammeschem Ring. Der Elektromagnet ist zu ersetzen durch einen Feldmagneten mit radialen Polen *N, S, N, S*, die bewegliche Spule durch eine Reihe von Spulen, welche auf einen aus Eisenblechen zusammengesetzten Ring aufgewickelt sind, der um eine Achse drehbar ist. Die Grenzlagen für die einzelnen Spulen sind die Zwischenstellungen zwischen den Polen. Mittels einer

besonderen Vorrichtung, des Kollektors, wird der Strom in den beweglichen Spulen gewechselt, wenn sie eine Grenzlage erreichen; sie bewegen sich dann kontinuierlich von einer Grenzlage zur folgenden Grenzlage bei den Polen vorbei und nehmen den Eisenring, auf welchen sie aufgewickelt sind, mit.

Induktion. Wird ein Leiter in einem magnetischen Felde bewegt, so wird in ihm eine elektromotorische Kraft induziert; ist der Leiter selbst geschlossen oder mit einem äußeren Kreise zu einem geschlossenen Stromkreise verbunden, so entsteht in diesem ein Strom, welcher aber nur so lange andauert, als eine elektromotorische Kraft induziert wird. Wird ein einfacher Leiter im magnetischen Felde bewegt, so ist die induzierte elektromotorische Kraft meßbar durch die Zahl der in der Zeiteinheit (Sekunde) von dem Leiter geschnittenen magnetischen Kraftlinien. Die Richtung der induzierten elektromotorischen Kraft ergibt sich aus der Flemingschen Dreifingerregel. Man halte Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger der rechten Hand in Richtung der drei Achsen eines räumlich rechtwinkligen Koordinatensystems, und zwar den Zeigefinger in Richtung der Kraftlinien, den Daumen in Richtung der Bewegung, so gibt der Mittelfinger die Richtung des induzierten Stromes an. Bewegt man einen geschlossenen Leiter in einem magnetischen Felde, so ist die in einer Windung desselben induzierte elektromotorische Kraft gleich der Änderung der Zahl der durchgehenden Kraftlinien in der Zeiteinheit; die in den einzelnen Windungen indu-

zierten elektromotorischen Kräfte summieren sich. Bezüglich der Richtung des induzierten Stromes gilt folgende Regel: Wenn man in Richtung der Kraftlinien gegen den geschlossenen Leiter blickt, so entsteht in dem Falle, wenn die Zahl der durchgehenden Kraftlinien abnimmt, ein induzierter Strom in dem Sinne der Uhrzeigerbewegung; nimmt die Zahl der Kraftlinien zu, so hat der Strom die entgegengesetzte Richtung. Wenn durch Bewegung eines Leiters ein induzierter Strom erzeugt wird, so äußert der Leiter stets einen gewissen Widerstand gegen die Bewegung (Lenzsches Gesetz), so daß eine mechanische Arbeit geleistet werden muß; diese setzt sich in elektrische Energie um.

13. Versuch.*) Über den Pol des beim Versuche 5 verwendeten, von Gleichstrom erregten Elektromagneten wird eine Scheibe aus nichtleitendem Material von ungefähr gleichem Durchmesser gelegt; an dieser Scheibe ist eine um den Mittelpunkt drehbare kleine Kurbel aus Metall angebracht, welche auf einem um den Rand der Scheibe gelegten Metallringe schleift. Der Drehpunkt der Kurbel und der Ring sind mit einem Galvanometer verbunden, so daß die Kurbel mit den Galvanometerspulen zu einem Stromkreise verbunden ist. Dreht man die Kurbel mit konstanter Geschwindigkeit, so wird durch Induktion ein Strom von konstanter Stärke erzeugt, wie an der Ablenkung der Galvanometernadel ersichtlich ist. Bei gesteigerter Rotationsgeschwindigkeit oder Verstärkung der Erregung des Elektromagneten nimmt die Stärke des induzierten Stromes zu; dreht man die Kurbel im ent-

gegengesetzten Sinne, so hat auch der induzierte Strom die entgegengesetzte Richtung.

14. Versuch. Eine mit einem Galvanometer verbundene kleine Spule wird auf den Pol desselben Elektromagneten gelegt, wodurch ein induzierter Strom von einer bestimmten Richtung entsteht. Während die Spule auf dem Pole aufliegt, entsteht kein Strom; auch eine Verschiebung der Spule auf der Fläche des Poles übt keine Wirkung, weil sich die Zahl der durch die Spule gehenden Kraftlinien nicht ändert. Beim Entfernen der Spule oder wenn sie aus der flachen Lage um 90° gedreht wird, so daß sie auf der Polfläche steht, entsteht ein induzierter Strom von entgegengesetzter Richtung im Vergleiche zum früheren Falle, weil die Zahl der durch die Spule gehenden Kraftlinien verschwindet. Legt man die Spule wieder auf die Polfläche und drückt sie zusammen, so entsteht während des Zusammendrückens ein induzierter Strom wie während der Entfernung der Spule, während des Auseinanderziehens der Spule hat der Strom die entgegengesetzte Richtung.

15. Versuch. Schiebt man eine Spule auf einen permanenten Magnet und legt den Anker an, so ersieht man aus dem induzierten Strome, daß die Kraftlinienzahl des Magneten beim Anlegen des Ankers zunimmt; beim Entfernen des Ankers nimmt sie ab.

16. Versuch. Eine größere mit dem Galvanometer verbundene Spule wird auf den Tisch gelegt; in dieser Lage gehen Kraftlinien, welche dem Erdmagnetismus entsprechen, durch die Spule. Verschiebt man die Spule

auf der Tischfläche, so entsteht kein induzierter Strom, weil die Zahl der durchgehenden Kraftlinien ungeändert bleibt. Bei Drehung der Spule um 90° oder 180° entsteht ein induzierter Strom.

17. Versuch.*) Die bei dem Versuche 12 benützte Anordnung wird in der Weise abgeändert, daß die bewegliche Spule nicht mit einer Stromquelle, sondern mit einem Galvanometer verbunden wird. Bewegt man die Spule aus einer Grenzlage in die andere, so entsteht ein induzierter Strom von einer bestimmten Richtung. Auf Grund dieses Versuches läßt sich die Wirkungsweise einer Gleichstrom-Dynamo mit Grammeschem Ringe erklären. Jede einzelne Spule wird kontinuierlich bei den Polen *N*, *S*, *N*, *S* des Feldmagneten vorbeibewegt. Während der Bewegung von einer Grenzlage zwischen zwei Polen bis zur nächsten Grenzlage hat der induzierte Strom eine bestimmte Richtung, während der Bewegung bis zur folgenden Grenzlage die entgegengesetzte Richtung; unter Vermittlung des Kollektors werden die in den Spulen des Grammeschen Ringes induzierten Ströme gleichgerichtet in den äußeren Kreis geleitet.

18. Versuch. Die bei dem Versuche 5 verwendete Spule erhält statt des massiven Eisenkernes einen aus gefirnten Eisendrähten zusammengesetzten Kern von gleicher Größe. Durch die Spule wird ein Wechselstrom geschickt, der in der Sekunde hundertmal die Richtung wechselt. Der Versuch 10 kann in gleicher Art wiederholt werden; die Spule zieht den Eisenkern hoch und bewirkt, daß die Drähte eines in der Mitte zusammenge-

bundenen Eisendrahtbündels in Form eines Doppelkegels auseinanderschnellen. Der Strom kann demnach in der kurzen Zeit von einem Hundertel einer Sekunde die Drähte des Eisenkernes ummagnetisieren. Ordnet man den Kern in der Mitte der Spule an und schickt durch dieselbe einen Wechselstrom, so entsteht in dem Kerne und außerhalb desselben ein magnetisches Feld, welches in einer Sekunde hundertmal die Richtung wechselt. Bringt man in den Bereich dieses Feldes eine Spule, indem man dieselbe z. B. ober den Pol des Kernes hält, so wird in derselben fortwährend eine elektromotorische Kraft induziert. Die den Kern erregende Spule heißt die primäre, die induzierte heißt die sekundäre Spule. Wird diese mit einer oder mehreren Glühlampen von 100 Volt Spannung verbunden, so leuchten die Lampen normal, wenn die Spule dicht ober dem Kern gehalten wird oder diesen umfaßt, so daß eine große Zahl von Kraftlinien des Feldes durch die Spule geht. Die elektrische Energie, welche dem sekundären Wechselstrom entspricht, wird unter Vermittlung des Äthers aus dem primären Kreise entnommen. Darauf beruht die Wirkung des Wechselstromtransformators. Eine primäre und eine sekundäre Spule umschließen denselben Eisenkern; durch die primäre sendet man einen Wechselstrom, aus der sekundären entnimmt man einen Strom; die Spannung des letzteren hängt von der Zahl der Windungen der sekundären Spule ab und kann beliebig geändert werden. Schließt man bei der früher erläuterten Versuchsanordnung die sekundäre Spule in sich kurz, so hat der induzierte Strom eine große Stärke. Da derselbe

im Vergleich zum primären Strome im entgegengesetzten Sinne fließt, so erfolgt eine Abstoßung. Die kurz geschlossene sekundäre Spule schwebt über dem Eisenkerne (Thomson'scher Repulsionsversuch). Ordnet man zwei bewegliche sekundäre Spulen an, so ziehen sich dieselben gegenseitig an, weil in ihnen Ströme von gleicher Richtung fließen. Öffnet man die sekundäre Spule, so hört wegen der eintretenden Stromlosigkeit die Abstoßung sofort auf; in dem Momente, wenn der Stromkreis geschlossen wird, schnellt sie empor. In gleicher Art wie die sekundäre Spule kann man einen schweren Kupferzylinder über dem Kerne schwebend erhalten. Unterbricht man den primären Strom und legt auf die primäre Spule einen Kupferring, welcher den Eisenkern umschließt, so schnellt derselbe im Momente des Stromschlusses des primären Stromes zirka 2 m hoch empor. Bringt man in die Nähe des Kernes eine kleine Spule, welche mit einem Glühlämpchen verbunden ist und nebst diesem in ein mit Wasser gefülltes Glas eingetaucht ist, so leuchtet das Lämpchen infolge des in der Spule induzierten Wechselstromes und gleichzeitig bewegt sich infolge der Repulsion die Spule samt dem Lämpchen in dem Wasser aufwärts.

19. Versuch. Ein bogenförmiges dickes Kupferstück ist zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten pendelnd aufgehängt (Waltenhofensches Pendel). Läßt man das Kupferstück schwingen, so nimmt, wenn der Magnet nicht erregt ist, die Amplitude der Schwingungen nur allmählich ab. Ist jedoch der Magnet erregt,

so wird das Kupferstück beim Durchgange zwischen den Polen sofort aufgehalten, da in demselben Ströme (Foucaultsche Ströme) induziert werden, wodurch infolge Wechselwirkung mit den Polen die Bewegung des Kupferstückes gehemmt wird. Das Kupferstück kann zwischen den Polen des erregten Magneten nur schwer hin und her bewegt werden. Das Kupferstück kann man durch eine um eine Achse drehbare Kupferscheibe ersetzen; darauf beruht ein System elektrischer Bremsen.

20. Aragoscher Versuch und Umkehrung desselben. Um eine Achse ist eine Kupferscheibe, um eine die Achse umschließende Hohlwelle ein Elektromagnet drehbar, der seine Pole der Kupferscheibe zuwendet. Ein Getriebe kann entweder mit dem Elektromagneten oder der Kupferscheibe gekuppelt werden. Ist der Magnet nicht erregt, so nimmt der vom Getriebe in Drehung versetzte eine Teil des Apparates den zweiten Teil nicht mit. Ist der Magnet erregt, so entstehen sowohl bei der Drehung des Elektromagneten als auch bei der Drehung der Scheibe stets in derselben Foucaultsche Ströme und infolge Wechselwirkung mit dem Magnete wird auch der andere Teil mitgenommen. Darauf beruht auch ein System elektrischer Kuppelungen.

21. Drehfeldversuch nach Ferraris. Die Wirkung des rotierenden Magneten beim vorigen Versuche läßt sich durch die Wirkung zweier Wechselströme ersetzen, welche gleiche Periode haben, d. h. gleich oft ihre Richtung wechseln, aber in der Phase verschoben sind, d. h. nicht zu gleicher Zeit ihre größten Werte und den Null-

wert haben; der eine Strom möge z. B. stets dann seinen größten Wert haben, wenn der andere den Nullwert hat, d. h. sie mögen in der Phase um ein Viertel einer Periode verschoben sein. Diese Ströme werden durch zwei gekreuzte Spulen gesendet, innerhalb welcher sich ein geschlossener Kupferzylinder oder ein mit in sich geschlossenen Spulen bewickelter Zylinder befindet. Die Ströme in den beiden gekreuzten fixen Spulen magnetisieren den Raum gerade so, als ob sich innerhalb der Spulen ein körperlicher Magnet drehen würde; sie erzeugen ein sogenanntes magnetisches Drehfeld. Die Wirkung auf den drehbaren Zylinder ist die gleiche wie bei Versuch 20 die Wirkung des rotierenden Elektromagneten auf die Kupferscheibe. Der Zylinder beginnt sich in derselben Richtung zu drehen, wie sich das magnetische Drehfeld dreht. Wechselt man die Verbindungen zwischen den Stromleitungen und der einen Spule, so rotiert das Drehfeld und daher auch der Zylinder in entgegengesetzter Richtung. Auf diesem Versuche beruhen die Drehfeldmotoren.

22. Drehfeldversuch.*) Der nachfolgend beschriebene Apparat dient dazu, um in einfacher Weise aus einem Gleichstrom zwei um ein Viertel einer Periode verschobene Ströme und mittels dieser ein Drehfeld zu erzeugen. In einem größeren viereckigen Glasgefäße, das mit Sodalösung gefüllt ist, sind neben den Wänden Kupferplatten eingehängt. Um eine in der Mitte des Deckels des Gefäßes angeordnete Achse ist eine kreisförmige Holzscheibe drehbar, an welcher diametral gegenüber zwei in die Flüssigkeit vertikal hinabragende

Kupferplatten befestigt sind. Diese stehen unter Vermittlung von Schleifringen mit einer Gleichstromquelle in Verbindung. Je zwei gegenüberliegende fixe Platten sind mit einem äußeren Stromkreise in Verbindung. In jeden der beiden Stromkreise ist ein Strommesser eingeschaltet, welcher nicht nur die Stärke des Stromes zu messen, sondern auch die Richtung desselben zu erkennen gestattet (Ampèremeter der Depreztype mit beiderseitiger Ablenkung). Stellt man die Kurbel so, daß in dem einen Kreise der Strom die größte Stärke hat, was dann der Fall ist, wenn die drehbaren Kupferplatten den zwei fixen Platten, mit welchen der Stromkreis verbunden ist, gerade gegenüberstehen, so hat im zweiten Stromkreise der Strom gerade den Nullwert. Bei Drehung der Kurbel erhält man in den beiden Kreisen Wechselströme, die um ein Viertel einer Periode in ihren Phasen verschoben sind. Die äußeren Kreise sind beim vorliegenden Versuche aus vier Spulen von je 25 *cm* Durchmesser und je 100 *m* Drahtlänge gebildet, welche auf einer gemeinsamen horizontalen Platte aufgestellt sind. Je zwei Spulen sind miteinander verbunden und parallel derart aufgestellt, daß ein durch die Spulen fließender Strom den Raum in der Richtung der gemeinsamen Spulenachse magnetisiert. Die Richtungen, welche den beiden Spulenpaaren entsprechen, stehen aufeinander senkrecht. Die beiden Spulenpaare bilden die beiden äußeren Kreise für die von dem beschriebenen Apparate abgenommenen Ströme. Durch die Wirkung des Stromes in jedem einzelnen Spulenpaar wird der Raum innerhalb

der Spulen in der Richtung der Verbindungslinie der Spulenmittelpunkte in wechselnder Richtung magnetisiert; durch die Wirkung der Ströme in beiden Spulenpaaren entsteht ein magnetisches Drehfeld. In der Mitte zwischen den Spulen ist von einem Stativ getragen ein permanenter gerader Magnetstab pendelnd aufgehängt. Sendet man nur in das eine Spulenpaar Strom, so pendelt der Magnet in der Verbindungslinie der Mittelpunkte der Spulen; sendet man in das zweite Spulenpaar allein Strom, so pendelt er in der zur früheren Richtung senkrechten Richtung; sendet man in beide Spulenpaare Strom, so bewegt sich der untere Pol des Stabes entsprechend dem Drehfelde im Kreise. Wechselt man die Verbindungen zwischen dem einen Paar fixer Kupferplatten und dem zugehörigen Spulenpaare, so dreht sich das Drehfeld und daher auch der Magnet in entgegengesetzter Richtung.

Elektrolytische Wirkungen des Stromes.
Fließt ein Strom durch einen chemisch zusammengesetzten Leiter, so wird derselbe in seine Bestandteile zerlegt, die sich aber nur an der Eintritts- und Austrittsstelle des Stromes in den zersetzbaren Leiter ausscheiden. Die Faradayschen Gesetze lauten: Die Menge der ausgeschiedenen Bestandteile ist der durch den Leiter durchgegangenen Elektrizitätsmenge proportional; die durch die gleiche Elektrizitätsmenge ausgeschiedenen Mengen verschiedener Stoffe sind chemisch äquivalent.

23. Versuch. Der Strom wird durch eine Bleiazetat- (Bleizucker-) Lösung geschickt; die Eintritts- und Aus-

trittsstelle des Stromes besteht aus Platindrähten. Bei Stromdurchgang scheidet sich an der Eintrittsstelle (Anode) Essigsäure und Sauerstoff, an der Austrittsstelle Blei aus; das letztere nimmt eine baumförmige Gestalt an. Bei Umkehr der Stromrichtung wird dieser Bleibaum allmählich verzehrt, während sich derselbe an dem anderen Platindraht neu bildet.

24. Versuch. In einem Gefäße befindet sich verdünnte Schwefelsäure. Die Eintrittsstelle des Stromes besteht aus einer Bleiplatte, die Austrittsstelle aus einem in die Flüssigkeit eingetauchten Stäbchen, z. B. Eisenstab. Bei Stromdurchgang verwandelt sich das Blei oberflächlich in Bleisuperoxyd, an dem Eisenstabe wird Wasserstoff ausgeschieden. Ist die Spannung des elektrischen Stromes hinreichend hoch, z. B. 200 Volt, so entsteht bei der durch den Wasserstoff bewirkten Trennung der Flüssigkeit vom Stäbchen ein Lichtbogen, welcher das ganze Stäbchen, so weit es in die Flüssigkeit eintaucht, umhüllt, wodurch es in kurzer Zeit glühend wird. Bei Unterbrechung des Stromes kommt das Stäbchen sofort in Berührung mit der Flüssigkeit und kühlt ab. Auf diesem Versuche beruht das Schweiß- und Härteverfahren von Lagrange und Hoho.

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: 1905

Band/Volume: [45](#)

Autor(en)/Author(s): Sahulka Johann

Artikel/Article: [Über die Grundwirkungen elektrischer Ströme. 327-348](#)