



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Graetz für Alle

Graetz, Leo

Stuttgart, 1929

Drittes Kapitel. Die Induktionserscheinungen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83225](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83225)

DRITTES KAPITEL

DIE INDUKTIONS- ERSCHEINUNGEN

Durch die Oerstedtsche Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel war es naturgemäß viel leichter geworden als früher, zu untersuchen, ob man elektrische Ströme nicht auch auf andere Weise erzeugen könne als durch galvanische Elemente. Und in der Tat wurden noch andere Methoden allmählich erfunden, eine zufällig, die andere aber durch planmäßig angestellte Versuche. Im Jahre 1823 bemerkte nämlich *Seebeck*, daß man auch durch *Wärme* elektrische Ströme erzeugen kann. Er fand, daß wenn man zwei *verschiedene* Metalle mit ihren beiden Enden aneinander lötet oder überhaupt nur fest miteinander verbindet und wenn man die eine von diesen Lötstellen auf höhere oder tiefere Temperatur bringt als die andere (durch Erwärmen oder Abkühlen), daß man dann in diesem geschlossenen Kreis auch wieder einen elektrischen Strom erhält. Man nennt diese durch Temperaturdifferenzen hervorgerufenen elektrischen Ströme *Thermoströme*. Sie haben eine sehr geringe elektromotorische Kraft und liefern kleine Stromstärken. Sie werden im allgemeinen in Verbindung mit empfindlichen Galvanometern nur dazu benutzt, gerade die Temperaturdifferenz, durch die sie hervorgebracht werden, zu messen, und man kann durch sie sehr hohe und sehr tiefe Temperaturen bestimmen, für welche unsere Thermometer nicht ausreichen. Für die Zwecke dieses Buches ist eine genauere Darlegung der Verhältnisse dieser Thermoströme nicht notwendig.

Von der allergrößten Bedeutung aber für die wissenschaftliche Untersuchung und die praktische Benutzung der elektrischen Ströme sind die Entdeckungen geworden, die die Wissenschaft dem Genie von *Michael Faraday* verdankt. Faraday, ursprünglich ein Buchbindergeselle, hat mit dem größten Scharfsinn und mit dem feinsten Ahnungsvermögen für die Geheimnisse der Natur eine große Anzahl der bedeutendsten Entdeckungen auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre gemacht, und er hat auch insbesondere die so überaus wichtigen und interessanten Erscheinungen der Erzeugung von elektrischen Strömen durch *Induktion*, die wir jetzt besprechen wollen, nicht nur gefunden, sondern auch fast vollständig erforscht. Man muß in den Originalberichten Faradays nachlesen, wie viele mühevollen und schwierige Versuche fehlschlagen, wie endlich nach einer großen Reihe von vielfach variierten Experimenten sich eine Spur der Wirkung zeigte, welche er suchte, und wie er dann diese Spur verfolgte und ausbeutete, um einen richtigen Begriff von Faradays Genie zu bekommen. Jetzt, wo diese Erscheinungen genau bekannt sind, ist es nicht mehr nötig, den mühevollen, stufenweisen Weg zu gehen, den Faraday einschlagen mußte,

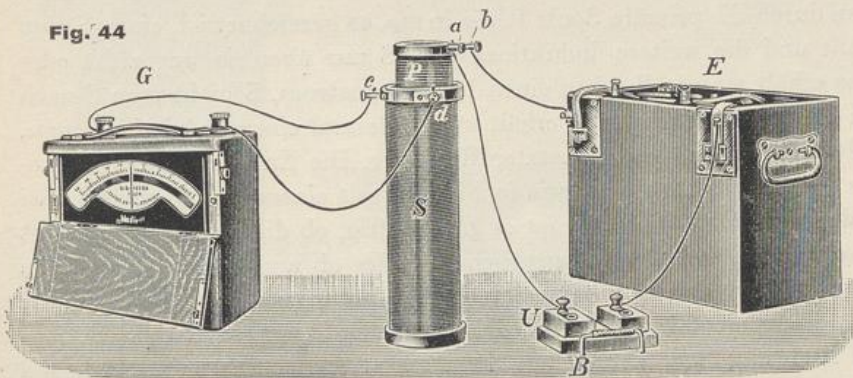
DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

jetzt können wir bald mitten in die Erscheinungen hineingreifen und von vornherein diejenigen Bedingungen annehmen, die sich als vorteilhaft zur Erzeugung dieser sogenannten *Induktionsströme* erwiesen haben.

● *Immer wenn ein elektrischer Strom in einem Stromkreis geöffnet oder geschlossen wird, entsteht in einem in der Nähe befindlichen geschlossenen Leiter ein momentaner elektrischer Strom.*

Die beiden Leiterkreise sind also ganz voneinander getrennt, es existiert gar keine leitende Verbindung zwischen ihnen, und doch entsteht durch das Öffnen oder Schließen eines von einem Strome durchflossenen Leiters in einem eben noch ganz stromlosen, geschlossenen Drahtkreis ein momentaner galvanischer Strom. Diese Wirkung, welche Faraday entdeckt hat, bezeichnet man nach ihm als *Induktion*, genauer als *Elektroinduktion*. Um diese Erscheinung kräftig hervorzurufen, ist es notwendig, daß die beiden Stromkreise sich sehr nahe aneinander befinden. Man nimmt deshalb am besten zwei Hohlzylinder von Holz und wickelt auf jeden von ihnen einen Draht spiralförmig auf. Den engeren Zylinder stellt man in die Höhlung des weiteren hinein. So hat man zwei getrennte Drähte, die einander sehr nahe sind. In **Fig. 44** sind diese beiden Zylinder mit P und S bezeichnet. Die Enden des Drahtes auf dem weiten Zylinder S sind nach zwei Klemmschrauben c und d geführt, und diese werden durch Drähte mit dem Galvanometer G verbunden. Die Enden des Drahtes auf dem inneren Zylinder sind nach den Klemmschrauben a und b geführt, und von diesen aus gehen Drähte zu einer Batterie E, die sich hier in einem Kasten befindet. In den einen Draht ist aber noch ein Unterbrecher U eingeschaltet, wie er oben S. 25 Fig. 25 beschrieben wurde. Man hat so zwei geschlossene Leiterkreise; in dem inneren fließt fortwährend ein Strom, wenn der Unterbrecher U geschlossen, d. h. der Bügel B in die Quecksilbernäpfchen eingetaucht ist, in dem äußeren nicht. Sowie man aber nun den Strom in dem inneren Drahtkreis unterbricht, indem man den Bügel B, wie es in der Figur gezeichnet ist, aus den Quecksilbernäpfchen herausnimmt, wird die Nadel des Galvanometers für einen Moment abgelenkt, kehrt aber sofort wieder zurück. Sowie man den Strom in der inneren Spule wieder schließt, durch Eintauchen des

Fig. 44



DRITTES KAPITEL

Bügels B, wird die Nadel wieder abgelenkt, und zwar nach der entgegengesetzten Seite, aber ebenfalls nur einen Moment, und kehrt auch sofort wieder zurück. Es wird also in der Tat durch die Öffnung oder Schließung des Stromes in P ein momentaner Strom in dem Leiter S erregt, in dem Leiter, welcher gar keine Verbindung mit P hat, welcher nur in der Nähe von P sich befindet. Man nennt diese momentanen Ströme, wie erwähnt, *Induktionsströme* und kann also sagen: Beim Öffnen und Schließen des Stromes in P wird in S ein momentaner Strom *induziert*. Man nennt die Spule P die *induzierende* oder *primäre Spule*, die Spule S die *induzierte* oder *Induktionsspule*, häufig auch die *sekundäre Spule*. Wenn der Strom in der primären Spule dauernd fließt, also geschlossen bleibt, so findet keine Induktion statt, das Galvanometer der sekundären Spule bleibt in Ruhe. Nur die *Veränderung* des primären Stromes, sein Entstehen oder Vergehen, bringt Induktionswirkungen hervor.

Wenn man aber die durch die momentanen Induktionsströme hervorgebrachten Ausschläge der Nadel des Galvanoskops betrachtet, so findet man, wie schon erwähnt, daß ein Unterschied in der Richtung des Ausschlages stattfindet, je nachdem der induzierende Strom geöffnet oder geschlossen wird. Wird der induzierende Strom geöffnet, so geht die Nadel nach der einen Seite, wird er geschlossen, so geht sie nach der anderen Seite. Daraus und aus der genauen Anwendung der Ampèreschen Schwimmerregel (S. 34) schließen wir, daß der induzierte Strom, der durch *Schließen* entsteht, der *Schließungsstrom*, in *entgegengesetzter Richtung* durch die Induktionsspule läuft wie der induzierende Strom durch die primäre Spule, daß dagegen der Induktionsstrom, der durch *Öffnen* entsteht, der *Öffnungsstrom*, *dieselbe Richtung* hat wie der Strom in der induzierenden Spule.

Man bezeichnet den induzierenden Strom, also den in der Spule P, auch oft als den *primären Strom*, den induzierten als *sekundären Strom* und kann also sagen:

● *Der Induktionsstrom hat beim Schließen des primären Stromes die entgegengesetzte, beim Öffnen desselben die gleiche Richtung wie der primäre Strom.*

Die induzierende Wirkung eines Stromes auf einen Drahtkreis geht aber noch weiter. *Es ist nur nötig, einen elektrischen Strom gegen eine Drahtspule irgendwie zu verschieben, um in letzterer einen momentanen Induktionsstrom zu bekommen.*

Wenn man durch die primäre Spule P, die in **Fig. 45** gezeichnet ist, einen Strom fließen läßt und die weitere Induktionsspule S nur über sie weg zieht oder schiebt, so erhält man in S schon einen Induktionsstrom. Schiebt man S nach der einen oder anderen Seite, so erhält man jedesmal einen Induktionsstrom, aber beide Male von entgegengesetzter Richtung. Die Enden γ und δ der sekundären Spule verbindet man, wie in **Fig. 44**, mit einem Galvanometer. Bei dieser Näherung und Entfernung ist es gleichgültig, ob die primäre Spule fest und die sekundäre, induzierte, beweglich ist, oder ob umgekehrt die primäre Spule beweglich und die sekundäre fest ist. *Nähert man die primäre und die induzierte Spule einander, so fließt der Induktionsstrom in S in entgegengesetzter Richtung wie der Strom in P, also ebenso wie beim Schließen*

Fig. 45

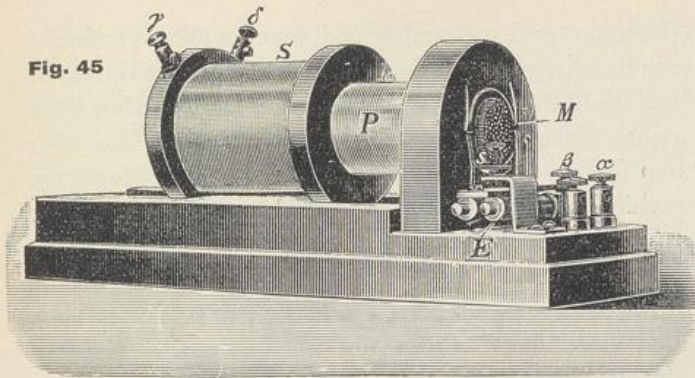
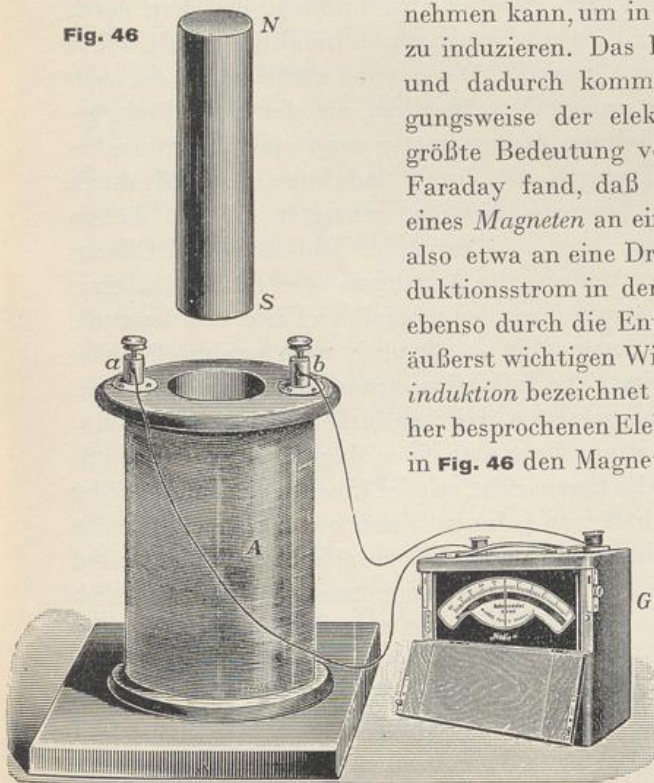


Fig. 46



des Stromes. *Entfernt* man dagegen P von S, so hat der Induktionsstrom in S dieselbe Richtung wie der Strom in P. Beim Entfernen hat also der Induktionsstrom dieselbe Richtung wie beim Öffnen.

Die große Übereinstimmung der Eigenschaften einer stromdurchflossenen Drahtspule mit denen eines Magnetstabes lassen es nun voraussehen, daß man bei den obigen Versuchen statt der primären Stromspule einfach einen Magnetstab nehmen kann, um in der sekundären Spule Ströme zu induzieren. Das hat *Faraday* sofort erkannt, und dadurch kommen wir zu derjenigen Erzeugungsweise der elektrischen Ströme, welche die größte Bedeutung von allen erlangt hat.

Faraday fand, daß auch durch die Annäherung eines *Magneten* an einen geschlossenen Drahtkreis, also etwa an eine Drahtspule, ein momentaner Induktionsstrom in der Drahtspule erzeugt wird und ebenso durch die Entfernung des Magneten. Diese äußerst wichtigen Wirkungen werden als *Magnetoinduktion* bezeichnet zum Unterschied von der vorher besprochenen Elektroinduktion. Wenn man also in Fig. 46 den Magnetstab N S in die Drahtspule A,

DRITTES KAPITEL

deren Enden durch ein Galvanometer G verbunden sind, hineinstößt, so entsteht in der Spule ein momentaner Induktionsstrom, der die Magnetnadel des Galvanometers zum Ausschlag bringt. Zieht man den Magneten aus der Drahtspule wieder heraus, so erhält man wieder einen momentanen Induktionsstrom, der aber nach der entgegengesetzten Richtung fließt. Man kann dabei den Magneten ganz in die Spule hineinschieben, man braucht das aber nicht zu tun. Jede Annäherung, jede Entfernung eines Magneten in bezug auf die Drahtspule bringt einen Induktionsstrom hervor. Die Richtung der Induktionsströme ist entgegengesetzt bei der Annäherung und bei der Entfernung, sie ist auch entgegengesetzt, wenn man statt des Südpols des Magneten den Nordpol nähert. Bezeichnen wir also die Stromrichtung in der Spule A, wenn ihr z. B. ein Nordpol genähert wird, mit +, so haben wir folgendes Schema für die Stromrichtungen:

	Nordpol	
Annäherung,	Entfernung	
+	—	
	Südpol	
Annäherung,	Entfernung	
—	+	

Auf einen wesentlichen Unterschied zwischen den Strömen, die man durch galvanische Elemente erhält, und denen, die man durch Induktion erhält, haben wir schon wiederholt aufmerksam gemacht. Die ersteren nämlich sind *dauernde* Ströme. Sie bleiben so lange unverändert bestehen, als der Stromkreis geschlossen bleibt. Ein eingeschaltetes Galvanometer zeigt eine dauernde Ablenkung der Magnetnadel. Dagegen die durch Induktion, sowohl durch Elektroinduktion wie durch Magnetoinduktion, erzeugten Ströme dauern zunächst nur einen Moment an. *Nur im Moment* des Schließens und Öffnens des primären Stromes, nur im Moment des Annäherns oder Entfernens eines Magneten fließt der Induktionsstrom durch den sekundären Leiter und lenkt die Drahtspule des Galvanometers momentan ab, die aber, nach wenigen Schwingungen wieder zur Ruhe kommt. Die Induktionsströme sind kurz dauernde, *momentane Ströme*. Man sieht aber sofort ein, daß man durch das Mittel der Induktion leicht folgendes erreichen kann. Wenn man einen Magnetstab in eine Spule hineinschiebt, dann gleich wieder herauszieht, wieder hineinschiebt und wieder herauszieht und so fort, so erhält man jedesmal einen momentanen Strom in der geschlossenen Leitung, die einzelnen kurzen Ströme aber haben abwechselnd entgegengesetzte Richtung. Folgen diese entgegengesetzten Ströme sehr rasch aufeinander, viele Male in einer Sekunde, so nennt man sie *Wechselströme*, der Stromkreis wird dann von Wechselströmen durchflossen. Im Gegensatz dazu nennt man die Ströme, die immer nach derselben Richtung fließen, *Gleichströme*. Unser Galvanometer wird aber durch Wechselströme, wie man leicht erkennt, gar nicht beeinflusst. Der erste Strom will z. B. die Drehspule nach

DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

rechts ablenken, der zweite, gleich starke, aber entgegengesetzte Strom sucht sie nach links abzulenken. Die Drehspule bleibt daher, wie Buridans Esel zwischen zwei Heubündeln, in Ruhe. Es gibt jedoch Apparate, die durch Wechselströme beeinflußt werden, nämlich hauptsächlich die Telephone, und mit diesen werden wir solche Ströme untersuchen können.

Daß wir es bei den Induktionsströmen mit zwei verschiedenen Arten von Induktion, der Magnetoinduktion und der Elektroinduktion, zu tun haben, ist nur scheinbar. Die primären Ströme bei der Elektroinduktion üben ja ebenfalls magnetische Kräfte aus wie die Magnete, und *in beiden Fällen sind es die magnetischen Kräfte*, welche die Induktion hervorbringen. Daher kommt es, daß man die Gesetze der Induktionsströme am einfachsten und übersichtlichsten aufstellen und aussprechen kann, wenn man in jedem Falle die Richtung und die Zahl der wirkenden *magnetischen Kraftlinien* (S. 38) zu Hilfe nimmt.

Immer wenn die Zahl der Kraftlinien (oben S. 38), die durch einen geschlossenen Drahtkreis hindurchgehen, sich ändert, entsteht in dem Drahtkreis eine elektromotorische Kraft der Induktion, die in dem Drahtkreis einen Induktionsstrom hervorbringt. Wenn solche Kraftlinien von einem Magneten ausgehen, so hat man es mit der Magnetoinduktion zu tun, wenn sie aber von einer stromdurchflossenen (primären) Spule ausgehen, so hat man Elektroinduktion. In beiden Fällen ist es aber nur die *Änderung* der Zahl der Kraftlinien in dem induzierten Kreis, die den Induktionsstrom zur Folge hat. Je rascher diese Änderung erfolgt, umso größer ist die entstehende elektromotorische Kraft der Induktion. Daraus folgen die Hauptgesetze der Induktionsströme.

● I. *Je größer die Kraftlinienzahl ist, die pro Sekunde in die von einem Draht umschlossene Fläche hineintritt oder aus ihr austritt, je größer also, wie wir es nennen wollen, der Kraftlinienfluß durch die Fläche ist, umso größer ist die erzeugte elektromotorische Kraft der Induktion.* Und dabei bringen austretende Kraftlinien immer einen Strom im Uhrzeigersinne hervor, wenn man den Drahtkreis in der Richtung der Kraftlinien ansieht, eintretende einen solchen im entgegengesetzten Sinne. Bleibt die vom Stromkreis umfaßte Kraftlinienzahl bei der Bewegung unverändert, so wird auch keine elektromotorische Kraft induziert.

Aus diesem allgemeinen Gesetz folgt zunächst: II. *Je stärker der induzierende Magnet oder der induzierende Strom ist, umso größer ist bei sonst gleichen Verhältnissen die elektromotorische Kraft in der induzierten Spule.* Denn in der Nähe eines stärkeren Magneten oder Stromes sind mehr Kraftlinien pro Quadratcentimeter vorhanden als bei schwächerem Magnete oder Strom.

Ferner folgt daraus: III. *Je rascher der primäre Strom oder Magnet in seiner Stärke oder in seiner Lage verändert wird, umso größer ist der Kraftlinienfluß, umso größer ist also auch die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes.* Je rascher, also auch je plötzlicher die Unterbrechungen eines primären Stromes stattfinden, umso größer wird die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes.

DRITTES KAPITEL

Und endlich folgt: IV. *Je größer die Anzahl der Windungen der induzierten Spule ist, umso größer wird die elektromotorische Kraft des induzierten Stromes.* Denn jede Windung umfaßt eine Anzahl Kraftlinien, und die gesamte Zahl der Kraftlinien, die pro Sekunde ein- oder austreten, ist daher umso größer, je mehr Windungen die Spule hat.

Die elektromotorische Kraft der Induktionsströme wird natürlich ebenso in Volt ausgedrückt wie die elektromotorische Kraft von galvanischen Elementen. Und zwar ist die Einheit 1 Volt gerade so gewählt, daß sie bei der Induktion entsteht, wenn 100 Millionen (10^8) Kraftlinien pro Sekunde in die Fläche eines Stromkreises eintreten oder aus ihr austreten. Treten sie in 1 tausendstel Sekunde ein oder aus, so werden durch sie 1000 Volt erzeugt.

Mit den beiden bisher besprochenen Arten der Induktion, der Magnetoinduktion und Elektroinduktion, sind aber die Induktionserscheinungen noch nicht erschöpft. Es gibt noch eine dritte, besonders wichtige und interessante Art von Induktion, die ebenfalls von *Faraday* entdeckt wurde, nämlich die *Selbstinduktion*.

Ganz ebenso nämlich, wie ein in einer Drahtrolle fließender elektrischer Strom bei seinem Entstehen und Verschwinden in einer *in seiner Nähe* befindlichen Drahtrolle Induktionsströme erzeugt, ganz ebenso erzeugt er auch *in seiner eigenen Bahn* derartige Ströme. Da nämlich Induktion immer entsteht, wenn Kraftlinien in einen Leiterkreis eindringen oder aus ihm herausgehen, so durchsetzen auch die eigenen Kraftlinien des Stromkreises selbst, bei ihrem Entstehen oder Verschwinden, diesen Kreis und erzeugen dadurch Induktionsströme in ihm selbst. Am einfachsten läßt sich diese Tatsache einsehen, wenn man eben eine Drahtrolle, ein Solenoid, nimmt und den Strom durch dasselbe hindurchsendet. Es fließt dann der Strom durch lauter parallel neben- oder übereinander liegende Windungen. In dem Moment nun, wo der Strom unterbrochen wird, verschwinden die Kraftlinien, sie ziehen sich durch die von den Windungen umfaßte Fläche zurück und erzeugen Induktion. Umgekehrt breiten sich beim Schließen des Stromes die Kraftlinien durch die von den Windungen umfaßte Fläche aus und erzeugen ebenfalls Induktion. Man nennt diese Induktionsströme in der eigenen Bahn eines Stromes *Extrastrome*. Beim *Schließen* eines Stromes fließt der erzeugte Extrastrom in entgegengesetzter Richtung durch die Spule wie der ihn erzeugende primäre Strom. Der beim Schließen entstehende Extrastrom schwächt also den primären Strom. Beim *Öffnen* dagegen, wenn der Strom in einer Leitung unterbrochen wird, sucht der entstehende Öffnungsextrastrom in derselben Richtung zu fließen wie der ursprüngliche Strom. Dieser Unterschied zwischen dem Öffnungs- und dem Schließungsextrastrom hat wichtige Wirkungen, von denen wir gleich sprechen werden.

Die Größe der elektromotorischen Kraft der Extrastrome hängt natürlich auch wieder davon ab, wie rasch der primäre Strom geöffnet oder geschlossen wird.

DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

Außerdem hängt sie ab von der geometrischen Form des Stromkreises, der Stromspule, nämlich von der Anzahl ihrer Drahtwindungen, von der Größe der Fläche, welche diese umschließen, und von der Länge der Spule. Diese von der geometrischen Form der Spule abhängige Größe nennt man ihre Selbstinduktivität (oder auch ihr Selbstpotential). Je größer diese ist, umso größer ist unter sonst gleichen Umständen die elektromotorische Kraft der Extrastrome. Man hat für die Selbstinduktivität eine Einheit gewählt, welche man 1 Henry nennt. Wird nämlich in einer Stromspule, die 1 Henry Selbstpotential besitzt, die Stromstärke pro Sekunde um 1 Ampere geändert, so hat der erzeugte Extrastrom die elektromotorische Kraft 1 Volt. Den tausendsten Teil von 1 Henry nennt man 1 Millihenry, und die Instrumentenfabriken stellen Spulen her, die 1 Henry oder 1, 5, 10 Millihenry usw. Selbstinduktion besitzen. Will man die Extrastrome in einer Rolle sehr klein machen, so wickelt man die Rolle so, daß man den Draht in der Mitte umbiegt und die beiden Hälften gleichzeitig nebeneinander wickelt. Dann fließen in zwei nebeneinander liegenden Drähten die Ströme immer in entgegengesetzter Richtung, ihre Induktionswirkungen heben sich also auf. Man nennt eine solche Spule *bifilar gewickelt*.

Umgekehrt kann man auch eine Rolle von sehr großer Selbstinduktivität herstellen, auch wenn sie nur wenige Windungen enthält, wenn man in sie einen Eisenkern hineinschiebt, weil dieser die Kraftlinienzahl und daher die Induktionswirkungen sehr verstärkt. Man bezeichnet eine Spule mit geringem Widerstand, aber großer Selbstinduktion als *Drosselspule*.

Da der Extrastrom, der beim Schließen eines Stromes entsteht, diesem Strom entgegengesetzt gerichtet ist, so kommt ein Strom, der geschlossen wird, nicht sofort auf seine volle Stärke, die durch das Ohmsche Gesetz gegeben ist, sondern erst allmählich, nämlich erst dann, wenn der Schließungsextrastrom abgelaufen ist. Dagegen bei der Öffnung eines Stromes findet der Öffnungsextrastrom gar keine geschlossene Bahn mehr vor, er kann also gar nicht entstehen, die Induktion zeigt sich vielmehr daher nur dadurch an, daß die Enden der geöffneten Spule einen großen Spannungsunterschied zeigen, durch welchen zwischen ihnen ein Funke, der sogenannte *Öffnungsfunke*, entsteht. Allgemein ist deshalb die elektromotorische Kraft, die Spannung des Öffnungsextrastromes, erheblich größer als die des Schließungsextrastromes, weil bei dem letzteren eben die Geschwindigkeit, mit der die Zahl der Kraftlinien sich ändert, der Kraftlinienfluß, kleiner ist als beim Öffnungsextrastrom. Und aus demselben Grunde haben auch bei der Elektroinduktion die in der sekundären Rolle entstehenden Öffnungsströme erheblich höhere Spannung als die Schließungsströme.

Die Faradaysche Entdeckung der Induktionsströme hat nun zu den allerwichtigsten Anwendungen geführt, von denen hier zunächst diejenigen besprochen werden sollen, welche auf der Elektroinduktion beruhen.

Da nach dem oben S. 54 angegebenen Gesetz IV die elektromotorische Kraft

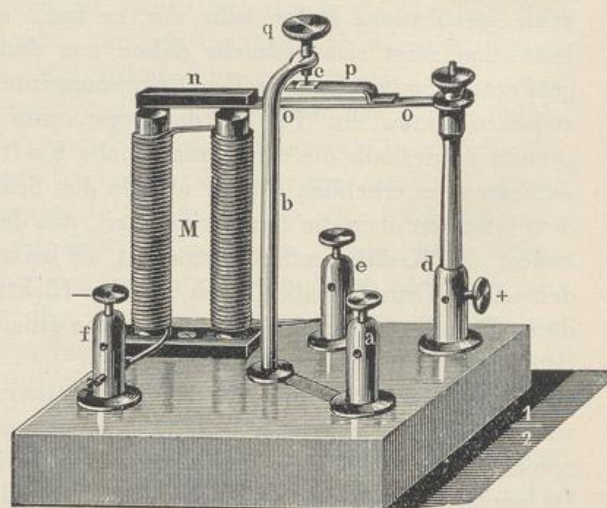
DRITTES KAPITEL

in einer induzierten sekundären Rolle umso größer ist, je mehr Windungen die Rolle besitzt, so hat man es in der Hand, einfach dadurch, daß man der sekundären Spule eine große Anzahl von Windungen gibt, in dieser sehr hohe elektromotorische Kräfte, solche von Zehntausenden und Hunderttausenden von Volt, zu erzeugen. Wenn die sekundäre Rolle ungeschlossen, offen, ist, so haben ihre Enden eben diese sehr hohe Spannung von Hunderttausenden von Volt, und diese zeigen sich dadurch, daß kräftige Funken zwischen diesen Enden überspringen. Man nennt derartig konstruierte Apparate *Induktionsapparate* oder *Funkeninduktoren*. Sie bestehen aus einer primären und einer sekundären Spule, welche letztere sehr viele Windungen besitzt. Fig. 45 auf S. 51 zeigt eine einfache Form eines Induktionsapparates.

Wenn man den primären Strom nicht bloß einmal unterbrechen und wieder schließen will, sondern sehr rasch hintereinander Schließungen und Öffnungen desselben vornehmen will, so kann man sich dazu verschiedener Anordnungen bedienen. Das einfachste Mittel dazu, das allerdings nur angewendet werden kann, wenn der primäre Strom eine geringe Stärke hat (unter 1 Ampere), hat ein Frankfurter Arzt, Dr. Neef, erfunden, indem er eine Anordnung angab, bei welcher durch einen Elektromagneten eine *schwingende* Bewegung einer Feder erzeugt wird. Dieser Apparat wird nach ihm als *Neef'scher Hammer* bezeichnet. Führt man, wie in Fig. 47, einen Strom in Windungen um einen hufeisenförmig gestalteten Eisenkern M herum, so wird dieser magnetisch und zieht ein über ihm befindliches Eisenstück n, das man den *Anker* nennt, an. Dieser Anker aber ist an einem federnden Stück Stahl o o befestigt, und dieser trägt eine andere Feder p, welche von einer Spitze c berührt wird. Der eine Pol eines Elements wird mit einer Klemme f verbunden, und der Strom geht von da durch die Windungen des Elektromagneten M und dann zur Klemme e. Zwischen e und d

wird irgend ein elektrischer Apparat oder ein Draht eingeschaltet, so daß der Strom dann von d nach o in die Feder p gelangt, an welcher die Platinspitze c anliegt. Durch diese Spitze geht er dann in die Metallsäule b zur Klemme a und von dieser zum Element zurück. Wenn der Strom um den Elektromagneten fließt, wird dieser magnetisch und zieht den Anker n an. Dadurch wird aber die Feder p von der Platinspitze c weggezogen. Dadurch ist aber der Strom

Fig. 47



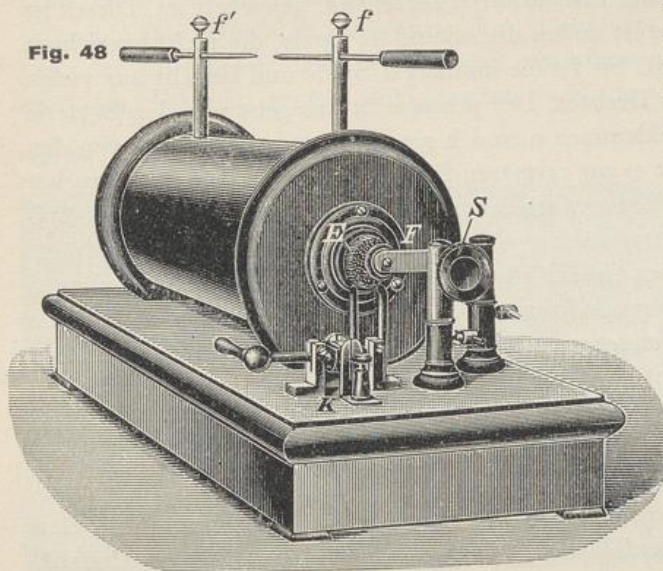
DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

unterbrochen, folglich auch der Elektromagnet nicht mehr magnetisch. Infolgedessen wird n durch die Feder o o wieder in die Höhe geschleudert und die Verbindung mit c wiederhergestellt, und nun beginnt das Spiel von neuem. Es findet also durch diesen Apparat von selbst eine fortwährende Schließung und Unterbrechung des Stromes statt und dadurch zugleich eine hin und her schwingende Bewegung des Ankers.

Ein solcher Hammer bewirkt nun bei einem Induktionsapparat rasch aufeinanderfolgende selbsttätige Öffnungen und Schließungen des primären Stromes. Man nennt ihn hier den *Unterbrecher*. An dem Apparat Fig. 45 auf S. 51 ist ein solcher Unterbrecher bei E angebracht. Um bei den Induktionsapparaten die Spannung der entstehenden Induktionsströme zu vergrößern, bringt man immer in die primäre Spule noch ein Bündel von weichen Eisendrähten hinein, wie es Fig. 45 bei M zeigt. Dieses bewirkt nämlich, daß die Induktionen nicht bloß von dem entstehenden und vergehenden Strom, sondern auch von dem entstehenden und vergehenden Magnetismus der Eisendrähte erzeugt und dadurch stärker werden.

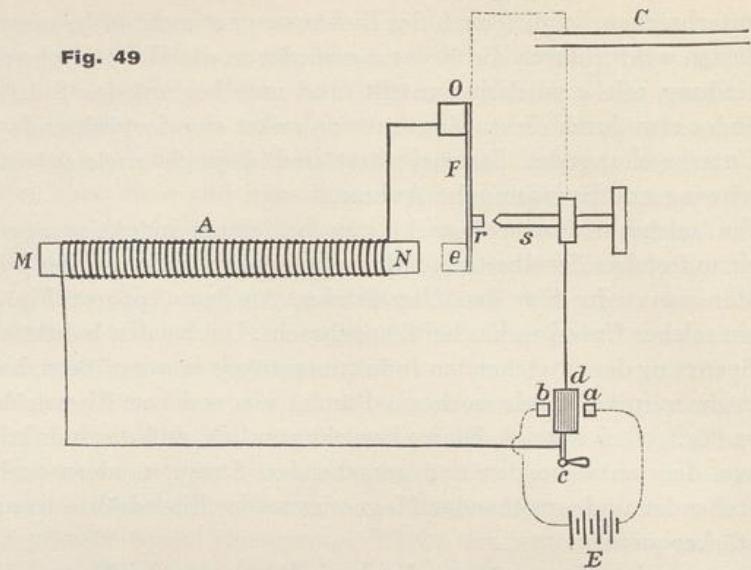
Fig. 48 zeigt einen größeren Funkeninduktor. Man sieht ganz innen den Eisenkern E etwas nach außen hervorragend. Um diesen ist zunächst die primäre Spule, dann, von der primären ganz isoliert, nach außen hin die sekundäre Spule gewickelt. Die beiden Spulen sind außen und seitlich von einer Ebonithülle bedeckt. Die Enden der sekundären Spule gehen in die Metallklemmen f und f' aus, welche die *Pole* des Induktionsapparates genannt werden. Zwei verschiebbare Metallstangen mit Ebonitgriffen, welche durch f und f' gesteckt sind, erlauben die Enden der sekundären Rolle einander zu nähern oder voneinander zu entfernen. Die Unterbrechung des primären Stromes geschieht durch einen Federunterbrecher F . Der Federunterbrecher ist ein Neef'scher

Fig. 48



Hammer, bei welchem der Eisenkern der primären Spule selbst als Elektromagnet dient. Bei der Trennung der Feder des Hammers von der Spitze entstehen aber Funken zwischen ihnen, welche die Wirksamkeit des Apparates schwächen. Um diese Schwächung zu beseitigen, verbindet man die Feder einerseits, die Spitze andererseits mit je einer großen Fläche von Stanniolpapier, während beide Flächen durch

Fig. 49

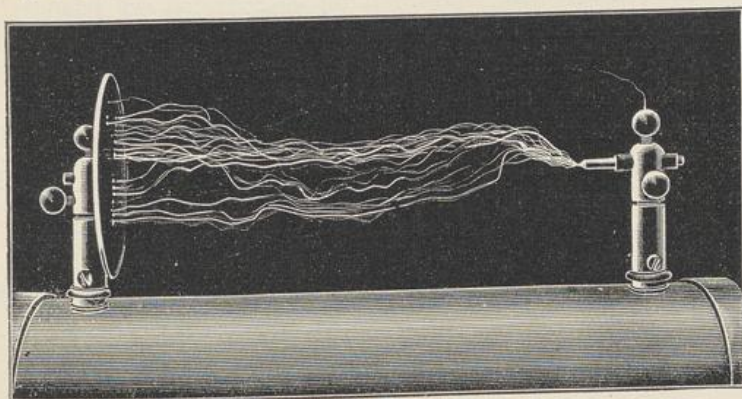


paraffiniertes Papier getrennt sind. Dieser Apparat ist ein *Kondensator* (S. 30) und liegt in dem Fußbrett des Induktors. Seine Wirkung beruht darauf, daß die sonst in dem Funken sich ausgleichenden Elektronen hier auf große Flächen verteilt sind, die dadurch, daß sie nahe beieinander stehen, einen geringeren Spannungsunterschied zwischen sich bewirken. Dadurch wird auch der Spannungsunterschied zwischen Spitze und Feder geringer, so daß die Funken zwischen ihnen schwächer werden oder ganz aufhören. Das Schema des ganzen Induktionsapparates ist in **Fig. 49** gezeichnet. Man sieht in dieser eine Drahtspule aus dickem Draht, A, die über einen Eisenkern M N, aus einem Bündel Eisendrähten bestehend, gewickelt ist. Dieses ist die primäre Spule. Um sie ist außen die sekundäre Spule, die nicht gezeichnet ist, isoliert herumgewickelt. Sie ist die induzierte Spule und besteht aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes. Der primäre Strom geht von der Batterie E zunächst zu den Mittelklemmen a und b eines Kommutators, und von den Endklemmen c und d geht er zur primären Spule, aber durch den Unterbrecher hindurch. Dieser besteht hier einfach aus einer Feder F, die an einem Fuß O befestigt ist und die ein Eisenstück e gerade dem Eisenkern N gegenüber trägt. Auf der anderen Seite trägt sie ein Platinstück r, welches gegen die Spitze s, die verstellbar ist, sich anlegen oder von ihr sich fortbewegen kann. Zwischen s und r ist der erwähnte Kondensator C parallel geschaltet, indem s sowohl wie O mit je einer von zwei getrennten großen Metallflächen verbunden sind. Solche Induktionsapparate liefern nun außerordentlich hohe Spannungen, allerdings, wie man leicht übersieht, zunächst Spannungen nach abwechselnd verschiedener Richtung. Denn da die Induktionsstöße beim Schließen die entgegengesetzte Richtung haben wie beim Öffnen, so werden hierbei an den Polen Spannungsunterschiede ebenfalls von verschiedener Richtung hervorgebracht,

DIE INDUKTIONSERSCHEINUNGEN

d. h. bald ist die Spannung an f (Fig. 48) höher als an f' , bald umgekehrt. Wir wissen jedoch (S. 55), daß die beim *Öffnen* des primären Stromes entstehenden Induktionsspannungen viel höher sind als die beim Schließen, so daß also doch im wesentlichen nur die Induktionsströme durch *Öffnen* zur Wirksamkeit kommen und daher dauernd der eine der Pole eine höhere Spannung erreicht als der andere. Bei diesen hohen Spannungen zeigt sich nun sehr auffallend die Erscheinung, daß zwischen den Polen glänzende, klatschende *elektrische Funken* überspringen. Wir können hier leicht, je nach der Größe der Funkeninduktion, Funken von 1 cm, ja von 10, von 50 cm und sogar von über 1 m Länge erhalten. Der Anblick eines solchen Funkenstromes zwischen den Polen eines Induktionsapparates ist durch **Fig. 50** gegeben. Durch die hohe Spannung wird die isolierende Luftschicht durchbrochen, und in dem Funken findet ein Ausgleich der Spannungen statt. Je stärker der Spannungsunterschied zwischen den Enden der sekundären Rolle, also zwischen den Polen des Induktionsapparates, ist, umso weiter können die Polenden (die Enden der Metallstangen von f und f' in Fig. 48) voneinander entfernt werden, ohne den Funkenübergang aufhören zu lassen. Es ist daher umgekehrt die Größe des Abstandes, in dem gerade noch Funken übergehen, die sogenannte *Schlagweite*, ein Maß und ein Kennzeichen für die Größe des erzeugten Spannungsunterschiedes, den man kurz die *Spannung* des Induktors nennt. Deswegen klassifiziert man die Induktionsapparate nach dieser Schlagweite und spricht von Apparaten mit 5, 10, 15 cm usw. Schlagweite. Schlagweiten bis 25 cm lassen sich durch verhältnismäßig kleine und einfache Apparate erzeugen. Es kommt immer auf die Zahl der Umwindungen der sekundären Rolle an. Einen ungefähren Anhalt über die Abhängigkeit der Schlagweite von der sekundären Windungszahl erhält man durch die Angabe, daß zur Erzeugung von je 10 cm Schlagweite immer zirka 10 000 bis 15 000 Windungen auf die sekundäre Spule aufgebracht werden müssen. Diese Angabe ist aber nur eine ungefähre, die Stärke des primären Stromes, die Zahl der Unterbrechungen pro Sekunde beeinflussen natürlich diese Angabe erheblich. Bei sehr großen Schlagweiten, von 100 cm und mehr, macht die

Fig. 50



DRITTES KAPITEL

Herstellung genügender Isolation gegen die hohen Spannungen große Schwierigkeiten. Doch werden solche großen Apparate jetzt in tadelloser Ausführung von verschiedenen Fabriken erzeugt.

Bei den großen Induktionsapparaten werden Unterbrecher benutzt, die für starke Ströme und für Spannungen von 100 oder 200 Volt eingerichtet sind, während der Federunterbrecher nur für höchstens 10 Volt geeignet ist. Sehr vorzügliche Unterbrecher für starke Ströme sind die sogenannten *Gasunterbrecher*, bei denen durch einen Quecksilberstrahl, der aus einer Düse oder Rinne ausströmt und bei dem durch einen Motor diese Düse oder Rinne im Kreise herumgedreht wird, abwechselnd Kontakt gemacht und unterbrochen wird.

Fig. 51 zeigt einen solchen Apparat, den *Konstantunterbrecher* der Siemens-Reiniger-Weißwerke. Oben ist ein Elektromotor, in welchen der Strom einer Zentrale eingeführt wird. Der Motor dreht sich und mit ihm die nach unten führende Röhre, welche in Quecksilber eintaucht und durch die Zentrifugalkraft dasselbe in die seitlichen Rinnen steigen läßt, aus denen es ausströmt, wobei es abwechselnd die darüber gezeichneten Metallplatten trifft und dadurch Kontakt macht oder nicht trifft und dadurch den Strom unterbricht, der durch die beiden sichtbaren, auf dem unteren Teil sitzenden Klemmen den Kontaktplatten zugeführt wird. Die Apparate heißen Gasunterbrecher, weil sie, um die Oxydation des Quecksilbers zu vermeiden, mit Leichtgas gefüllt sind.

Wenn man sich die Wirkung eines Funkeninduktors näher überlegt, so sieht man, daß man in die primäre Spule einen Strom von etwa 100 Volt Spannung, aber ziemlich großer Stärke, hineingibt und daß man aus der sekundären Spule Ströme von vielen tausenden Volt Spannung, aber von entsprechend geringerer Stärke herausbekommt. Der Funkeninduktor ist nach dieser Betrachtung ein *Transformator*, er transformiert starke Ströme von geringer Spannung in Ströme von sehr hoher Spannung, aber entsprechend geringerer Stärke. Denn da man Energie nicht gewinnen kann, sondern durch Unvollkommenheiten nur verlieren, so kann der Effekt des sekundären Stromes höchstens gleich dem des primären Stromes sein. Gewinnt man also viel höhere Spannung im sekundären Leiter, so muß die Stromstärke in ihm entsprechend geringer sein.

Fig. 51

