

§. 95.

Durch Elektricität (unmittelbar) erzeugte inducirte Ströme. Extra- oder sekundäre Ströme. Induktions-Phänomene beim Deffnen der galvanischen Kette. Drahtbündel statt des massiven Eisenkern's. Induktions-Erscheinungen bei Entladung der Leidner Flasche.

Aber nicht bloß durch Magnetismus werden inducirte Ströme hervorgebracht, sondern auch direkt durch Elektricität, ohne vorher durch diese erregten Magnetismus. (S. 93.) Es bedarf nur der nahen Lage eines isolirten Leiters an den von einem elektrischen Strom durchzogenen Leiter, um jenen durch Induktion elektrisch zu machen. Zum Beweise dessen umwicke man einen Cylinder mit einem langen mit Seide übersponnenen oder überfirnisten Kupferdraht in schraubenförmigen Windungen, die nicht dicht an einander liegen; winde dann in die frei gebliebenen Zwischenräume in entgegengesetzter Richtung einen andern eben so beschaffenen und vorbereiteten Draht ein, so daß der Cylinder von zwei parallel laufenden Spiralen umgeben ist. Hierauf verbinde man die amalgamirten Endstücken der einen Spirale mit den beiden Elementen einer einfachen galvanischen Kette: so wird, durch den die so geschlossene Spirale durchströmenden elektrischen Strom, in der neben ihr eingewundenen andern Spirale ebenfalls ein elektrischer Strom eingeleitet (inducirt), der, wenn die Spirale durch Verbindung ihrer Enden mit den Nerven eines präparirten Froschschenkels oder mit den Drahtenden eines Multiplikators geschlossen ist, sich durch Zuckungen in jenen oder durch Ablenkung der Magnetnadel in diesem (beim Wiederöffnen der galvanischen Kette nach entgegengesetzter Seite) und überhaupt durch dieselben Erscheinungen sich ausweist, welche in S. 92. u. 97. als Wirkungen inducirter Ströme aufgezählet sind. Die Einrichtung der Apparate zu Erregung von derlei inducirten Strömen läßt die verschiedensten Abänderungen zu. Nach Faraday werden selbst durch Annäherung eines Drahtes an einen Rheophor inducirte Ströme in jenem hervorgerufen, wenn die beiden Drähte nur im Zickzack oder in Form eines W oder überhaupt so neben einander gebracht werden, daß sie eine Strecke lang neben einander hinlaufen.

Man pflegt diese inducirten Ströme auch Extra- oder sekundäre Ströme zu nennen; eine Bezeichnung, die auch für die durch Magnetismus erregten (magnetoelektrischen) paßt, wenn man mit Ampère den Magnetismus seinem Wesen nach als das Resultat elektrischer Ströme ansieht. (S. 63, 71 u. 86.) Im Gegensatz zu diesen heißen dann die ursprünglichen elektrischen Ströme, durch deren inducirende Wirkung sie erregt werden, primäre Ströme.

Faraday hat auch zuerst gezeigt, daß nicht nur ein Strom während seines Verschwindens einen Strom von gleicher Richtung in einer jeden in seiner Nähe befindlichen und einen geschlossenen Leiter bildenden Metallmasse, sondern auch in dem Schließungsdrahte selbst erzeugt, durch den er floß — und daß er sich dadurch in seiner Wirkung verstärkt. Aus dieser Selbstverstärkung eines Stromes ist die Erklärung zu der ebenfalls von Faraday gemachten Entdeckung zu entnehmen, daß man, den bisherigen Erfahrungen entgegen, nach welchen Erschütterungen des menschlichen Körpers (physiologische Wirkungen) nur mit einer Volta'schen Säule, die aus vielen Plattenpaaren besteht, bewirkt werden können (S. 47.), diese Wirkung auch durch Anwendung einer einfachen Kette erzielen kann, wenn diese geöffnet wird und der Schließungsdraht sehr lang ist. Noch intensiver werden diese Wirkungen, wenn der lange Schließungsdraht zu einer Spirale aufgewunden ist; indem dann bei dem Öffnen der Kette das damit verbundene Verschwinden des elektrischen Stromes aus jeder einzelnen Windung des Drahtes auf die nebenliegenden Windungen inducirend wirkt, und dadurch eine neue Verstärkung des Stromes vermittelt — und noch intensiver, wenn in der Spirale ein weiches Eisen liegt, das durch die Umkreisung des Stromes magnetisch wird, wo dann durch das bei der Unterbrechung des Stromes erfolgende Verschwinden desselben in der Drahtspirale auch die elektrischen Ströme in dem Eisen (welche nach Ampère den Magnetismus in diesem bedingen) aufhören, und dadurch eine abermalige Verstärkung des Stromes bei seiner Unterbrechung herbeigeführt wird. Magnus hat in sehr instruktiven und umfassenden Versuchen die Verhältnisse erforscht, durch welche diese Verstärkungen durch Induktion von Strömen modificirt werden. Sein Apparat dazu ist eine Hare'sche Zinkkupferkette, in welcher jede Platten-

spirale 1 □ F. Oberfläche hat. In jede der Platten ist ein Quecksilbernapfchen zur Aufnahme der beiden Schließungsdrähte gelöthet, und neben jedem dieser Napfchen eine messingene cylinderförmige 5" lange und 1¼" dicke Handhabe. Als leitende Flüssigkeit dient verdünnte Schwefelsäure. Dazu gehört ein Elektromagnet (von 140 Pf. Ziehkraft) in Hufeisenform, 14" lang und etwas mehr als 1" dick; auf dessen Schenkel beiderseits eine Messinghülse (Fig. 46.) geschoben ist, um welche etwa 1400 F. umspinnener dünner Kupferdraht gewickelt sind, so daß auf jede Hülse die Hälfte kommt. Faßt man mit beider Händen die beiden Handhaben des galvanischen Apparates, während der Elektromagnet mit ihm in Berührung ist, und hebt man durch Herausnehmen der einen Platte den Schluß der Kette auf: so empfindet man Zuckungen in den Handgelenken, die nach Belieben verstärkt und geschwächt werden können. Verstärkt werden sie, wenn der elektrische Strom der Kette langsam — vermindert, wenn er schnell abgebrochen wird. Um diese Verschiedenheit zu gewahren, öffnet man die Kette nicht durch Ausheben des einen oder andern Erregers, sondern stellt zu diesem Behufe zwei etwas weite Quecksilbernapfe auf, welche mit dem elektrischen Apparate in Verbindung stehen, und in welche die Drahtenden des Elektromagnetes anderseits eingetaucht sind. Wird bei Unterbrechung der Kette der eine der Drähte aus dem Quecksilber rasch und senkrecht herausgehoben, so erscheinen die Zuckungen nur schwach; sehr stark dagegen werden sie empfunden, wenn man den Draht allmählig und in schräger Richtung herausnimmt und dadurch seine Trennung von der Oberfläche des Quecksilbers verlangsamt. Der Schlüssel zu dieser Erscheinung liegt darin, daß, wenn die Unterbrechung der Kette sehr schnell geschieht, keine Leitung mehr für den durch das Verschwinden des elektrischen Stromes inducirten Strom mehr zugegen, und sein Entstehen daher unmöglich ist; während auf der andern Seite durch ein langsames Entfernen des Drahtes seine vollkommene Bildung in der ganzen Masse des Drahtes möglich gemacht wird. Wenn während dieses Versuches die Pole des Elektromagnetes mit einem Anker geschlossen sind, so werden die Zuckungen äußerst schwach empfunden, wovon Magnus als Grund bezeichnet, daß der Anker, sobald er an den Magneten angelegt wird, mit entgegengesetzten Polen selbst magnetisch wird, und dadurch die Wirkung des erstern und seine in-

ducirende Kraft auf die Drahtspirale aufhebt, so daß nur derjenige Strom allein zur Wirksamkeit kommt, den der Leitungsdraht durch Induktion auf sich selbst erregt.

„Wenn — bemerkt Magnus — der Schließungsdraht allein, ohne alles Eisen, angewendet wird, zu welchem Ende die Schenkel des Magnetes aus den Drahtspiralen herausgenommen werden: so bekommt man ungleich stärkere Zuckungen, als diejenigen, welche bei eingebrachtem Eisen mit angelegtem Anker erfolgten. Hieraus geht hervor, daß die Wirkung des Ankers nicht allein darin besteht, die Wirkung der Induktion aufzuheben, sondern daß derselbe noch eine andere Wirkung ausübt, welche der Induktion des Drahtes auf sich selbst entgegen wirkt. Es darf übrigens nicht unerwähnt bleiben, daß die Zuckungen, die bei Anwendung des spiralförmigen Schließungsdrahtes allein erhalten werden, nur wenig schwächer sind, als die, welche nach Einführung des Eisens ohne Anker erfolgen. Ohne Zweifel rührt die geringe Verstärkung durch das Eisen davon her, daß bei dem angewandten Elektromagneten die Masse des Drahtes sehr bedeutend ist zu der des Eisens, und daß deshalb die inducirende Wirkung des Drahtes auf sich selbst ebenfalls so bedeutend ist, im Vergleich zu der des Eisens auf den Draht, daß diese letztere kaum in Betracht kommt. Wird ferner, um auch die inducirende Wirkung des Eisens auf den Draht allein zu erhalten, der Magnet wieder in die Drahtspiralen gesteckt, hierauf der Anker angelegt und nun die Leitung unterbrochen, so bleibt der letztere an dem ersten hängen; ein Zeichen, daß das Eisen noch magnetisch ist, was aber, da der Draht geöffnet ist, nicht von einem in diesem vorhandenen Strome kommen kann. Werden nun die Handhaben, welche an den Enden des Drahtes befestigt sind, in den befeuchteten Händen gehalten, und dadurch eine leitende Verbindung zwischen den Enden des Drahtes mittels des Körpers hergestellt, und alsdann der Anker abgerissen; so erhält man eine Zuckung, die stärker oder schwächer ist, je nachdem der Anker plötzlich abgerissen oder nur abgeschoben wird. Diese Zuckungen sind offenbar nur eine Wirkung der Induktion des Eisens auf den Draht. So lange der Anker an dem Eisen haftet, hebt er die magnetische Wirkung desselben auf. Werden aber beide getrennt, so verschwindet der Magnetismus und es entsteht durch Induktion ein Strom in dem Draht, der von gleicher Richtung ist, als der,

welcher den Magnetismus in dem Eisen erzeugt hat. Wenn der eben erwähnte Versuch so abgeändert wird, daß, während man die Handhaben in den befeuchteten Händen hält, zugleich eine metallische Verbindung zwischen den Enden des Drahtes Statt findet, die in dem Augenblicke unterbrochen wird, wo man den Anker von dem Eisen trennt: so erhält man eine außerordentlich heftige Zuckung, eben so stark, als von einer mäßig geladenen Leidner Flasche. Diese starke Wirkung scheint davon herzufließen, daß für das Entstehen des inducirten Stromes beim Abreißen des Ankers ein geschlossener Leiter vorhanden seyn muß. Besteht dieser, auch nur theilweise, aus einem schlechten Leiter, wie der menschliche Körper ist: so wird kein so starker Strom entstehen können, als bei Anwendung eines vollkommenen metallenen Leiters. Wird ein solcher vollkommener metallischer Leiter in dem Augenblicke unterbrochen, wo der Strom schon in ihm entstanden ist, und tritt dabei, statt der metallischen Verbindung, die Verbindung durch den Körper ein: so wird der nun in dem metallischen Leiter gebildete stärkere Strom durch den Körper gehen, und also eine stärkere Zuckung veranlassen, als wenn bei dem Entstehen des Stromes die Leitung nicht vollkommen metallisch ist. Besonders auffallend aber ist es, daß in diesem Falle die Zuckung, welche allein von der inducirenden Wirkung des Eisens herrührt, ungleich stärker ist, als die Zuckungen, welche, durch Anwendung eines Elektromagneten ohne Anker, beim Öffnen der Kette erhalten werden, wiewohl bei diesen nicht nur das Eisen, sondern auch der Schließungsdraht selbst inducirend wirkt. Hiervon liegt der Grund darin, daß eine Volta'sche Kette zwar ein in sich geschlossener Leiter ist, der aber zum Theil aus einem vollkommenen Leiter, dem metallischen Schließungsdraht, zum Theil aus einem weniger vollkommenen, nämlich der Flüssigkeit, besteht, die zwischen den Platten steht. In einem so beschaffenen geschlossenen Leiter wird niemals ein eben so starker Strom durch Induction entstehen können, als in einem durchgängig metallischen. Es wird deshalb die inducirende Kraft des Eisens beim Abreißen des Ankers in dem durchgängig metallischen Leiter einen viel stärkeren Strom erzeugen, als die inducirende Kraft des Eisens und des Schließungsdrahtes in dem unvollkommenen Leiter, den die Kette darbietet. Es ist überhaupt denkbar, daß die Wirkung eines galvanischen Stromes viel stärker seyn würde, wenn bei seiner Er-

zeugung kein feuchter Leiter angewendet zu werden brauchte, so daß der Schließungsdraht durch eine metallische Leitung in sich zurückkehren könnte; gerade so, wie dieß bei den durch Induktion erregten Strömen der Fall ist.“ *Pog. Ann.* Bd. 35, S. 413. Bd. 38, S. 417.

Neuff hat mit Hülfe seines unter dem Namen eines „Bligrades“ bekannten Apparates (S. 97.) die durch Magnet-Electricität bewirkte Verstärkung des Entladungsschlages einer einfachen Volta'schen Kette so modificirt, daß er eine rasche Reihenfolge von kräftigen magnet-elektrischen Entladungsschlägen hervorzubringen im Stande ist. Es ist hierzu eine einzige um einen Eisenern gewundene Spirale erforderlich. Man setzt das eine Ende derselben mit dem einen Pole der Kette in Verbindung, das andere aber mit dem vertikalen Entladungstreifen, welcher mit seinem obern umgebogenen Ende auf den isolirenden Einsatzstücken des Bligrades liegt, welches letztere wiederum mit dem andern Pole der Kette in Verbindung steht. Verbindet man sodann Quecksilbergefäße mit den Enden der Spirale, und taucht die mit kupfernen Cylindern bewaffneten Hände in diese ein: so empfindet man, wenn das Blihrad gedreht wird, durch den hiermit verbundenen raschen Wechsel im Öffnen und Schließen der Kette, fortdauernde heftige Zuckungen in den Armen, die nicht minder unangenehm für das Gefühl sind, als wenn die Kupfer- und Zinkmasse der einfachen Kette in vielen kleinen Platten zu einer Volta'schen Säule über einander geschichtet wäre.

Von Munké ist die Verstärkung eines ursprünglichen elektrischen Stromes durch die Wirkung eines Induktions-Multiplikators auch sehr schön beim Öffnen einer Thermo-Säule gezeigt, und damit zugleich ein evidenter Beweis für die Identität des thermo-elektrischen mit dem hydro-elektrischen Stromes geliefert worden. (S. 106.)

Nach einer zuerst von Sturgeon und Bachhoffner gemachten Wahrnehmung werden die beim Öffnen einer einfachen galvanischen Kette entstehenden Zuckungen ausnehmend verstärkt, wenn man statt eines einfachen massiven Eisens ein Bündel von Eisendrähten, z. B. Stricknadeln, in den mit der Kette verbundenen Induktions-Multiplikator (am Besten gerade in die Mitte der Spirale) bringt; wobei es gleichgültig ist, ob die angewendeten Drähte von weichem Eisen oder gut gehärtete Stahldrähte, wie z. B.

die englischen Stricknadeln, sind, wohl aber der Effekt noch vergrößert wird, wenn die Drähte durch Ueberspinnen mit Seide von einander isolirt und so lang sind, daß sie zu beiden Seiten aus der Spirale etwas herausragen. In gleicher Weise werden nach Magnus, der die Erklärung dieses sonderbaren Phänomens sich zum eifrigen Studium machte, die Zuckungen auch verstärkt, wenn, statt des vorher in der Spirale liegenden cylindrischen Eisenkerns, ein Rohr von dünnem verzinnem Eisenblech, von demselben Umfange als der massive Cylinder, oder auch ein Rohr mit dickern Wänden, z. B. das Fragment eines Flintenlaufes, das aber seiner Länge nach aufgeschlitt ist, eingeschoben wird. Pogg. Ann. Bd. 48, S. 95. Wiederholungen dieser Versuche in dem Induktions-Multiplikator thermo-elektrischer Apparate geben gleiche Resultate.

Bisher war hauptsächlich von der durch Galvanismus erzeugten elektrischen Induktion die Rede. Durch Rieß, Henry, Matteucci, und andere Physiker ist aber verificirt, daß auch in einem dem Schließungsdrahte einer Leidner Flasche nahe stehenden geschlossenen Leiter während der Entladung jener, ein Nebenstrom von einer gewissen Richtung erweckt wird, der, wenn der Leiter an irgend einer Stelle eine Unterbrechung hat, in der Gestalt eines Funkens sichtbar wird und außerdem, wie jeder andere sekundäre Strom, durch physiologische, thermische, magnetische und elektrische Wirkungen, ja! selbst durch Rückwirkung auf den primären Strom, sich bemerkbar macht. Rieß in Dove's Repert. 1842. Bd. 6. S. 206 u. fg. und in P's. Ann. Bd. 47. S. 55., Bd. 50. S. 1., Bd. 51. S. 177 und 751. Henry und Rieß empfanden Erschütterungsschläge, als sie die mit Handhaben versehenen Enden eines Knäuels von 3800 Fuß überspannenem Kupferdraht, der in einer, von außen mit 60 F. eines (mit Band isolirten) Kupferstreifens umwickelten, Glasglocke lag, mit beiden Händen faßten, und mit den Enden jenes Kupferstreifens eine Leidner Flasche entluden. Die erwärmende Wirkung des Nebenstromes gewahrte Rieß mit Hülfe zweier über einander gelegter durch eine Glasröhre getrennter Drahtspiralen, von 8 und bezüglich 16 Fuß Länge. In die, den sekundären Strom leitende Spirale waren 12 Zoll Platindraht eingeschaltet, der in die Kugel eines kleinen Luftthermometers ging, und durch den leisesten Strom so erwärmt wurde, daß die Flüssigkeit des Thermometers sich bewegte. Der

magnetisirenden Eigenschaft des Nebenstromes kam Rieß durch Hülfe zweier Drahtspiralen auf die Spur, von denen die eine, aus  $7\frac{1}{2}$  F. Kupferdraht bestehend, um eine  $5\frac{1}{2}$  Zoll lange und  $7\frac{1}{2}$  Linien dicke Glasröhre in 81 Touren, und die andere 10 F. lange über eine größere zweite Glasröhre von 4 Zoll 9 Linien Länge und  $4\frac{1}{2}$  Linien Weite, gelegt war. Die weitere Röhre war über die engere gestülpt. Als er die Enden der äußern Spirale mit einer kleinen Spirale, in der eine Nähnadel lag, leitend verband und mit der innern Spirale eine elektrische Batterie entlud, fand er, daß die Nadel magnetisch geworden war. Henry versicherte sich von derselben Wirkung durch ein ähnliches Verfahren. Er befestigte einen 30 F. langen schmalen Streifen Zinnfolie spiralförmig auf der innern Seite eines hohlen 6 Z. weiten Glaszylinders, und einen ähnlichen Streifen, mit jenem parallel, auf der äußern Seite. Die Enden des erstern setzte er mit einer kleinen Drahtspirale in Verbindung, in welche er eine noch nicht magnetisirte Compagnadel gelegt hatte. Diese wurde magnetisch, sobald er eine geladene Flasche durch die äußere Spirale entlud. Marianini beobachtete das Magnetischwerden eines weichen Eisendrahtes an der Bewegung einer über diesem balancirenden Magnetnadel, als er den sekundären Strom durch eine Schraube von Kupferdraht leitete, die um den Eisendraht aufgerollt war. Um den elektrischen Effect des Nebenstromes wahrzunehmen, darf die ihn aufnehmende Spirale nicht geschlossen seyn, sondern sie muß eine Unterbrechung haben, wie zur Sichtbarmachung eines Funkens. Man bringt dann ihre beiden Enden auf die entgegengesetzten Flächen eines nicht zu dünnen Harzkuchens, wo dann bei dem Eintritt des Stromes die bekannten Lichtenberg'schen Figuren sich gruppiren. Mit Beihülfe eines Condensators lassen sich selbst die beiden Bestandtheile dieser Art von Induktions-Electricität isolirt ansammeln und untersuchen. Chemische und galvanometrische Wirkungen damit auszuführen ist Rieß bis jetzt vergeblich bemüht gewesen. Desto befriedigender sind aber dessen Untersuchungen über die Richtungen, über die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom, und über die übrigen Eigenschaften und Verhältnisse desselben ausgefallen. Repertor a. a. D. S. 211 bis 256.

Bei der Gleichheit der atmosphärischen Electricität mit der durch



Kunst erzeugten ist die Kenntniß der inducirten Ströme für die Anlegung von Blitzableitern von Wichtigkeit, da, wenn in der Nähe der Kommunikations- oder Ableitungstangen sich größere Metallmassen befinden, welche mit jenen nicht in leitende Verbindung gebracht werden, es leicht geschehen kann, daß der in den Stangen herunterschließende Blitz einen Nebenstrom in dem Metalle erzeugt, welcher eben so verheerend wirken kann, als der Blitz selbst. — Als eine Wirkung der elektrischen Induktion ist auch der schon oft tödtlich gewesene Seiten- oder Rückschlag beim Einschlagen des Blitzes zu betrachten. (S. 24.)\*

§. 96.

Funkenströme, durch Magnet-Elektricität erzeugt. Verschiedene magneto-elektrische Funken-Apparate. **Vigii'scher** magneto-elektrischer Rotations-Apparat. **Pohl's** elektromagnet-elektrische Maschine.

Die erste Erscheinung, durch welche Faraday die Gegenwart eines magneto-elektrischen Stromes wahrnahm, war ein Licht-Phänomen, nämlich ein elektrischer Funke. Das Verfahren, das er zu Hervorbringung desselben einschlug, besteht der Hauptsache nach darin, daß er den mit vielen Drahtwindungen umgebenen Anker eines starken Hufeisenmagnets (der bald ein gewöhnlicher, bald ein durch Galvanismus temporär erzeugter war), während das eine Ende des Drahtes in Quecksilber eingetaucht, das andere Ende aber der Oberfläche des Quecksilbers möglichst nahe gehalten wurde — rasch von dem Magnete abriß und dann eben so rasch wieder an die Pole desselben ansetzte. Es entstand dann im Augenblicke der Trennung und Schließung des Ankers zwischen dem freien Ende des Drahtes und dem Quecksilber ein kleiner elektrischer Funke, der sich durch wiederholtes schnelles Abreißen und Aufsetzen des Ankers in einer Sekunde mehrere Mal sichtbar machen ließ. Da es sehr schwer hält, das eine Drahtende gerade in dem Augenblicke, wo der Anker abgerissen oder angelegt wurde, nahe genug an die Oberfläche des Quecksilbers zu bringen: so änderten mehrere Physiker, namentlich Strehlke und Faraday selbst, die Vorrichtung auf verschiedene Art ab. Die Strehlke'schen Abänderungen versinnlicht Fig. 47, a und b, die Faraday's Fig. 48. Der Anker des Hufeisenmag-