

Die Natur der Funken bei den Hertz'schen elektrischen Schwingungen.

Von

Ed. Hagenbach-Bischoff und L. Zehnder.

In den letzten Jahren sind hauptsächlich von Hrn. H. Hertz eine Anzahl Arbeiten erschienen, um durch das Experiment die Richtigkeit der Faraday-Maxwell'schen Anschauung zu beweisen, nach welcher die Fernwirkungen der Induction gedeutet werden als eine durch Wellenfortpflanzung übertragene Energie, ähnlich wie das beim Schall, beim Licht und bei der strahlenden Wärme stattfindet. Es haben diese bedeutenden Arbeiten das grösste Aufsehen erregt, da dadurch der längst gesuchte Zusammenhang von Licht und Electricität eine ganz bestimmte Form erhielt, und der Unterschied von Lichtstrahlung und elektromagnetischer Strahlung wesentlich auf die verschiedene Grösse der Schwingungszahlen zurückgeführt wurde. Wir haben uns die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, ob die Erscheinungen der elektrischen Schwingungen, so weit sie dem Versuch und der Messung zugänglich sind, uns mit Notwendigkeit zur Annahme der neuen Anschauungen zwingen, oder ob sie nicht aus den bekannten allgemein anerkannten Gesetzen der Induction in vollkommen befriedigender Weise sich erklären lassen.

Vorerst wiederholten wir den höchst interessanten Versuch mit den parabolischen Spiegeln genau nach der Angabe von Hrn. Hertz¹⁾, und während wir in manchen Punkten seine Resultate genau bestätigt fanden, stiessen wir doch auch auf Erscheinungen, welche die Analogie von Lichtstrahlung und elektromagnetischer Strahlung nicht erwarten liess. So fiel es uns z. B. sehr auf, dass bei mehreren unserer Versuche eine Blechtafel ebensowohl die Funkenbildung im sekundären Leiter aufhob, wenn sie in der Längsstellung, als wenn sie in der Querstellung dazwischen geschoben wurde.



Querstellung



Längsstellung

Wir kamen bald zu der Ueberzeugung, dass ein richtiger Einblick in die Vorgänge beim primären und beim sekundären Leiter nur möglich ist, wenn die Beobachtung des Funkens durch Versuche mit elektrischen Messapparaten controllirt wird. Für diese Untersuchungen benützten wir zuerst eigens zu diesem Zwecke construirte Elektroskope mit dünnen Aluminiumblättchen, deren Ausschläge vermittelst eines mit Ocularmikrometer versehenen Mikroskopes abgelesen wurden. Obschon diese Beobachtungsart uns manche gute Dienste leistete, unter Anderem auch den von verschiedenen Forschern untersuchten Einfluss der Verlängerung der sekundären Leitung auf die periodische Zunahme und Abnahme der Inductionserscheinung zu untersuchen gestattete, haben wir

¹⁾ H. Hertz. Ueber Strahlen elektrischer Kraft. Wied. Ann. XXXVI, S. 769.

dieselbe dennoch wieder verlassen, da mannigfache störende Einflüsse die Resultate trübten, und uns den gewöhnlichen allgemein angewandten Messinstrumenten, dem Elektrometer und dem Galvanometer, zugewandt; unsere Hoffnung, dass auch diese reagiren, hat sich in vollem Grade erfüllt.

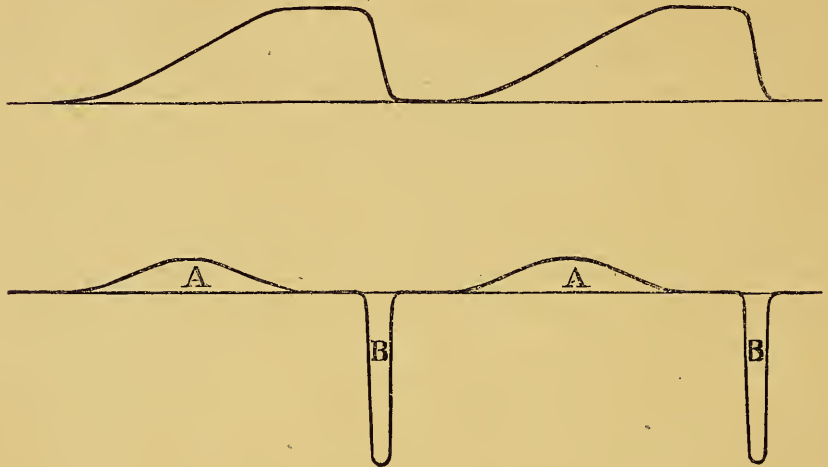
Elektrische Vorgänge im primären Leiter.

Bei unseren Versuchen gaben wir den beiden Hälften des primären Leiters, zwischen welchen die Funken übersprangen, genau die von Hrn. Hertz angewandte Form und Grösse. Als Erreger wandten wir ein Ruhmkorff'sches Inductorium an, dessen Inductionsspule eine Länge von 35 cm. und einen Durchmesser von 15 cm. hatte; die Unterbrechung des von drei Accumulatoren gelieferten etwa 20 Ampère starken Stromes besorgte ein Deprez'scher sehr schnell hin und her schwin- gender Interruptor.

Obwohl die Theorie dieser grossen Inductorien im Allgemeinen bekannt ist, fanden wir es doch nötig, durch Versuche unseren Ansichten über den Vorgang im primären Leiter einen sicheren Halt zu geben.

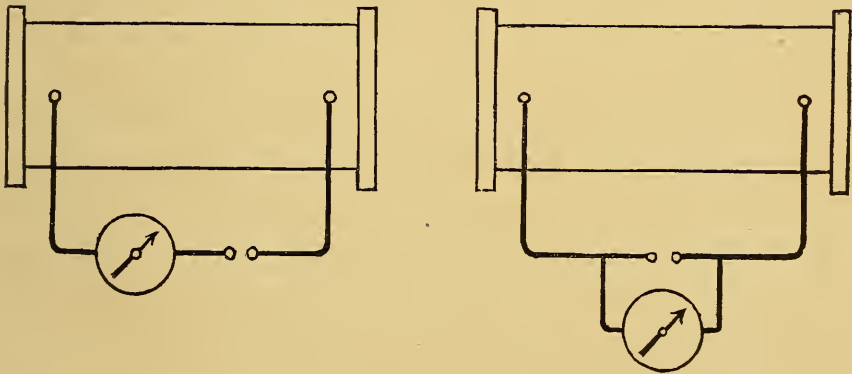
Extrastrom, Condensator und Interruptor bewirken, dass der durch die inducirende Spule laufende Strom langsam ansteigt, möglichst kurze Zeit constant bleibt, plötzlich auf Null abfällt, um dann sofort wieder langsam anzusteigen und so weiter, wie dies durch die obere Curve der nächsten Seite angedeutet ist, bei welcher die Abscissen die Zeit und die Ordinaten die Stromintensitäten \mathcal{S} darstellen. Nun ruft jede Aenderung dieser Stromstärke in der Inductionsspule einer elektromotorischen Kraft E , welche der Grösse dieser Aenderung $d\mathcal{S}/dt$ proportional ist. Es zeigt das die untere Curve, bei welcher die Abscissen die gleiche Zeit und die Ordinaten die den

Differentialquotienten der oberen Curve proportionalen Werte von E darstellen, wodurch die Flächen A und B gleichen Inhalt bekommen. Wenn nun die Inductionsspule durch einen leitenden Draht geschlossen ist, so wird derselbe entsprechend der Schliessung und Oeffnung des inducirenden Stromes von entgegengesetzt gerichteten



Inductionsströmen durchflossen, deren Intensitäten wir J nennen wollen; da die den Werten $\int E dt$ entsprechenden Flächen A und B gleich sind, so haben bei constantem Widerstande auch die nach beiden Richtungen gehenden Integralströme $\int J dt$ gleichen Wert, das heisst, es fliesst im Ganzen nach links und nach rechts die gleiche Elektrizitätsmenge. Es zeigt deshalb die Nadel eines eingeschalteten langsam schwingenden Galvanometers, wenn man durch Schluss und Oeffnen des Hauptstromes mit der Hand gesondert nur den einen oder nur den andern der beiden inducirten kurze Zeit andauernden Integralströme einwirken lässt, genau gleiche Ausschläge nach links und nach rechts. Folgen jedoch bei Einschaltung des Interruptors die Unterbrechungen hinlänglich schnell auf einander, so kann die Nadel des

Galvanometers den entgegengesetzten Stößen nicht folgen und bleibt deshalb auf dem Ruhepunkt stehen; nur am Anfang zeigt sich ein Ausschlag nach der einen und am Ende ein solcher nach der entgegengesetzten Seite. Sehr verschieden sind jedoch, wie die Curve zeigt, die beiden Ströme in Bezug auf die Spannung, die sie zur Ueberwindung eines Widerstandes aufbieten können; der Inductionsstrom, welcher der Oeffnung des Hauptstromes entspricht, ist der stärker gespannte, und der, welcher der Schliessung entspricht, der schwächer gespannte; so war z. B. bei unserem Apparate der Oeffnungsstrom im Stande eine Funkenstrecke von 40 mm., der Schliessungsstrom aber nur eine solche von 0,13 mm. zu überwinden. Wird deshalb in den Inductionsstrom nach dem Schema links eine Funkenstrecke eingeschaltet,



so zeigt das Galvanometer eine der Richtung des Oeffnungsstromes entsprechende Ablenkung an, welche mit Einführung der Funkenstrecke eintritt, bei Erweiterung derselben erst zunimmt, ein Maximum erreicht und dann wieder auf Null herabsinkt, wenn die Funkenstrecke so weit wird, dass keine Funken mehr springen. Eine Wirkung des entgegengesetzt gerichteten schwach gespannten Schliessungsstromes auf das Galvanometer erhält man durch eine Anordnung nach dem

Schema rechts, bei welcher sich der Oeffnungsstrom zum Theil durch die Funkenstrecke entladet, und deshalb der Schliessungsstrom im Galvanometer vorherrscht; es versteht sich von selbst, dass dieser Versuch nur gelingt, wenn die Funkenstrecke klein und der Widerstand im Nebenschluss des Galvanometers gross ist.

Bei dem für unsere Versuche angewandten primären Leiter war der Abstand der Elektroden in der Funkenstrecke nahezu 4 mm.; wir sind also berechtigt anzunehmen, dass nur der Oeffnungsstrom dieselbe überwinden konnte, und dass somit nur in diesem einen Sinn die Elektrizität übergang. Dieser einseitige Elektrizitätsübergang gibt sich auch sehr deutlich an den bekannten durch Substanzüberführung und Oxydation hervorgebrachten Priestley'schen Figuren zu erkennen, da nur die positive Seite die schwarzen Höcker und Löcher und nur die negative Seite die farbigen Ringe zeigte.

Jeder Oeffnung des Hauptstromes entspricht also ein in ganz bestimmtem Sinn überspringender Funke, der jedoch, wie die folgende Betrachtung zeigt, sich unter Umständen aus mehreren schnell auf einander folgenden Partialentladungen zusammensetzen kann. Gibt man nämlich bei gegebener Funkenstrecke den beiden Hälften des Leiters solche Capacitäten, dass die von dem einmaligen Oeffnungsstrome zufließende Elektrizität gerade zur Ladung auf das zur Ueberwindung der Funkenstrecke nötige Potential ausreicht, so wird nur ein Funke springen. Bringt man dann von dieser Stellung aus die beiden Elektroden in einen kleineren Abstand, so braucht es nur eine kleinere Potentialdifferenz und somit auch nur eine kleinere Elektrizitätsmenge bis der Funke springt; die von dem Oeffnungsstrom gelieferte Elektrizitätsmenge wird also ausreichen, um mehrere Male

hinter einander die beiden Hälften des primären Leiters bis zum Ueberspringen des Funkens zu laden. Die Anzahl dieser Partialentladungen wird mit der Verkleinerung der Funkenstrecke wachsen, und es würden dieselben in gleichen Zeitintervallen auf einander folgen, wenn die elektromotorische Kraft der Inductionsspule, unter deren Druck die Conductoren geladen werden, constant wäre; das findet aber höchstens während der kurzen Zeit der Maximalwirkung statt; so lange die elektromotorische Kraft wächst, werden die Intervalle abnehmen, und so lange dieselbe abnimmt, werden die Intervalle wachsen; die beistehende Figur mag diese veränderlichen Zeitintervalle andeuten.



Der Umstand, dass durch die vorangegangenen Partialentladungen die Funkenstrecke besser leitend wird, kann zur Folge haben, dass für die weiteren Partialentladungen eine kleinere Spannung nötig wird, und dass auch besonders bei kleiner werdender Funkenstrecke von der nachgelieferten Elektrizität immer mehr direct abfließt und deshalb nicht zur Steigerung des Potentials beiträgt. Hiedurch kann die Art der Zerlegung noch wesentlich beeinflusst werden. Auch wird ausserdem die Selbstinduction dabei eine Rolle spielen.

Wir wollen nun nicht darüber streiten, in wie fern man solche auf einander folgende Partialentladungen, in welche durch die beschränkte Capacität des primären Leiters der dem Oeffnungsstrom entsprechende Funke zerlegt wird, mit dem Namen „Schwingungen“ bezeichnen kann; wir erlauben uns nur die Bemerkung, dass, so weit wir die diesbezüglichen Untersuchungen

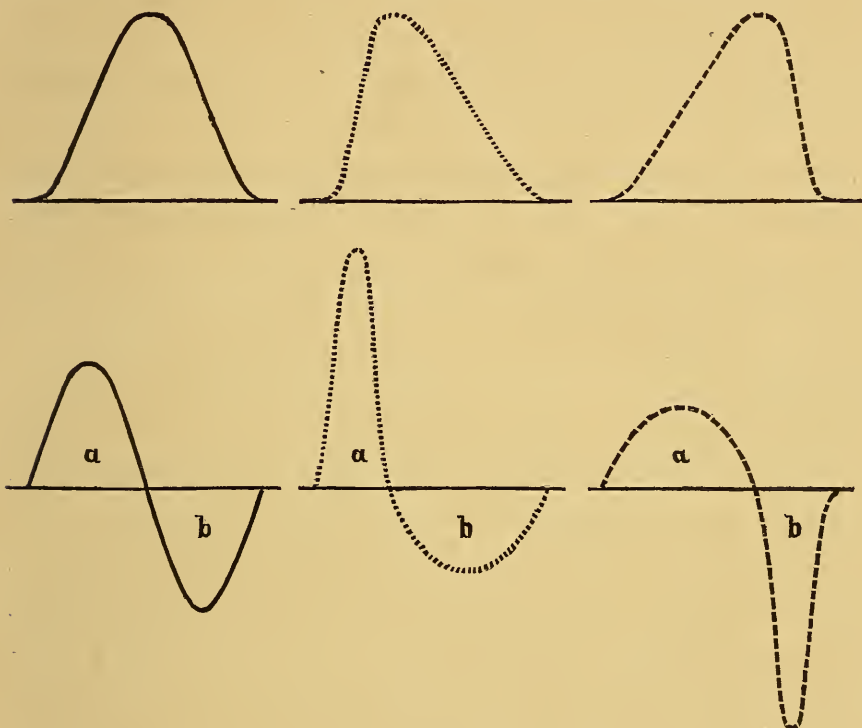
kennen, für die primäre Funkenstrecke durch unmittelbare Versuche ebensowenig das Hin- und Hergehen der Elektrizität, entsprechend den Ausschlägen nach entgegengesetzten Seiten, als die Gleichheit der Zeitintervalle nachgewiesen ist, beides Voraussetzungen, die man gewöhnlich bei Schallschwingungen und Lichtschwingungen als selbstverständlich anzusehen pflegt.

Die Zerlegung des Funkens in Partialentladungen spielt, wie wir vermuten, eine Hauptrolle bei den Erscheinungen der sogenannten Resonanz; da wir diesen wichtigen Punkt erst noch näher zu untersuchen beabsichtigen, treten wir darauf einstweilen nicht näher ein.

Elektrische Vorgänge im sekundären Leiter.

Betrachten wir nun die Inductionswirkung, welche eine einseitige Funkenentladung im primären Leiter nach den allgemein anerkannten Gesetzen der Induction hervorbringen muss. Wir sehen dabei der Einfachheit wegen vorläufig von der besprochenen Zerlegung des Funkens in Partialentladungen ab und nehmen ein einmaliges Ueberspringen der Elektrizität an. Die Intensität J dieser Funkenströmung wird innerhalb einer ausserordentlich kurzen Zeit zu einem Maximum anwachsen und gleich darauf wieder auf Null zurücksinken; dJ/dt bekommt also einen sehr grossen Wert und wird deshalb auch in einem sekundären Leiter eine verhältnissmässig grosse elektromotorische Kraft e hervorrufen; dem Wachstum der Intensität J , das heisst dem Entstehen des Funkens, entspricht eine elektromotorische Kraft $+e$, welche einen entgegengesetzt gerichteten Strom zu erzeugen sucht, der Abnahme der Intensität J , das heisst dem Vergehen des Funkens, entspricht eine elektromotorische Kraft $-e$, welche einen gleichgerichteten Strom zu erzeugen sucht.

Bei den oberen Curven stellen die Abscissen die Zeit t und die Ordinaten die Intensität J dar, sie geben also das Gesetz, nach welchem mit der Zeit die Stärke der Funkenströmung sich ändert; bei den unteren Curven haben die Abscissen die gleiche Bedeutung, und die



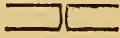
Ordinaten stellen die durch Induction im sekundären Leiter hervorgerufenen elektromotorischen Kräfte e dar. Bei der ausgezogenen Linie haben wir angenommen, dass J symmetrisch wächst und abnimmt, es werden deshalb die entsprechenden $+e$ und $-e$ gleich. Gewöhnlich wird dies nicht der Fall sein und J entweder nach Art der punktierten Linie schnell wachsen und langsam abnehmen oder nach Art der gestrichelten Linie langsam wachsen und schnell abnehmen, was dann entsprechende Aenderungen im Verlauf von e nach sich ziehen wird. Dabei sind alle möglichen Gestalten der Curven denkbar;

immerhin bleiben die den $+e$ und $-e$ entsprechenden Flächeninhalte a und b sich stets gleich.

Jeder primäre Funke ruft also in irgend einem Leiter der Umgebung zwei solche entgegengesetzt wirkende ausserordentlich schnell auf einander folgende elektromotorische Kräfte hervor; in Folge dessen wird in jedem sekundären Leiter, wenn darin nirgends Funken springen, genau gleich viel Elektrizität in der einen wie in der andern Richtung sich bewegen; und da je zwei solche genau gleich grosse entgegengesetzt wirkende Integralströme in ausserordentlich kurzer Zeit auf einander folgen, so ist es ganz begreiflich, dass Messinstrumente nach Art des Galvanometers oder des constant geladenen Elektrometers, bei welchen entgegengesetzte Ströme entgegengesetzt wirken, nicht die geringste Wirkung nachweisen lassen.

Ganz anders gestaltet sich jedoch der Vorgang, sobald eine Funkenstrecke eingeschaltet wird, die unter Umständen wie ein Ventil wirkt und stark gespannte Ströme leichter als schwach gespannte überspringen lässt.

Bei unseren in sehr grosser Zahl angestellten Versuchen haben wir zuerst wie Herr Hertz einen sekundären Leiter aus Kupferdraht angewandt, dann aber denselben durch zwei 0,5 mm. dicke Messingbleche von 5 cm. Breite und 50 cm. Länge ersetzt; zwischen den beiden Hälften war die Funkenstrecke eingeschaltet und mit den nach innen gekehrten Enden der Leiterhälften durch je 37 cm. lange Kupferdrähte verbunden; die Dimensionen sowohl des Leiters als der Verbindungen mit der Funkenstrecke sind, wie Herr Hertz gezeigt hat, der Resonanz wegen von wesentlichem Einfluss; wir haben deshalb durch den Versuch günstige Bedingungen ausgesucht und besonders darauf gesehen, dass zu beiden Seiten der Funkenstrecke alles genau gleich war. Be-

sondere Sorgfalt wurde auch auf eine möglichst vollkommene Isolation aller Teile des sekundären Leiters verwendet, so wie auf die nur lineare Leitung von den Messingblechen zu der Funkenstrecke. Auch bei dieser wurde die beidseitige Symmetrie beobachtet, und während wir bei den Vorversuchen, wie Herr Hertz, einerseits eine abgerundete Fläche und anderseits eine Spitze anwandten, haben wir bei den definitiven Versuchen zwei 2,2 mm. dicke nach Form der beistehenden Figur abgerundete Platindrähte einander gegenübergestellt und mit einer von der Lei-  tung durch Isolation getrennten Mikrometerschraube die Distanz dieser Elektroden verändert und gemessen.

Bei unseren Versuchen standen sich entweder primärer und sekundärer Leiter frei in verschiedenen Distanzen gegenüber, oder sie waren in die sechs Meter von einander abstehenden Fokallinien zweier parabolischer Cylinderspiegel aus Zinkblech gebracht, welche die gleichen Dimensionen wie die von Hrn. Hertz angewandten hatten. In beiden Fällen war der Charakter der Erscheinung im Wesentlichen gleich; nur machte sich die Verstärkung durch die Spiegel deutlich geltend, indem bei Anwendung derselben in einer Distanz von sechs Metern die Erscheinung ungefähr gleich stark war als ohne Spiegel in einer Distanz von einem Meter; die grösste Distanz, bei der wir ohne Anwendung der Spiegel noch deutliche Messungen anstellen konnten, betrug 2,35 m.

Wir besprechen nun zuerst die Beobachtungen über die Spannungen oder Potentialdifferenzen. Zur Messung derselben diente das bekannte von Carpentier nach der Angabe von Mascart construirte Thomson'sche **Quadrantelektrometer**. Dasselbe wurde bald so

eingeschaltet, dass man der Aluminiumnadel eine constante Ladung gab und die beiden Hälften des sekundären Leiters mit den Quadranten in Verbindung brachte (in diesem Fall gab ein Volt Potentialdifferenz in den Quadranten eine Ablenkung von etwa 6 Skalenteilen), oder dass man die Quadranten mit einer constanten Säule lud und die Aluminiumnadel mit der einen Hälfte des sekundären Leiters in Verbindung brachte (in diesem Fall bewirkte ein Volt in der Nadel eine Ablenkung von etwa 12 Skalenteilen). Die erste Methode war, vielleicht in Folge der mehr symmetrischen Anordnung, in so fern günstiger, als schon bei grösseren Distanzen Funken übersprangen und Ausschläge eintraten; die zweite bot den Vorteil, dass die beiden Hälften des sekundären Leiters gesondert untersucht werden konnten.

Bei allen mit dem Elektrometer angestellten Versuchen traten Ablenkungen ein, sobald ein Ueberspringen der Funken in der Funkenstrecke bemerkbar wurde.

Während, wie wir oben gesehen haben, bei den primären Funken die Elektrizität stets in dem gleichen Sinne übergeht, springen im sekundären Leiter die Funken bald in dem einen bald in dem anderen Sinne. Zu dieser Ansicht nötigt uns schon das Aussehen der abgerundeten Enden der Platinelektroden, indem die durch Oxydation gebildeten Figuren auf beiden Seiten ganz genau gleich sind; da die Bemühungen, irgend einen Unterschied wahrzunehmen, erfolglos blieben, so dürfen wir annehmen, dass im Durchschnitt nahezu gleich viel Elektrizität in beiden Richtungen übersprang.

Wenn die Distanz der Elektroden in der sekundären Funkenstrecke so eingestellt war, dass die Funken regelmässig übersprangen, so ergab die Ablesung an dem nach der ersten Methode eingeschalteten Elektrometer folgende Erscheinung:

So wie der Hauptstrom geschlossen wurde, der Interruptor zu spielen anfieng und die primären Funken kräftig sprangen, so zeigten sich auch die deutlich sichtbaren Fünkchen in der sekundären Funkenstrecke und zugleich bemerkte man eine merkliche Ablenkung, die je nach Umständen sehr verschiedene Werte annahm; diese Ablenkung war jedoch durchaus nicht constant, sondern die Nadel schwankte fortwährend um 10 bis 20 und noch mehr Skalenteile hin und her; wir bestimmten deshalb nur Mittelwerte der Ablenkung, und um dieselben besser erhalten zu können, wurde die Dämpfung des Elektrometers durch Anbringung eines kleinen durch die Schwefelsäure sich bewegenden Platinbleches vermehrt.

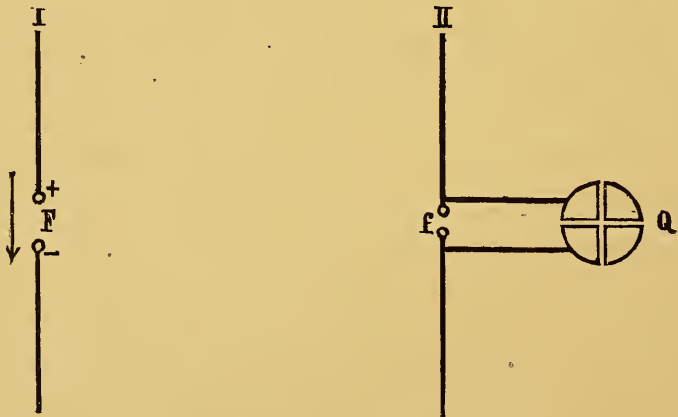
Im Allgemeinen war die Nadel um so ruhiger, je regelmässiger der Interruptor spielte und je gleichförmiger die primären Funken übersprangen, was man besonders an der Art des Zischens und Knallens des primären Funkenpieles merken konnte.

So lange nun der Inductionsapparat in Tätigkeit ist, bleibt diese schwankende Ablenkung ungefähr auf dem gleichen mittleren Werte. So wie man aber den zum Inductorium führenden Strom unterbricht, erhält die Nadel eine ganz constante Ablenkung, die, sowohl was Grösse als was Richtung betrifft, von der früheren schwankenden Ablenkung ganz unabhängig ist und unter Umständen bis über die Skale hinausgeht, was etwa 40 Volt entsprechen mag. So kam es z. B. bei einem unserer Versuche vor, dass, so lange das Inductorium in Tätigkeit war, die Ablenkungen nach rechts zwischen 10 und 20 Skalenteilen schwankten, und dass dann beim Unterbrechen des Hauptstromes sogleich die Nadel nach der linken Seite bis über 200, d. h. bis über die Skale hinausging und nur ganz langsam, entsprechend dem

durch unvollkommene Isolation bewirkten Elektrizitätsverlust wieder zur Ruhelage zurückkehrte.

Um diese Erscheinung zu erklären, müssen wir vor Allem in Betracht ziehen, dass die Zeit, während welcher der primäre Funke überspringt und die elektromotorischen Kräfte $+e$ und $-e$ tätig sind, verschwindend klein ist im Vergleich zu dem Zeitintervall zwischen zwei auf einander folgenden Funken. Bei der Ablenkung der Nadel werden also nur die Ladungen in Betracht kommen, welche das Elektrometer in den Zeitintervallen zwischen zwei auf einander folgenden Primärfunken besitzt.

Untersuchen wir also vorerst, wie und unter welchen Umständen die durch einen primären Funken inducirten elektromotorischen Kräfte die Hälften des sekundären Leiters und das damit in Verbindung gebrachte Elektrometer laden können. In der beistehenden schematischen Zeichnung bedeutet I den primären Leiter, II den sekundären Leiter und Q das Quadrantelektrometer. In der



primären Funkenstrecke F lassen wir die positive Elektrizität von oben nach unten springen, in Folge dessen wird in der sekundären Funkenstrecke f zuerst durch $+e$ die positive Elektrizität von unten nach oben und dann unmittelbar darauf durch $-e$ von oben nach unten

getrieben. Dieser letztere Antrieb wird unterstützt durch die unter Wirkung von $+e$ schon entstandene Ladung; es wird also, wenn $+e$ schon ein Ueberspringen bewirkt hat, $-e$ um so leichter den Funken in umgekehrter Richtung zum Springen bringen; und das noch um so mehr, da durch das Ueberspringen des ersten Funkens die Funkenstrecke besser leitend wurde, und damit gleichsam der Weg für den unmittelbar darauf folgenden zweiten in entgegengesetzter Richtung überspringenden Funken gebahnt ist. Es wird somit die positive Elektrizität, ganz abgesehen von den Grössen $+e$ und $-e$, im sekundären Leiter leichter von oben nach unten als von unten nach oben springen; immerhin unter der Voraussetzung, dass $+e$ zuvor ein Ueberspringen bewirkt hat.

Jeder primäre Funke erzeugt also durch die beiden im sekundären Leiter inducirten sehr schnell auf einander folgenden elektromotorischen Kräfte $+e$ und $-e$ eine Ladung des Elektrometers, deren Grösse und Zeichen je nach den Umständen von Funke zu Funke ganz verschiedene Werte annehmen kann. Erweist sich die obere Hälfte des Leiters als positiv geladen, so lässt das mit Sicherheit darauf schliessen, dass $+e$ grösser war als $-e$ und deshalb die Funkenstrecke leichter überwand; während aus der positiven Ladung der unteren Hälfte nicht notwendiger Weise folgt, dass $-e$ grösser war als $+e$; es kann auch daher rühren, dass aus den oben angeführten Gründen die positive Elektrizität leichter von oben nach unten überging als umgekehrt.

Um diese durch den einzelnen Funken inducirten Ladungen zu beobachten, haben wir am Inductorium den Interruptor ausgeschaltet, nur mit der Hand einen Quecksilberschluss unterbrochen und die dadurch am Elektrometer hervorgebrachten Ablenkungen beobachtet. Wir erhielten auf diese Weise ganz unregelmässig bald

nach links bald nach rechts verschieden grosse Ablenkungen; es war das auch ganz begreiflich; da nämlich die Stromstärke des primären Funkens in Folge der nie ganz gleichen Unterbrechung des Hauptstromes und des veränderlichen Widerstandes der Funkenstrecke in der mannigfaltigsten Weise sich gestalten muss, so war auch bei den elektromotorischen Kräften im sekundären Leiter keine Regelmässigkeit zu erwarten; es würde sich darum auch kaum lohnen, hier für jeden einzelnen Fall die massgebenden Ursachen aufzusuchen.

Wir gehen nun über zu dem gewöhnlichen Fall, wo nicht nur ein einmaliger Funke überspringt, sondern der Interruptor spielt und die Unterbrechungen schnell auf einander folgen lässt. In diesem Fall ändert jeder überspringende primäre Funke durch Inductionswirkung die Ladung des sekundären Leiters und des damit in Verbindung gebrachten Elektrometers; die auf die Nadel wirkende Kraft bleibt also nur constant während des kurzen Zeitintervalles von einem Funken zum nächsten, um dann plötzlich einen anderen bald grösseren, bald kleineren, bald auch entgegengesetzten Wert anzunehmen. Da das Zeitintervall zwischen zwei Funken jedenfalls klein ist im Vergleich zu der Schwingungsdauer der Nadel, so kann dieselbe den von Funke zu Funke sich ändernden bald grösseren, bald kleineren, bald von der einen, bald von der andern Seite kommenden Stössen nicht folgen, sie wird ins unregelmässige Schwanken geraten, und der mittlere Stand wird uns anzeigen, ob bei der resultirenden Wirkung, die wir als Differenzwirkung bezeichnen können, eine bestimmte Richtung überwiegt. Erst beim Unterbrechen des Stromes kommt die gerade stattfindende Ladung zu ihrer vollen Geltung und bewirkt eine constante Ablenkung der Nadel.

Wir konnten deshalb zwei verschiedene Dinge messen, entweder den mittleren Stand der schwankenden Ablenkung, während der Interruptor spielte, oder die constante Ablenkung in dem Momente, wo der Hauptstrom unterbrochen wird; wir reden zuerst von der letzteren.

Zur Messung der constanten Ablenkungen haben wir das Elektrometer nach der zweiten Methode angeschlossen, den Interruptor einige Sekunden spielen lassen, dann plötzlich unterbrochen und möglichst schnell die Nadel zuerst mit der einen und dann mit der andern Hälfte des isolirten sekundären Leiters in Verbindung gebracht und die entsprechenden Ablenkungen abgelesen. So wurden einige Beobachtungsreihen angestellt, und wir teilen beispielsweise in der folgenden Tabelle die Ablesungen für 9 solche hinter einander unter Anwendung der parabolischen Spiegel angestellte Versuche mit.

Ablenkung in Skalenteilen

für

die obere Hälfte des
sekundären Leiters

die untere Hälfte des
sekundären Leiters

+ 22

— 34

— 47

+ 41

— 40

+ 25

— 21

+ 15

— 37

+ 34

— 22

+ 17

+ 21

— 26

+ 2

— 10

— 17

+ 13

Die beiden Hälften zeigen bei dem gleichen Versuche, wie zu erwarten war, stets entgegengesetzte Zei-

chen; dass die Ablenkungen nach beiden Seiten nicht genau gleich waren, rührt offenbar von dem verschiedenen Verluste in Folge der trotz aller Vorsicht nicht ganz vollkommenen Isolation her. Bei dieser Versuchsreihe sind die negativen Werte in der oberen Hälfte vorherrschend und auch im Durchschnitt grösser, es ging also mehr positive Elektrizität von oben nach unten als umgekehrt; bei einer andern Reihe von 20 Versuchen ergab sich das Gleiche, aber weniger stark ausgesprochen; wir wollen jedoch daraus nichts Allgemeines schliessen, da die folgenden Versuche uns besser darüber Aufschluss geben können, ob und unter welchen Umständen eine bestimmte Entladungsrichtung in der sekundären Funkenstrecke im Durchschnitt überwiegt.

Wir wenden uns nun zu den Beobachtungen der schwankenden Ablenkungen, die so lange dauern als der Interruptor in Tätigkeit ist. Hier ist, wie wir bald bemerkt hatten, die Grösse der Funkenstrecke massgebend; um diesen Einfluss näher zu untersuchen, haben wir die Elektroden zuerst so weit von einander entfernt, dass keine Funken sprangen, und sie dann in kleinen Intervallen nach und nach einander bis zur vollkommenen Berührung genähert und so die den verschiedenen grossen Funkenstrecken entsprechenden Ablenkungen erhalten.

Wir geben drei solche unter Anwendung der parabolischen Spiegel angestellte Beobachtungsreihen; + deutet an, dass die obere Hälfte des sekundären Leiters positiv geladen war, und somit mehr positive Elektrizität überging in der Richtung, nach welcher + e treibt; das Umgekehrte bedeutet —.

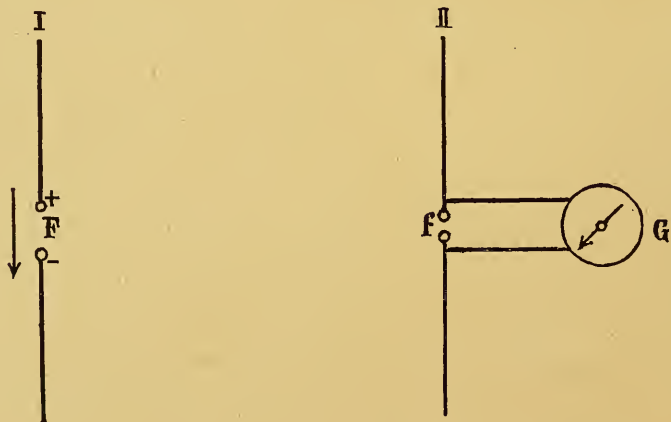
Funkenstrecke in Mikron (μ)	Mittlere Ablenkung in Skalenteilen		
	20		+ 107
18	+ 114	+ 79	+ 160
16	+ 71	+ 48	+ 63
14	+ 51	+ 26°	+ 50
12	+ 5	— 7	+ 1
10	— 17	— 15	+ 5
8	— 13	— 21	— 19
6	— 21	— 50	— 21
4	— 14	— 29	— 20
2	+ 1	— 15	— 7
0	0	0	0

Bei der grossen Funkenstrecke bis etwa zu 16μ herunter waren die Schwankungen sehr gross, und es entsprach das dem Umstande, dass auch das Funken-spiel noch nicht gleichförmig, sondern zeitweise unterbrochen war.

Ein ganz regelmässiger Gang in den Zahlen ist hier überhaupt nicht zu erwarten, da es sich um die Gesamtwirkung einer grossen Zahl verschiedener Ladungen handelt, deren Grösse und Zeichen sich in einem fort ändert und von allen möglichen Umständen abhängt. Bei dieser Gelegenheit sei noch die Bemerkung beigefügt, dass die Aenderung, welche die Funkenstrecke bei dem Gebrauch wohl hauptsächlich durch Oxydation erleidet, wesentlich auf das Resultat einwirkt, und dass deshalb vor jeder Versuchsreihe die abgerundeten Enden der Platindrähte beiderseits aufs Sorgfältigste gereinigt worden sind. Immerhin ist eine Gesetzmässigkeit in den obigen Zahlenreihen nicht zu verkennen. Bei den grösseren Funkenstrecken geht mehr positive Elektrizität über von unten nach oben, d. h. in der Stromrichtung, die $+ e$ bewirkt, bei einer Distanz von etwa 10μ geht

nach beiden Richtungen ziemlich gleich viel über, und bei kleineren Funkenstrecken überwiegt der Uebergang der positiven Elektrizität von oben nach unten. Es erklärt sich dies nach den oben erörterten Anschauungen leicht, wenn wir annehmen, dass im Durchschnitt die Spannungen $+e$ etwas grösser sind als die Spannungen $-e$, und somit der primäre Funke schneller entsteht als vergeht. Es erreichen dann bei grosser Funkenstrecke die $+e$ öfter die zur Ueberwindung des Widerstandes nötige Grösse als die $-e$, während bei kleinen Funkenstrecken sowohl $+e$ als $-e$ im Stande sind, den Widerstand zu überwinden, ausserdem aber, wie wir gesehen haben, die von $+e$ hinübergetriebene Elektrizität mit der von $-e$ bewirkten Strömung teilweise wieder zurückfliesst.

Wir gehen nun über zu den Messungen der Stromstärken im sekundären Leiter; es diente dazu ein Wiedemann'sches Galvanometer von etwa 15,000 Windungen, welches so gut astatisirt war, dass ein Strom



von 10^{-8} Ampère eine Ablenkung von etwa 3 Skalenteilen gab. Bei der Beobachtung wurde das Galvanometer bald mit den inneren, bald mit den äusseren Enden

der sekundären Leiterhälften verbunden; ein wesentlicher Unterschied ergab sich dabei nicht; wir begnügen uns deshalb mit der Mitteilung der Resultate, welche uns die Verbindung nach dem beistehenden Schema gab, wo ganz analog wie bei den Beobachtungen mit dem Elektrometer das Galvanometer G angeschlossen ist und einen Nebenschluss der Funkenstrecke f bildet. Es mag vielleicht auffallen, dass hier überhaupt Funken springen, während doch die beiden Hälften leitend mit einander verbunden sind. Allein schon bei den Versuchen mit dem Inductionsstrom des Ruhmkorff'schen Apparates haben wir gesehen, dass ein als Nebenschluss der Funkenstrecke angeschlossenes Galvanometer Ströme zeigt, sobald Funken springen; es war also auch hier eine Wirkung zu erwarten, obschon die Verhältnisse in so fern anders liegen, als wir es mit zwei isolirten Hälften zu tun haben. Sogar wenn ein kurzer Leitungsdraht einen Nebenschluss zur Funkenstrecke bildet, geht das Funkenspiel ruhig weiter, eine Erscheinung, auf die Herr Waitz¹⁾ aufmerksam gemacht hat, und auf die auch wir bei der Anordnung unserer Versuche gestossen waren, bevor wir seine Arbeit erhalten hatten. Diese Erscheinung wird nur erklärlich, wenn die elektromotorischen Kräfte e in ausserordentlich kurzer Zeit anwachsen, was wir ja auch aus andern Gründen anzunehmen genöthigt sind.

Die Wirkung auf das Galvanometer erklärt sich nun leicht aus der folgenden Betrachtung:

Das ganze System des sekundären Leiters ist isolirt, es muss also im Ganzen eben so viel Elektrizität von der untern auf die obere als von der obern auf die untere

¹⁾ K. Waitz. Ueber die Wellenlängen elektrischer Schwingungen. Wiedemann Annalen. Bd. XLI. S. 435.

Hälfte fliessen. Geht nun mehr positive Elektrizität durch die Funkenstrecke von unten nach oben, so geht der gleiche Ueberschuss durch das Galvanometer in der umgekehrten Richtung; wir können also aus der Ablenkung der Galvanometernadel auf die Richtung schliessen, nach welcher in der Funkenstrecke der Ueberschuss der positiven Elektrizität geht. Auch bei den Galvanometerbeobachtungen wurde die Abhängigkeit der Ablenkung von der Grösse der Funkenstrecke studirt, und wir geben als Beispiel die drei folgenden Versuchsreihen mit Spiegel, wobei das positive Zeichen bedeutet, dass in der Funkenstrecke ein Ueberschuss von positiver Elektrizität in der Richtung von unten nach oben ging.

Funkenstrecke in Mikron (μ)	Mittlere Ablenkung in Skalentheilen		
	22	+ 4	+ 2
20	+ 4	+ 6	+ 2
18	+ 7	+ 17	+ 3
16	+ 13	+ 24	+ 15
14	+ 27	+ 26	+ 25
12	+ 28	+ 28	+ 37
10	+ 27	+ 27	+ 42
8	+ 22	+ 15	+ 39
6	+ 4	— 4	+ 18
4	— 2	— 3	— 2
2	— 3	— 2	— 12
0	0	0	0

Diese Resultate stimmen in der Hauptsache mit denen überein, welche uns das Elektrometer gegeben hat; bei grosser Funkenstrecke geht mehr positive Elektrizität über in der Richtung, nach welcher die elektromotorische Kraft $+e$ treibt und bei kleiner Funkenstrecke mehr im entgegengesetzten Sinn. Nur machen sich bei den angeführten Galvanometerversuchen die

negativen Zeichen weniger geltend; es gilt dies jedoch durchaus nicht allgemein, da bei anderen Versuchen, besonders auch bei solchen ohne Spiegel, die negativen Ablenkungen vorherrschten.

Wir haben bei unseren Betrachtungen angenommen, dass nur ein einheitlicher primärer Funke überspringe, während wir es selbst als wahrscheinlich bezeichnet haben, dass der Funke in eine Anzahl Partialentladungen zerlegt wird. Es ist leicht einzusehen, dass auch in diesem Falle in der Hauptsache genau das Gleiche gilt, da wir ja unsere Betrachtungen auf jede Partialentladung anwenden können, und es wird dann nur die grosse Mannigfaltigkeit in der Wirkung der einzelnen Funken noch leichter begreiflich. Auch bei der sekundären Funkenstrecke können, wenn dieselbe kurz wird, möglicher Weise fernere Zerlegungen des Fünkchens in einzelne Partialfünkchen eintreten und dadurch den Vorgang noch weiter compliciren.

Aus den mannigfachen von uns angestellten Versuchen, von denen wir nur einige Beispiele näher hervorgehoben haben, ergibt sich für uns vor Allem, dass die durch Induction hervorgerufenen sekundären Funken ganz anderer Natur sind als die primären. Jeder stets in gleicher Richtung stattfindenden Entladung in der primären Funkenstrecke entsprechen zwei unmittelbar auf einander folgende Entladungen nach den beiden entgegengesetzten Richtungen in der sekundären Funkenstrecke, und von diesen beiden überwiegt bald die eine, bald die andere, indem sowohl das allen möglichen Zufälligkeiten unterworfenen Entstehen und Vergehen des primären Funkens als die Beschaffenheit und Weite der sekundären Funkenstrecke bestimmend einwirken. Mit

Hülfe der bekannten Gesetze der Induction kann man über den wesentlichen Charakter dieser sehr verwickelten Erscheinung sich vollkommen Rechenschaft geben, wenn es auch nicht wohl möglich ist, bis in alle Einzelheiten hinein mit der Rechnung den Vorgang zu verfolgen. Schwerlich wird aber die Mannigfaltigkeit sich erklären lassen, wenn man mit Herrn Hertz die primären Funken als einfache ganz gleichartige Schwingungen auffasst, deren Energie, entsprechend den Anschauungen Maxwell's durch das Medium des Dielektricums fortgepflanzt, in dem sekundären Leiter wieder ähnliche ebenso einfache Schwingungen erregt.

Ueber die Erklärung der Resonanz, über die Art der Fernwirkung und deren Beeinflussung durch Leiter und Dielektrica und die damit zusammenhängende Bildung von Maxima und Minima der Wirkung sprechen wir uns einstweilen nicht aus, da wir vorerst darüber noch durch weitere Versuche Aufklärung zu finden hoffen.

Basel, Ende März 1891.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: [9_1893](#)

Autor(en)/Author(s): Hagenbach-Bischoff Eduard, Zehnder Ludwig

Artikel/Article: [Die Natur der Funken bei den Hertz'schen elektrischen Schwingungen 509-532](#)