XI. *Ueber electriche Wellen in offenen Strombahnen; von A. Elsas.*

Fliesst in einem geschlossenen Leiterkreise ein electricer Strom von constanter Intensität, so wird auf einen anderen Leiterkreis, von welchem ein Punkt mit einem Punkte des ersten durch einen dünnen Draht verbunden ist, erfahrungsgemäss kein Strom übertragen, und man kann theoretisch wie practisch die Strömung im Hauptkreise als vollständig unabhängig von dem angehängten Leiter betrachten.

Andererseits ist es zweifellos, dass die Theorie den Einfluss eines in der angegebenen Weise mit der Hauptstrombahn verbundenen Nebenkreises nicht ohne Weiteres vernachlässigen darf, wenn sie die Bewegung der Electricität, welche beim Oeffnen oder Schliessen des Hauptstromes eintritt, betrachten will oder wenn sie sich auf den Verlauf electricer Schwingungen im Hauptkreise richtet. Auch ist es ebenso unzweifelhaft, dass eine Uebertragung electricer Bewegung auf den Nebenkreis anzunehmen ist, sobald man diesem einen Einfluss auf die Hauptstrombahn zuschreiben muss. In welchen Fällen nun von dem angehängten Leiter nicht abgesehen werden darf, und unter welchen Bedingungen eine electriche Bewegung in diesem der Beobachtung zugänglich gemacht werden kann, darüber liegen verhältnissmässig wenige Erfahrungen vor.

Dass die sehr schnellen Schwingungen bei der Entladung eines kräftigen Inductoriums sich in einen Leiter, der mit einem Punkte des Entladungskreises verbunden ist, fortpflanzen, ist durch die Versuche, welche Hr. Hertz als einleitende in seiner ersten Abhandlung über sehr schnelle electriche Schwingungen beschreibt ¹⁾, wie durch Entladungserscheinungen in Geissler'schen Röhren, welche einseitig mit einem Pol des Inductoriums verbunden werden, experimentell bewiesen.

1) H. Hertz, Wied. Ann. 31. p. 421. 1887.

Im Folgenden werde ich zunächst einige leicht anzustellende Versuche beschreiben, welche zeigen, dass auch Ströme geringer Intensität in dem Schliessungskreise eines galvanischen Elementes, wenn sie in langsamen Tempo unterbrochen und wiederhergestellt werden, noch merkliche elektrische Bewegungen in einem angehängten Leiter durch Uebertragung hervorrufen.

§ 1. Apparate.

Der primäre Stromkreis, dessen ich mich bei diesen Versuchen vorzugsweise bedient habe, besteht aus einem galvanischen Element, einem sogleich zu beschreibenden Federunterbrecher und den kurzen Drähten, welche diesen mit dem Element verbinden.

Der Unterbrechungsapparat, welchen Fig. 1 in $\frac{1}{3}$ der wirklichen Grösse darstellt, sollte einige Bedingungen erfüllen, welche bei

Fig. 1.

den gebräuchlichen selbstthätigen Unterbrechungsapparaten selten gleichzeitig befriedigt werden, weshalb ich ihn ausführlich beschreibe. Zunächst sollte die Feder nur wenige Schwingungen in der Secunde vollführen, damit ein in die

Nebenleitung eingeschaltetes, oder falls die Nebenleitung nicht einen geschlossenen Kreis bildete, an das Ende derselben angehängtes Telephon, welches als Beobachtungsinstrument diente, nicht einen musikalischen Ton, sondern ein tickendes Geräusch gäbe. Diese Einrichtung erschien mir empfehlenswerth, weil nach meinen Erfahrungen das Ohr weit empfindlicher ist für ein charakteristisches Geräusch als für einen musikalischen Ton, und weil es durch ein solches

Geräusch nicht zu schnell ermüdet wird. Der Apparat sollte ferner möglichst geräuschlos arbeiten und nur schwache Ströme zum Betriebe bedürfen.

Um diese Zwecke zu erreichen, wurde die Unterbrechungsfeder aus dünnem Messingblech in Gestalt eines gleichschenkeligen Dreiecks von 1 cm Grundlinie und 10 cm Höhe geschnitten, an der Basis in einen kurzen dicken Stift aus Messing eingelöthet und an der Spitze mit einer zur Dreiecksfläche rechtwinkligen Platinspitze versehen. In etwa ein Drittel der Länge, von der Basis aus gerechnet, ist ein dünnes Eisenplättchen aufgelöthet, auf welches der kleine Electromagnet des Apparates wirken soll. Dieser ist, wie Figur zeigt, oberhalb der Feder angebracht und an einer kleinen verticalen Säule mittelst einer Messinghülse verschiebbar. Der obere Theil der Säule ist von der unteren Hälfte durch ein Zwischenstück aus Hartgummi isolirt; er wird durch die Messinghülse mit dem einen Drahtende des Electromagnetröllchens metallisch verbunden. Der untere Theil trägt bei f die durch eine Klemmschraube festgehaltene Feder und ist mit dem anderen Ende des Drahtes verbunden.

Den Kopf der Säule bildet eine Klemmschraube k , an welcher der Strom in den Apparat eingeleitet wird, während die Ableitung durch den Quecksilbernafp n erfolgt, in den die Platinspitze der Feder eintaucht. Die Säule hat am Fuss noch eine Klemmschraube s , welche zur Befestigung des zum secundären Leitungskreise führenden Drahtes dient.

Da die Spitze der Feder zufolge der Anordnung des Apparates einen verhältnissmässig grossen Schwingungsbogen beschreibt, ist die Einstellung, welche in der gebräuchlichen Weise durch Höher- und Tieferschrauben des Quecksilbernafpes bewirkt wird, leicht zu erreichen. Die Platinspitze ist scharf gefeilt, um die Unterbrechungsfunken, welche überdies durch Aufgiessen von Alkohol auf das Quecksilber des Nafpes gedämpft werden, fast geräuschlos zu machen.

Die Anordnung des Hauptstromkreises, in welchem durch den Unterbrechungsapparat die periodische Electricitätsbewegung erzeugt werden soll, ist aus der schematischen

Fig. 2 ersichtlich. E ist ein galvanisches Element, nf der Unterbrecher, s die Klemmschraube, an welche der secundäre Leiter angeschlossen wird.

Fig. 2.

Zur Orientirung über die Stromintensität, mit welcher gearbeitet wurde, mögen die Angaben dienen, dass als Stromquelle ein grosses Daniell- oder ein Chromsäureelement benutzt wurde und dass der Widerstand des Kreises, der wesentlich von der kleinen Electromagnetrolle des Unterbrechungsapparates herrührte, ungefähr vier S.-E. betrug. Die Unterbrechungsfeder vollführte zwei bis sechs ganze Schwingungen in der Secunde, je nach ihrer Dicke.

§ 2. Uebertragung der electrischen Bewegung auf einen angehängten Leiter.

Wenn die electrische Wellenbewegung, welche beim Oeffnen und Schliessen des Stromes im Hauptkreise entsteht, in einer durch einen dünnen Draht mit ihm verbundenen geschlossenen Nebenleitung wahrnehmbare Oscillationen erregen soll, ist es nothwendig, dass in einem Drahte, welcher einen Punkt des Hauptkreises zur Erde ableitet, eine kräftige Uebertragung der Schwingungen bemerkbar werde. Ich constatirte daher zunächst, dass ein in eine solche Ableitung eingeschaltetes Telephon ein intensives tickendes Geräusch, dessen Tempo natürlich der Periode der Stromunterbrechung entsprach, hören liess. Das Geräusch wurde etwas schwächer, wenn man das durch einen Draht mit einer Gasleitung verbunden gewesene Ende des Telephondrahtes zwischen die Finger nahm und so durch eine schlechte Leitung zur Erde ableitete. Wurde das Ende des Telephondrahtes mit der einen Platte eines Kohlrausch'schen Condensators verbunden, dessen andere Platte metallisch zur Erde abgeleitet war, so konnte noch bei einem Plattenabstand von mehreren Centimetern (je nach der Empfindlichkeit des Telephons war

der Abstand grösser oder kleiner) das Ticken wahrgenommen werden, während es immer intensiver wurde, je mehr man die Platten zusammenschob. Hieraus ist zu schliessen, dass eine merkliche Uebertragung der electrischen Bewegung aus dem Hauptkreise auf einen angehängten isolirten Conductor von grösserer Oberfläche stattfinden muss, und dass die Stärke dieser Uebertragung von der Capacität des Conductors abhängt. Versuche mit den auf Glassäulen isolirten Conductoren von Electrisirmaschinen bestätigten die Richtigkeit dieser Folgerung.

Es erscheint als eine nothwendige Forderung der Theorie, dass die Potentialänderungen zu beiden Seiten der Unterbrechungsstelle im Hauptkreise einander gleich sind. Dieser Forderung entspricht es, dass man das *Telephon* *T* an einen Punkt *s* auf der einen Seite der Unterbrechungsstelle anhängen und das zweite Ende des Telephondrahtes frei in der Luft schweben lassen kann (Fig. 2), wenn man einen Punkt *n* auf der anderen Seite der Unterbrechungsstelle mit einem grossen Conductor *C* verbunden oder zur Erde abgeleitet hat; das Telephongeräusch hat dann dieselbe Intensität, wie wenn das Telephon in die Ableitung von *n* eingeschaltet wäre.

Indem wir uns nunmehr den Erscheinungen in einem geschlossenen Leiterkreise, von dem ein Punkt mit einem Punkte des Hauptstromkreises verbunden ist, zuwenden, haben wir nach dem Vorhergehenden zunächst zu beachten, dass wir einen Punkt auf der anderen Seite der Unterbrechungsstelle in letzterem Kreise zur Erde ableiten müssen, damit eine erhebliche Uebertragung electrischer Bewegung

Fig. 3.

auf den Nebenschluss stattfinden. Wir legen, Fig. 3, den Quecksilbernäpf *n* an Erde und befestigen die Zuleitung zum Nebenschluss in einem Punkte *s* hinter der Unterbrechungsfeder *f*.

Um den Versuch über die Interferenz der electricischen Wellen im Nebenkreise nachzuahmen, von welchem Hr. Hertz in der angeführten Abhandlung ausgeht, wurde der Nebenkreis aus dem Telephon T und einem dicken blanken Kupferdraht $abcd$, der zu einem in der Mitte der Seite ab offenen Rechteck gebogen war und auf isolirenden Stützen ruhte, gebildet. Die Seiten des Rechteckes waren 80 und 125 cm lang, wie bei Hertz; die Zuleitung vom Hauptkreise im Punkte e halbirte den Draht. Das Telephon tritt bei unseren Versuchen an die Stelle des Funkenmikrometers.

Ich hoffte, an diesem Nebenkreise constatiren zu können, erstens dass die von e ausgehenden Wellen bei Gleichheit der Zweige $eca1$ und $edb2$ sich im Telephondraht aufheben würden, zweitens dass ein mit einem Zweige verbundener Conductor von genügend grosser Capacität Ungleichheit der Wellen und damit einen Ton im Telephon hervorbringe, drittens dass die Einfügung einer Drahtrolle durch die Induction zwischen ihren Windungen das Gleichgewicht der Wellen störe. Zunächst aber zeigte sich, dass das Telephon bei Gleichheit der Zweige nicht immer vollkommen schwieg, und dass auch durch Verschiebung der Klemme e , durch welche die Wellen eintreten, der Ton nicht zum Verschwinden zu bringen war. Zweitens brachte ein grösserer Conductor, mit welchem Punkte des Nebenkreises er auch verbunden wurde, stets dieselbe unerwartete Wirkung hervor, indem er das Telephon zum Schweigen brachte, gerade so als wenn er die electricische Bewegung dem Nebenkreise entzöge. Der durch das Telephon geschlossene Drahtkreis von geringer Länge verhält sich also ganz anders, wie der Hertz'sche, der eine Funkenstrecke enthält. Die Einfügung eines Drahtes von grösserer Länge zwischen zwei Punkte der durchschnittenen Seite ac des Rechteckes, hatte auch nicht den erwarteten Erfolg; eine Aenderung des schwachen Telephongeräusches war nicht zu bemerken. Anders aber, wenn eine Spirale mit nicht zu kleiner Selbstinduction in die Strecke ac eingeschaltet wurde; das Telephon giebt dann einen Ton, dessen Stärke von der Grösse der Selbstinduction abhängt.

Auch eine scheinbare Vergrösserung der Selbstinduction in einem Zweige bewirkt eine Veränderung der Wellen. Ich

schaltete in die Seite *ac* des Rechtecks eine etwa 20 cm lange Inductionsrolle mit dickem Draht ein, welche im physikalischen Institut der Universität bei Vorlesungsversuchen benutzt wird, um zu zeigen, dass durch Hineinstossen eines Eisendrahtbündels in den Hohlraum der Rolle ein Inductionsstrom hervorgebracht wird. Der Ton war bei der schwachen Selbstinduction der Rolle immer noch schwach, wenn das Eisendrahtbündel nicht in der Rolle steckte; er wuchs aber zu erheblicher Intensität, wenn dasselbe langsam hineingeschoben wurde.

Flüssigkeitswiderstände, welche in einem der Zweige des secundären Kreises eingeschaltet werden, geben ebenfalls zu einer Veränderung der Wellen und somit zu einer Tonverstärkung Anlass.

Nach diesen Versuchen durchschnitt ich auch die Seite *bd* der Nebenleitung und schaltete in *ab* wie in *bd* einen Kohlrausch'schen Condensator ein. Die beiden Condensatoren hatten nicht gleich grosse Platten; deshalb durfte bei gleichem Plattenabstand nicht die in der Richtung *eca1* durch das Telephon gehende Welle der entgegengesetzt fließenden in *edb2* gleich sein. Der Erwartung entsprechend gab denn auch das Telephon einen ziemlich kräftigen Ton, und dieser konnte zum Verschwinden gebracht werden, wenn ich die Condensatoren auf gleiche Capacität einstellte.¹⁾ Nachdem diese Einstellung gemacht war, untersuchte ich den Einfluss angehängter Conductoren auf die Wellen.

Zunächst zeigte sich, dass auch hier die auf den Conductor übergewende Wellenbewegung eine Abschwächung der in *abcd* circulirenden zur Folge hatte, wenn derselbe an irgend einen Punkt zwischen der Zuleitungsstelle und einem Condensator angelegt wurde. Denn wenn die Abgleichung nicht vollkommen und der Ton nicht ganz ausgelöscht war, so konnte er durch einen genügend grossen Conductor zum Verschwinden gebracht werden. Anders aber verhielt es sich, wenn der Conductor zwischen einem Condensator und

1) Es ist klar, dass diese Erscheinung eine Methode zur Bestimmung von Dielectricitätsconstanten an die Hand gibt, welche der von Hrn. A. Winkelmann in diesen Annalen 38. p. 161. 1889 angegebenen verwandt ist. Ich bin mit der Ausbildung dieser Methode beschäftigt.

dem Telephon angehängt wurde. Ich bediente mich eines auf Glasfuss ruhenden cylindrischen Conductors von einer Electrisirmaschine; man denke sich diesen durch einen Draht mit dem Punkte *a* verbunden. Dann wird nur ein Theil der durch den in *ac* eingeschalteten Condensator gehenden electrischen Bewegung durch das Telephon fliessen, ein Theil aber auf den Conductor übergehen, dessen Wirkung also dieselbe ist, als wenn der Plattenabstand des Condensators in *ac* vergrössert worden wäre. Um das Telephon wieder zum Schweigen zu bringen, muss man also die Platten dieses Condensators einander nähern oder diejenigen des anderen Condensators entsprechend voneinander entfernen. Die Einstellungen lassen sich dabei mit grosser Genauigkeit machen.

Gegen Veränderung der Selbstinduction in den einzelnen Zweigen erwies sich die Strombahn mit eingeschalteten Condensatoren unempfindlich. Ich habe Inductionsrollen der verschiedensten Grösse, mit und ohne Eisenkern, auf der Seite des Telephons und auf der Seite der Stromzuführung eingeschaltet, ohne eine merkliche Wirkung zu erhalten.

Wenn man nun die bisher gesammelten Erfahrungen zusammenhält, erscheint der Gedanke unabweisbar, dass sich eine Strombahn werde herstellen lassen, welche sowohl gegen Aenderungen der Selbstinduction ihrer Zweige empfindlich ist, wie unsere erste Anordnung ohne Condensatoren, als auch gegen Aenderungen der Capacität, wie die andere. Es schien mir nothwendig, zu diesem Zwecke sehr lange Drähte anzuwenden, und da ich solche nicht geradlinig ausspannen konnte, griff ich zu bifilar gewickelten Rollen.

Man denke sich die Endklemmen eines (inductionsfreien) Präcisionsrheostaten durch ein Telephon mit einander verbunden, einen Verzweigungsstöpsel eingesetzt und in diesen den Draht *se* (Fig. 3.) eingeklemmt, so hat man wieder eine Anordnung, welche dem Schema der Figur entspricht. Sind alle Widerstandsstöpsel eingesetzt, so zeigt das Schweigen des Telephons an, dass die von *e* ausgehenden Wellen sich im Telephondraht aufheben. Berührt man die Metalltheile am Rheostaten irgendwo mit der Hand, so tritt ein ziemlich intensives Tönen ein, womit sofort entschieden ist, dass die Anordnung gegen Zuschaltung von Conductoren empfindlich

ist. Der von mir benutzte Rheostat enthielt Neusilberwiderstände von 0,1 bis 500, Summe 1000 S.-E.

Da sämtliche Rollen im höchsten Grade „inductions-frei“ waren, überraschte es mich bei den ersten Versuchen, dass das Telephon noch vernehmlich tönte, wenn ich die Verzweigungsklemme zwischen den beiden Zehnern oder Hundertern anbrachte und deren Stöpsel fortnahm. Bald aber erkannte ich als Ursache dieser Erscheinung, dass die Metallklötze mit den daran hängenden Widerstandsrollen auf der Seite der kleineren Widerstände eine grössere Capacität besitzen, als auf der anderen Seite der Verzweigungsstelle. Eine auf Glasfuss isolirte Messingkugel von etwa 5 cm Radius compensirte den Unterschied einigermaassen, wenn die Zehner die Zweige bildeten.

Bei den Hertz'schen Versuchen erwies sich die Fortleitung der Wellen durch die Zweige des Nebenkreises als unabhängig von deren Widerstand. Bei unserer Anordnung hat im Gegentheil der Widerstand den wesentlichsten Einfluss. Vergrösserung der Capacität in einem Zweige wirkt ebenso wie eine Vergrösserung seines Widerstandes und lässt sich durch Verminderung des Widerstandes in diesem oder durch Vermehrung des Widerstandes im anderen Zweige compensiren, zum Theil wenigstens.

Wie ich vorhin bemerkte, schweigt das Telephon nicht, wenn die Hunderter die Zweige bilden. Es wurde aber der Ton auf ein Minimum reducirt, wenn der Widerstand auf der einen Seite des Verzweigungsstöpsels 100, auf der anderen 90 betrug. Die Differenz von 10 S.-E. entspricht also etwa dem Unterschied der Capacitäten der Zweige. Es sei übrigens besonders darauf hingewiesen, dass der Ton nie vollkommen ausgelöscht werden konnte, weshalb einige Unsicherheit in der Beurtheilung der Compensation bestehen blieb. Wenn ich nach Einstellung auf das Tonminimum auf der Seite der kleineren Widerstände den schon mehrfach erwähnten grossen cylindrischen Conductor anhängte und dadurch die Capacität dieses Zweiges vergrösserte, musste der Widerstand desselben um weitere 20 S.-E. verkleinert werden, sodass also auf der einen Seite die Widerstände $50 + 20$, oder $50 + 10 + 10 = 70$, auf der anderen Seite der Hunderter gezogen waren. Ich

machte natürlich auch die Gegenprobe und hängte den Conductor auf der Seite des Hunderters an; es mussten dann auf der anderen Seite 40 S.-E. zugeschaltet werden, und es fand sich thatsächlich das Tonminimum bei 100:110.

Gegen Aenderungen der Selbstinduction in den Zweigen war die langdrähtige Strombahn kaum in höherem Grade empfindlich, als das früher benutzte Drahtrechteck. Ich bemerke deshalb nur noch, dass die Tonintensität auch nicht annähernd auf ein Minimum reducirt werden konnte, wenn durch Einschaltung einer Drahtrolle das electrische Gleichgewicht der Zweige gestört war; weder durch Veränderung des Widerstandes noch mit Hülfe von angehängten Conductoren konnte das Gleichgewicht wiederhergestellt werden.

Es wird nicht unwichtig erscheinen, einen strengen Beweis dafür erbracht zu sehen, dass der Widerstand der Wege unabhängig von Capacität und Selbstinduction, die Fortpflanzung der electrischen Bewegung beeinflusst. Ist unsere Deutung richtig, so muss z. B. ein polarisationsfreier electrolytischer Widerstand in dem einen Zweige einem gleich grossen Rheostatenwiderstande wenigstens annähernd das Gleichgewicht halten. Das ist in der That der Fall.

Bei meinen Versuchen benutzte ich, um die Polarisation auszuschliessen, Wechselströme, indem ich den Unterbrechungsapparat mit der primären Wickelung eines kleinen du Bois'schen Inductionsapparates verband und das eine Ende der secundären Wickelung zur Erde ableitete, während das andere Ende desselben zu der zu untersuchenden Strombahn geführt wurde.

Diese bestand aus dem cylindrischen Flüssigkeitsgefäss mit platinirten Platinelectroden von 35 mm Durchmesser, dem Rheostaten, dem Telephon und einem kurzen Verbindungsdraht. Als Beispiel einer Beobachtung führe ich die folgende an: Bei 5 mm Abstand der Electroden wurde der Widerstand einer stark verdünnten Platinchloridlösung nach der Kohlrausch'schen Methode gemessen und zu 306,4 S.-E. bestimmt. Unmittelbar darauf wurde das Flüssigkeitsgefäss mit dem Rheostaten verbunden, an den Verbindungsdraht die Stromzuführung gelegt und der Kreis durch das Telephon geschlossen. Der Ton liess sich nicht vollständig aus-

löschen, erreichte aber ein Minimum, welches seine Intensität nicht merklich änderte, wenn der Rheostatenwiderstand zwischen 290 und 320 S.-E. variirt wurde.

Fassen wir nunmehr die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zusammen. Die Amplitude der electrischen Welle, welche in den Nebenkreis eintritt, ist von seiner Capacität unabhängig, so lange diese nicht sehr gross ist, da die Potentialänderungen an dem Punkte s , mit welchem er verbunden ist, wesentlich bestimmt werden durch die Potentialänderungen an dem Punkte n auf der anderen Seite der Unterbrechungsstelle im Hauptkreise, den wir zu einem Conductor von unendlich grosser Capacität, nämlich zur Erde, abgeleitet haben. Verbinden wir einen isolirt aufgestellten Conductor mit dem Punkte e , in welchem die electrische Bewegung auf den Nebenkreis übertragen wird, so vertheilt sich die Bewegung auf diesen und den Conductor im Verhältniss der Capacitäten. Ist also der Conductor gross genug, so kann die Hinzufügung desselben die auf den Kreis übergehende Bewegung soweit schwächen, dass sie unmerklich wird. Wenn er in der Nähe von e angehängt wird, entzieht er den Zweigen eines durch e symmetrisch getheilten Kreises nahezu gleich viel Electricität und kann immer noch die Bewegung im Kreise bis zur Unmerklichkeit abschwächen. Bei unserem durch das Telephon geschlossenen Drahtrechteck waren die Zweige, in welche wir die Strombahn durch den Conductor theilen konnten, überhaupt nicht in genügender Weise electrisch verschieden zu machen. Bei Einschaltung der Condensatoren blieben die beiden Hälften der Strombahn, nachdem wir sie electrisch gleich gemacht hatten, so lange gleich, als wir den Conductor zwischen dem Punkte e und den Condensatoren verschoben. Das electrische Gleichgewicht wurde aber gestört, wenn der Conductor zwischen einem Condensator und dem Telephon angehängt wurde.

Die Störung des Gleichgewichts durch Veränderung der Selbstinduction in einer Hälfte der Strombahn muss als eine Phasenverschiebung der Wellen gedeutet werden, da nur diese Annahme die Beobachtung erklärt, dass das Gleichgewicht nie durch Anhängen von Conductoren oder durch Widerstandsänderungen wiederhergestellt werden konnte.

Vergrößerung des Widerstandes in einem Zweige verringert die Intensität der Bewegung, welche von diesem Zweige her in das Telephon eintritt, geradeso, wie das Anhängen eines Conductors an einen Zweig die aus demselben auf das Telephon übergehende Welle schwächt. Dass wir dennoch nicht vollkommen eine Aenderung der Capacität durch eine Aenderung des Widerstandes compensiren konnten, scheint auf eine mehrfache Reflexion der Wellen von dem Conductor hinzudeuten.

Zu den Ergebnissen der Hertz'schen Untersuchungen bildet unsere Beobachtung, dass das Potentialgefälle auf dem Drahtkreise vom Widerstande abhängt, einen auffallenden Gegensatz. Ein solcher Gegensatz spricht sich aber auch schon in der Erscheinung aus, dass bei unseren Versuchen nicht, wie bei den Hertz'schen, eine Aenderung der Capacität durch Aenderung der Selbstinduction aufgewogen werden kann. Hr. Hertz fasste von vornherein und mit gutem Grunde die Schwingungen des Nebenkreises, welche er untersuchte, als Eigenschwingungen dieses Kreises auf. Er stellt sich vor, „dass die in e anlangende plötzliche Aenderung die Eigenschwingungen des Nebenkreises anrege, etwa wie der Schlag eines Hammers die Eigenschwingungen eines elastischen Stabes entstehen lässt.“¹⁾ Diese Eigenschwingungen aber werden wesentlich durch die Selbstinduction und die Capacität der Zweige bestimmt und sind vom Widerstand in hohem Grade unabhängig. Von der Selbstinduction hängt ausser der Schwingungsdauer der Eigenschwingungen noch die Dämpfung derselben ab. Sehen wir von der Dämpfung ab, so lässt sich eine Vergrößerung der Schwingungszahl zufolge einer Vergrößerung der Selbstinduction aufheben, indem man die Capacität des Leiters vermindert.

Bei unseren Versuchen finden wir einen wesentlich anderen Einfluss von Capacität und Selbstinduction, und der Widerstand der Zweige bestimmt den Verlauf der Schwingungen in auffallender Weise. Es deutet Alles darauf hin, dass wir die Schwingungen als erzwungene auffassen müssen. Wir werden uns also vorzustellen haben, dass die in e an-

1) H. Hertz, l. c. p. 427.

langende oscillatorische Bewegung in den Nebenkreis eintrete, ohne ihre Schwingungsdauer zu verändern, etwa wie die Bewegung einer Stimmgabel Schwingungen von der ihr eigenen Periode in einem weichen Faden hervorbringt, den wir an der Endfläche einer Zinke befestigt haben.

Verfolgen wir diese Analogie. Knüpft man an irgend einem Punkte des Fadens einen anderen Faden an, so wird ein Theil der Bewegungsenergie auf diesen übertragen, und hinter dem Befestigungspunkte wird die Amplitude der Wellen kleiner sein als vorhin. Wie dieser angeknüpfte Faden wirkt bei der electrischen Strombahn ein angehängter Conductor. Schalten wir an das Ende des Fadens einen Faden von anderem Material, so wird in diesem die Länge und Form der Wellen geändert. Ebenso wirkt bei der electrischen Leitung die Zufügung einer Drahtrolle mit erheblicher Selbstinduction. Die Schwächung der electrischen Wellen durch den Widerstand des Weges endlich ist analog einer Dämpfung der Wellen im Faden unter dem Einfluss einer Reibung.

Die bei unseren Versuchen auftretenden Erscheinungen sind in weitestem Maasse qualitativ unabhängig von der Periode der erregenden Schwingung, solange wir Schwingungszeiten von derselben Grössenordnung haben. Ich habe statt des oben beschriebenen Hauptkreises mit kleiner Selbstinduction andere Strombahnen angewendet, die grössere Drahtrollen enthielten, und die sämtlichen Versuche mit offenen kleinen Inductionsspiralen wiederholt, da nach Allem, was wir darüber wissen, die Schwingungen, welche beim Oeffnen und Schliessen eines electromotorische Kräfte enthaltenden Drahtkreises entstehen, einen ähnlichen Verlauf haben werden, wie die electrischen Oscillationen solcher Inductionsrollen. Dabei habe ich die Schwingungszahl der Federn, welche in den Unterbrechungseinrichtungen benutzt wurden, in weiten Grenzen variirt, von 2 bis etwa 120 ganzen Schwingungen in der Secunde.

Inductionsrollen wurden in der Weise benutzt, dass das eine Ende derselben zur Erde abgeleitet, das andere mit dem Nebenkreise verbunden wurde. In die Ableitung zur Erde

wurde ein Condensator eingeschaltet, um die Intensität der Schwingungen schwächen zu können.

Bei all' diesen Abänderungen der Versuchsanordnung wurde der Charakter der Erscheinungen nicht geändert. Die Intensität der Schwingungen darf natürlich eine gewisse Grenze nicht übersteigen, wenn der Ton des Telephons bei electrischer Gleichheit der Zweige des Nebenkreises verschwinden oder auf ein charakteristisches Minimum gebracht werden soll. Andererseits scheint die Intensität der Bewegung, welche wir aus unserem zuerst beschriebenen Hauptkreise erhalten konnten, die untere Grenze zu bilden, unterhalb welcher die Versuche nicht mehr mit genügendem Erfolge angestellt werden können.

§ 3. Inductionswirkungen ungeschlossener Strombahnen.

Der periodische Strom, welcher beim Schliessen und Unterbrechen des Hauptstromkreises in einem Draht auftritt, der nur mit einem Ende an diesen angehängt wird, ist stark genug, um in benachbarten Strombahnen Inductionswirkungen hervorzubringen, wenn die Umstände günstig sind.

Zu den Versuchen über die Induction ungeschlossener Strombahnen, welchen ich mich jetzt zuwende, benutzte ich vorzugsweise eine Inductionsrolle mit bifilarer Wickelung, welche zu Widerstandsmessungen construiert wurde.¹⁾ Dieser „Differential-Inductor“ besteht aus einem 0,7 mm dicken primären Kupferdraht, der auf einen massiven Eisenkern von 10 mm Dicke in vier Lagen von durchschnittlich 105 Windungen gewickelt ist, und zwei miteinander darüber gewickelten gleichen dünnen Kupferdrähten von 0,15 mm Durchmesser, welche insgesamt 26 Lagen und etwa 10380 Umwindungen bilden. Die secundäre Wickelung ist aus doppelt mit Seide besponnenem, vorzüglich isolirtem Draht aus der Fabrik von J. Obermayer in Nürnberg hergestellt. Der Widerstand der beiden Drahthälften ist 229,45 resp. 229,50 S.-E., während die primäre Wickelung einen Widerstand von 1,73 S.-E. hat.

1) A. Elsas, Wied. Ann. 35. p. 828. 1889.

In der Figur 4 bedeuten a und e Anfang und Ende des primären Drahtes dieses Differentialapparates; $a_1 e_1$ und $a_2 e_2$ bezeichnen entsprechend Anfang und Ende des ersten resp. des zweiten Drahtes der bifilaren Wickelung. Zunächst sei die primäre Spirale durch den Draht es an den Hauptstromkreis angehängt und die Inductionsspirale $a_1 e_1$ durch das Telephon T geschlossen. Wir haben damit die günstigste Bedingung für das Merklichwerden der Wirkung hergestellt und beobachten dementsprechend einen Ton von erheblicher Intensität.

Die Inductionswirkung lässt sich aber auch dann noch constatiren, wenn man das eine Ende des Telephondrahtes von der Spirale trennt, also etwa die Verbindung bei e_1 aufhebt, sodass die offene Strombahn ae auf die ebenfalls offene Strombahn $a_1 e_1$ wirkt.

Der Ton ist dabei freilich nur schwach; er kann verstärkt werden, indem man das freie Ende des Telephondrahtes mit der Hand fasst und es dadurch zur Erde ableitet. Ebenso erhielt ich eine Verstärkung des Tones durch Steigerung des Stromes im primären Draht, wenn ich den Napf n des Unterbrechers (und damit den einen Pol des Elements E) mit dem grossen cylindrischen Conductor einer Electrisirmaschine verband, und einen ziemlich starken Ton, wenn n durch metallische Verbindung mit einer Gasleitung an Erde gelegt wurde.

Es wurde natürlich bei allen Versuchen dafür gesorgt, dass von dem Hauptstromkreise keine directe Induction weder auf die Drahtwindungen $a_1 e_1$, noch auf das Telephon stattfinden konnte; auch wurde durch möglichst lange Zuleitungsdrähte zum Telephon eine Induction der Spirale ae auf dieses unmerklich gemacht.

Mit Hülfe des zweiten Inductionsdrahtes, $a_2 e_2$, lässt sich zeigen, dass die Enden der ungeschlossenen inducirten Strombahn sich jederzeit auf entgegengesetzt gleichem Potential befinden.

Fig. 4.

Man schalte das Telephon zwischen a_1 und a_2 oder zwischen e_1 und e_2 ein. Dann sind die Enden des Telephons an zwei Punkte von gleichem Potential angelegt; es gehen durch das Telephon zwei gleiche Stromwellen in entgegengesetzter Richtung, und zufolge ihrer Interferenz erlischt der Ton. Verbindet man hingegen das Telephon mit a_1 und e_2 oder mit a_2 und e_1 , also mit dem Anfang des einen und dem Ende des anderen Drahtes, so ist das Telephon an Punkte von entgegengesetzt gleichem Potential angelegt; es wird von einem kräftigen Strom durchflossen und tönt dementsprechend.

Die bifilare Wickelung des Inductionsapparats ermöglicht ferner den Nachweis, dass der electriche Strom, welcher aus dem Hauptstromkreis auf einen angehängten Draht übertragen wird, Polarität zeigt. Der Strom, welcher erhalten wird, wenn der secundäre Leiter zwischen der Unterbrechungsstelle und dem positiven Pol des Elements angeschlossen wird, ist demjenigen electriche entgegengesetzt, der auftritt, wenn der Ableitungspunkt auf der Seite des negativen Pols liegt.

Um diesen Nachweis zu führen, legen wir die beiden gleichen Spiralen $a_1 e_1$ und $a_2 e_2$ an die Pole des Elements E an; sie dürfen dann keine Induction nach aussen ausüben.

Figur 5 zeigt die Versuchsanordnung; die Klemmen a_1 und a_2 sind mit den Punkten n und s des Hauptstromkreises, die Enden a und e der unteren Wickelung durch das Telephon miteinander verbunden. Das Telephon schweigt vollkommen, während es deutlich tönt, wenn man eine der Klemmen a_1 oder a_2 öffnet.

Fliessen die beiden Stromwellen also von zwei Punkten entgegengesetzten Potentials in gleicher Richtung durch die angehängten offenen Spiralen, so heben ihre Inductionswirkungen nach aussen sich auf. Lässt man sie aber in den beiden gleichen Spiralen in entgegengesetzter Richtung

Fig. 5.

fließen, indem man die Klemmen a_1 und e_2 (oder a_2 und e_1) mit n und s verbindet, so summiren sich ihre Inductionswirkungen und sie verhalten sich wie electrisch gleiche Ströme, die einander parallel laufen. Dementsprechend gibt das Telephon einen intensiven Ton, der bei meiner Versuchseinrichtung so stark ist, dass man ihn auf einige Entfernung hören kann, wenn man das Telephon auf den Tisch legt.

Ich glaube die Darstellung abschliessen zu dürfen, ohne die Versuche und ihre Ergebnisse ausführlicher, als es geschehen ist, zu commentiren. Dagegen erlaube ich mir nochmals darauf aufmerksam zu machen, dass ich mich nicht auf die Benutzung der oben beschriebenen Apparate beschränkt, sondern sowohl Unterbrechungsapparate mit grösserer Schwingungszahl (bis zu etwa 120 ganzen Schwingungen in der Secunde), als auch Spiralen von den verschiedensten Dimensionen angewendet habe. Den langsam schwingenden Unterbrechungsrichtungen gebe ich stets den Vorzug, weil bei schwachen Telephontönen in mittleren Höhenlagen der Beobachter ein sehr scharfes Gehör haben muss, besonders wenn der Ton eine matte Klangfarbe besitzt.

Marburg, im August 1890.