13. *Bemerkungen über die Wirkungsweise des Lecher'schen Drahtsystems; von P. Drude.*

Die Wirkungsweise des Lecher'schen Drahtsystems ist zuerst von Cohn und Heerwagen¹⁾ einer näheren theoretischen Betrachtung unterworfen worden. Nach ihr soll eine stark gedämpfte Primärschwingung bestehen aus der Ladungsschwingung der beiden Metallplatten v , v' (vgl. Figur) und eine weniger gedämpfte Secundärschwingung, deren Periode sich ergibt aus den Dimensionen der ganzen Drahtanordnung, sowie aus der

Grösse und dem relativen Abstand der Metallplatten v , u bez. v' , u' . Letztere werden dabei als zwei in Reihe geschaltete Condensatoren aufgefasst. Für die beobachtbaren Erscheinungen soll nur die Secundärschwingung maassgebend sein, und zwar aus dem Grunde, weil die zeitliche Dämpfung in dieser Secundärleitung, welche ein durch die Funkenstrecke und die Condensatoren geschlossenes Drahtsystem bildet, wesentlich kleiner sein soll als in der Primärleitung, welche als ungeschlossene Leitung aufgefasst wird, die in den Platten v , v' endet. Als Beweis für diese Ansicht führen Cohn und Heerwagen an (l. c. p. 369), dass die Knoten auf dem Drahtsystem sich kaum merklich ändern, wenn die Platten v , v' gegeneinander genähert werden, dagegen von den Platten u , u' constanten Abstand behalten, dass dagegen die Knoten sich sehr stark verschieben, falls der Abstand zwischen v und u , v' und u' geändert wird.

1) E. Cohn und F. Heerwagen, Wied. Ann. **43**. p. 343. 1891.

In ersterem Falle soll sich die Primärperiode sehr stark, die Secundärperiode nur wenig ändern, im zweiten Fall dagegen letztere bedeutend.

Dieser Ansicht über die Wirkungsweise der Lecher'schen Anordnung habe ich mich früher angeschlossen und sie auch in meinem Buche: Physik des Aethers, p. 456 reproducirt, ich halte sie aber seit einiger Zeit¹⁾ für unnöthig complicirt und für nicht richtig.

Wenn die Platten v , v' durch einen Draht mit Funkenstrecke in Verbindung gesetzt werden und in ihrer Nähe keine anderen Körper, sei es Leiter oder Nichtleiter, sich befinden, so haben sie eine wegen der Strahlung stark gedämpfte Schwingungsperiode, die nur von den Dimensionen der Platten und der Länge des Verbindungsdrahtes abhängt. Diese Periode ändert sich aber, wenn die Platten u , u' den v , v' genähert werden, man hat dann einfach zwei in Reihe geschaltete Condensatoren, und die von Cohn und Heerwagen eingeführte sogenannte Primärschwingung der Platten v , v' allein ist überhaupt nicht mehr vorhanden. Zugleich wird die zeitliche Dämpfung der Schwingung durch Gegenwart der Platten u , u' kleiner, am meisten, wenn die Platten u , u' metallisch miteinander verbunden werden und den Platten v , v' möglichst genähert werden; denn um so weniger electriche Kraftlinien werden dann in die Umgebung ausgestrahlt.

Die Periode eines durch einen oder mehrere in Reihen geschaltete Condensatoren geschlossenen Drahtkreises ist nach der schon von Kirchhoff in dem Jahre 1857 gegebenen Theorie vollständig zu berechnen, und zwar ergiebt diese Theorie nicht nur die Grundschiwingung, sondern auch alle Oberschwingungen des Systems. In letzterem Punkte ist Kirchhoff weiter gegangen als W. Thomson, nach dessen (allerdings früher publicirten) Darlegung, bei dem die Stromstärke längs des ganzen Drahtes als constant angenommen wird, nur die Grundschiwingung zu berechnen ist, und selbst

---

1) Schon in den Abhandl. d. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. math.-phys. Kl. 23. p. 13. Anm. 1, habe ich meine Ansicht über die Wirkungsweise der Lecher'schen Anordnung kurz ausgesprochen. Ich möchte aber hier die Sache im Interesse der Deutlichkeit etwas genauer auseinander setzen.

diese nur mit einer gewissen Annäherung, die um so mehr gültig ist, je kleiner die Selbstinduction des Systems im Vergleich zu seiner Capacität ist, d. h. bei grossen Condensatoren und kurzem Schliessungskreis.

Bei dem Lecher'schen Drahtsystem ist nun, wenn eine Metallbrücke B über die Paralleldrähte DD gelegt wird (vgl. Fig. oben), die Anordnung allerdings nicht einfach ein durch B und die Funkenstrecke bewirkter metallischer Schluss zweier in Reihe geschalteter Condensatoren; es sind nämlich an diesen directen Schliessungskreis noch vier Metalldrähte angehängt, nämlich einerseits die über B sich fortsetzenden Paralleldrähte DD , andererseits die Zuleitungen AA zum Inductorium. Man kann aber von den hierdurch bewirkten Complicationen zur Berechnung der vorhandenen Schwingungsperioden um so eher absehen, je kürzer die Brücke B ist und je näher die Zuleitungen AA an der Funkenstrecke liegen. Wie ich nämlich früher¹⁾ gezeigt habe, sendet die durch den Funken erregte Schwingung um so weniger Energie über die Brücke B hinaus, je kürzer sie ist. Um so weniger beeinflusst daher auch die hinter B befindliche Drahtanordnung die Periode des Erregers, je kürzer B ist. Dasselbe gilt von dem Einfluss der Zuleitungen AA , die ja eventuell ganz symmetrisch angeordnet sind wie die Fortsetzung der Paralleldrähte DD ; die relative Distanz der Anknüpfungspunkte der Zuleitungen AA spielt die Rolle der Länge der Brücke B . Auf diese Symmetrie hat kürzlich Apt²⁾ aufmerksam gemacht. Die von ihm gefundene Beeinflussung der Knotenlagen durch die Zuleitungen AA ist deshalb relativ gross, weil sie ziemlich weit von der Funkenstrecke entfernt angebracht waren.

Bei jeder Verschiebung der Brücke B muss sich die erregte Periode ändern, weil die Selbstinduction des Erregers dadurch geändert wird. Wenn man also, wie es ursprünglich nach dem Vorgang von Lecher geschah, die Lagen einer Brücke B ermittelt, bei denen lebhaft electrische Schwingungen in der hinter B liegenden Fortsetzung der Drähte DD durch Resonanz erzeugt werden, wobei diese Drähte entweder auf

1) Drude, Wied. Ann. 60. p. 8 etc. 1897.

2) R. Apt, Dissertation, Berlin 1897; Wied. Ann. 61. p. 293. 1893.

bestimmter Länge frei enden, oder mit einem Condensator verbunden sind, so erhält man ein ziemlich complicirtes Gesetz. Viel einfacher werden die Verhältnisse, wenn die Brücke B fest liegen bleibt, und nun eine zweite Brücke B' hinter B über den Drähten DD verschoben wird. Aus den Resonanzlagen dieser zweiten Brücke B' lässt sich die Periode des Erregers einfach bestimmen.

In dieser Weise angestellte Versuche ergaben befriedigende Uebereinstimmung zwischen Experiment und der nach der Theorie schätzend zu berechnenden Grundschiwingung. Die experimentelle Untersuchung der Oberschwingungen ¹⁾, deren Periode ja auch leicht zu berechnen ist, wird im Leipziger Institut jetzt vorgenommen. — Von meinen Versuchen will ich nur noch erwähnen, dass auch die gegenseitige Annäherung der Platten v, v' , selbst wenn ihr Abstand von u, u' derselbe bleibt, deutlich die erregte Periode beeinflusst, wenn die Brücke B ziemlich nahe nach den Condensatoren zu liegt. In der That wird ja nur in diesem Falle die Selbstinduction des für die erregte Periode maassgebenden Drahtkreises durch Annäherung der Platten v, v' merklich kleiner.

Wenn man eine Brücke B ganz fortlässt, und die Drähte DD hinten an einem Condensator C endigen lässt, so leuchtet eine Geissler'sche Röhre auf der ganzen Länge der Drähte DD ; trotzdem kann man durch feinere Messungsmethoden, wie sie z. B. Rubens ²⁾ angewandt hat, gewisse Wellen auf dem Drahtsystem constatiren. Auch dieser Fall ist nach der Kirchhoff'schen Theorie einfach zu erledigen: Es sind drei in Reihe geschaltete Condensatoren vorhanden, über der hier-nach zu berechnenden Grundschiwingung, die durch das Leuchten der Röhre an jeder Stelle von DD angezeigt wird, lagern sich als kleinere Wellen die Oberschwingungen des Systems, die bei der Länge der Drähte verhältnissmässig stark hervortreten können.

---

1) Mit dem Blondlot'schen Erreger konnte ich gut mehrere Oberschwingungen constatiren, vgl. Wied. Ann. **60**. p. 18. 1897. Dieselben sind übrigens nicht genau harmonisch zur Grundschiwingung. Genauerer hierüber wird bald mitgetheilt werden.

2) H. Rubens, Wied. Ann. **42**. p. 154. 1891.

Rubens hat die Platten u , u' kleiner gewählt als die Platten v , v' . Zweifellos wird ja zwar hierdurch die Periode sich mehr dem Falle nähern, dass die Platten v , v' überhaupt frei in der Luft liegen; die Beeinflussung der Periode durch Annäherung der Platten u , u' ist ja aber in keiner Weise bedenklich, und wenn man möglichst intensive Drahtwellen erzeugen will, so muss es günstig erscheinen, die Platten u , u' so gross zu wählen, dass sie möglichst alle electricischen Kraftlinien der Platten v , v' in sich aufsaugen und den Parallel-drähten zuführen. Für letztere geht die Energie aller derjenigen Kraftlinien verloren, welche sich von der Platte v nach der Platte v' frei durch die Luft schliessen.

Die Intensität der electricischen Schwingung ist von Apt (l. c.) bolometrisch gemessen worden. Mir scheint, dass aus diesen Messungen nicht die besten Bedingungen für gutes Experimentiren mit electricischen Wellen abzuleiten sind. Für letzteres ist ja maassgebend, dass der Wellencharakter möglichst deutlich hervortritt; es kommt also weniger auf starke Potentialschwankung im ersten Bauche hinter der Brücke B an, als vielmehr auf möglichste *Unterschiede* derselben in den Knoten und Bäuchen. So leuchten Vacuumröhren bei der von mir benutzten Blondlot'schen Anordnung viel stärker, wenn der erste Bügel B nicht zur Erde abgeleitet wird; trotzdem empfiehlt es sich meist durchaus, B zur Erde abzuleiten, weil dadurch die eigentliche Welle viel besser zu Tage tritt. Wie ich vermuthe, hat Apt keine Erdleitung angebracht, jedenfalls hat er auch nicht die Intensität im Bauche mit der im Knoten verglichen; daher erklärt sich wohl, dass die Apt'schen Resultate hinsichtlich der besten Herstellung der Schwingungen und z. B. auch der zweckmässigsten Wahl des Inductoriums sich nicht mit den meinigen decken. Trotz der Resultate Apt's halte ich daher nach meinen Versuchen den Blondlot'schen Erreger für zweckmässiger als den Lecher'schen Erreger zur Herstellung möglichst wenig gedämpfter Wellen. Auch dem Satze Apt's: „Für die Erzielung grosser Potentialdifferenzen wird also die Blondlot'sche, für bolometrische Beobachtungen die Lecher'sche Anordnung empfehlenswerther sein“, kann ich nach den bisherigen Versuchen von Apt noch nicht zustimmen, bis dass directe Versuche zur Prüfung des

wirklichen Wellencharakters in der oben genannten Weise an- gestellt sind. Es ist nämlich klar, dass ein Unterschied jener beiden Erreger hinsichtlich der zwei verschiedenen Messungs- arten nur durch einen zeitlich verschiedenen Ablauf der Strom- stärke oder der Potentialdifferenz hervorgebracht werden könnte. Bei reiner harmonischer (Sinus-)Schwingung steht die maximale Potentialdifferenz in leicht angebbarem, numerisch festem Verhältniss zum Integraleffect, bei Abweichung von der Sinusform ändert sich allerdings jenes numerische Ver- hältniss, a priori ist es aber wohl schwer anzugeben, in welchem Sinne der zeitliche Ablauf der Potentialdifferenz von der besonderen Anordnung des Erregers im ganzen Verlauf der Schwingung (nicht nur beim Anfang) beeinflusst wird.

Noch ein Satz in der Arbeit Apt's kann wohl in der Form, wie er ausgesprochen ist, zu Missverständnissen Anlass geben: Bei Messung maximaler Potentialdifferenzen soll man zweckmässig grössere Dämpfung herstellen. Dagegen möchte ich behaupten, dass zur möglichst guten Beobachtung von Wellen allemal die zeitliche Dämpfung möglichst herabzu- drücken ist. Apt beruft sich dabei auch auf theoretische Resultate von Bjerkness, indess auch nach diesen ist mög- lichst kleine Dämpfung allemal die beste; nach Bjerkness' Berechnungen ist nur, wenn einmal eine grössere Dämpfung vorhanden ist, die Funkenmethode weniger schädlich dadurch beeinflusst, als die bolometrische Methode.

Diese meine Bemerkungen über die Arbeit von Apt möchte ich nicht unterdrücken, um Missverständnissen vorzu- beugen hinsichtlich der besten Methode zur Herstellung elec- trischer Wellen. Meine Bemerkungen sollen selbstverständlich keine vollständige Kritik enthalten, denn ich habe andere interessante Ergebnisse der Apt'schen Arbeit gar nicht er- wähnt.

In neuester Zeit hat Swyngedauw ¹⁾ darauf aufmerksam gemacht, dass wegen des bei Einsetzen der Schwingung ver- änderlichen Widerstandes der Funkenstrecke Complicationen eintreten, nach denen man einem Hertz'schen Erreger in ge- gewisser Weise die Hervorbringung eines continuirlichen

---

1) B. Swyngedauw, Archives de Genève (4) 120. p. 476 1897.

Spectrums beilegen kann. Streng genommen wird dies unzweifelhaft richtig sein, ich möchte nur bemerken, dass die Herstellung der normalen Periode, d. h. die Herabsetzung des Funkenwiderstandes, so schnell geschieht, dass experimentell durch Resonanzversuche, z. B. in der von mir getroffenen Anordnung bei Drahtwellen durch Verschiebung einer zweiten Brücke, nur die normale Periode, bez. deren Oberschwingungen, zu erkennen ist.

Leipzig, Mai 1897.

(Eingegangen 19. Mai 1897.)