© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ueber die Reflexion und die Resonanz der Hertz'schen elektrischen Schwingungen.

Von

Privatdocent Dr. **L. Zehnder.**

1. Vor zwei Jahren ist von Herrn Prof. Hagenbach und mir eine Arbeit über: „Die Natur der Funken bei den Hertz'schen elektrischen Schwingungen" veröffentlicht worden[1], welche offenbar in anderer Weise ausgelegt wird, als es meinen Anschauungen entspricht; ich möchte deshalb diesen meinen Anschauungen in Folgendem etwas präzisere Fassung geben und gleichzeitig Herrn Hertz meinerseits entgegenkommen, welcher unsere Erklärungen der Reflexion und der Resonanz unter der Annahme, dass Partialentladungen in seinen primären Leitern die wirksamen elektrischen Schwingungen liefern, abwartet[2].

In jener Arbeit berichteten wir über einen seinerzeit von Herrn Hagenbach vorgenommenen Versuch, die Blechtafel, welche bei den Hertz'schen Spiegel-Versuchen den Strahl elektrischer Kraft abschneiden soll, nicht nur in der „Querstellung", wie von Herrn Hertz angegeben, sondern auch in der „Längsstellung" — nämlich in der durch die Fokallinien beider Spiegel gelegten Ebene — zwischen diesen Spiegeln aufzustellen, wodurch gleichfalls die Funken in der sekundären Funkenstrecke zum Verschwinden gebracht werden konnten. Weil überdies Anfang und Schluss unserer Arbeit so redigirt sind, dass es den Anschein haben möchte, als wären die Verfasser Gegner der Faraday-Maxwell'schen Theorie, so kann die Vermuthung Platz greifen, es sei der erwähnte Hagenbach'sche Versuch ganz direkt als Einwand unsererseits gegen diese Theorie zu betrachten, und in diesem Sinne hat vielleicht Herr Hertz die

[1] Hagenbach u. Zehnder, Verh. d. Basl. nat. Ges. **9** (2) p. 509; Wied. Ann. **43** p. 610; Arch. de Genève **26** p. 21; Exner's Rep. **27** p. 496. 1891.

[2] Hertz, Unters. üb. d. Ausbreit. der el. Kraft, p. 18. Leipzig 1892.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Veröffentlichung jenes Versuches aufgefasst[1]. Ich möchte mich aber meinerseits gegen diese Auffassung verwahren, denn jene auf die FARADAY-MAXWELL'sche Theorie bezüglichen Stellen sind aus einem Compromiss unserer beiden völlig heterogenen Anschauungen hervorgegangen, und insbesondere habe ich schon lange vor der Inangriffnahme unserer gemeinschaftlichen Arbeit die endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Schwingungen im Luftraume als durch die bedeutenden Untersuchungen des Herrn HERTZ erwiesen betrachtet; auch habe ich vor der ersten Veröffentlichung unserer mehr erwähnten Arbeit jene Störungen der sekundären Funken durch die längsgestellte Blechtafel als Interferenzwirkungen bezeichnet.

2. Nach meiner Auffassung liegt aber der Schwerpunkt unserer Arbeit in der experimentellen Untersuchung von elektrischen Vorgängen, welche sich während der Primärfunken im sekundären Leiter abspielen. Wir haben dabei gefunden, dass die beiden sekundären Leiterhälften nicht regelmässig abwechselnd in gleicher Weise positive und negative Ladungen erhalten, sondern dass sie nach einer gewissen Gesetzmässigkeit eine ausgesprochene Einseitigkeit, eine elektrische „Polarität" erkennen lassen, welche die entgegengesetzte Richtung annimmt, wenn die Richtung der Entladungen im primären Leiter die entgegengesetzte wird. Diese Polarität vermag ich heute so wenig wie damals aus den HERTZ'schen Vorstellungen über seine wirksamen primären Funken zu deuten, während aus der Annahme einseitig gerichteter Partialentladungen, wie wir sie in unserer Arbeit aufgestellt haben, nothwendiger Weise auf gewisse Einseitigkeiten bei den im sekundären Leiter durch Inductionswirkungen zu Stande kommenden elektrischen Bewegungen geschlossen werden muss.

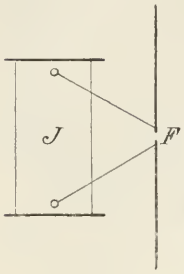
3. Aber nicht nur diese bei unseren Versuchen gefundene Polarität, sondern auch die HERTZ'schen Grundversuche selbst und vielleicht sogar alle Versuche mit HERTZ'schen elektrischen Schwingungen lassen sich in einfacher Weise mit Partialentladungen erklären, wenn man noch die weitere naheliegende Annahme macht, die Zeit vom Entstehen eines ersten Partialfunkens bis zum Entstehen eines zweiten solchen sei — für den experimentell ausprobirten Abstand beider primären Leiterhälften — gleich der von Herrn HERTZ als Schwingungsdauer seines Leiters bezeichneten Zeit, und jene Zeit werde durch das Verschwinden jenes ersten Partial-

---

[1] HERTZ, l. c. p. 18 u. p. 292.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

funkens nahezu halbirt. Denkt man sich nämlich HERTZ'sche primäre Leiter linear ausgeführt, mit Stromzuführung unmittelbar neben der Funkenstrecke F, so ist klar, dass bei der Ladung der Leiter die Elektricitäten in der Richtung von der Funkenstrecke zu den Enden der Leiter, bei der Entladung in umgekehrtem Sinne strömen müssen, und es wird, wenn nur die Zufuhr der Elektricitäten vom Inductorium her eine genügend reichliche ist, ihre Ausgleichung durch Entladung in der Funkenstrecke kaum wesentlich schneller vor sich gehen, als der Ladungsvorgang, so dass also die Bewegung der Elektricitäten im primären Leiter im einen Sinne ungefähr ebenso lange andauern wird, als diejenige im anderen Sinne. Die in solcher Weise durch Partialentladungen gegebene Schwingungsdauer der elektrischen Bewegungen im primären Leiter ist aber theilweise abhängig nicht nur von der während jedes Inductionsstromes veränderlichen, also mehr oder weniger reichlichen Zufuhr der Elektricität durch das Inductorium, sondern auch von der grösseren oder geringeren Leitungsfähigkeit der Funkenstrecke während der Entladung[1]; sie wird somit ihrerseits im Verlaufe jeder zwischen den primären Leiterhälften zu Stande kommenden Gesammtentladung etwas veränderlich sein.



4. Fassen wir die elektrischen Schwingungen im HERTZ'schen primären Leiter als Partialentladungen von der von mir eben angenommenen Beschaffenheit auf, so haben wir die Reflexion solcher elektrischer Schwingungen an Drahtenden und im Luftraume an Drahtgittern oder an ebenen metallischen Wänden mit ihren stehenden Wellen, die Concentration der von einer Linie ausgehenden Strahlen elektrischer Kraft durch entsprechende parabolische Cylinderspiegel, sodann die Polarisation und Brechung elektrischer Strahlen ganz so zu erklären, wie alles dies von Herrn HERTZ selber schon erklärt worden ist. Ein Unterschied besteht nur in der Deutung des Beobachtungsergebnisses, dass die auftretenden Knoten niemals scharf ausgebildet sind, sondern in bekannter Weise von Knoten zu Knoten an Schärfe verlieren. Abgesehen von dem selbstverständlichen Einfluss der Amplitudenverminderung in Folge des Reflexionsvorganges wird dieses Resultat von Herrn HERTZ einer starken Dämpfung im primären Leiter zugeschrieben, während ich dasselbe

[1] Vergl. HAGENBACH u. ZEHNDER, Wied. Ann. 43, p. 614/5. 1891.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

aus unserer Hypothese der Partialentladungen durch die in 3. erwähnte Veränderlichkeit der Schwingungsdauer der einzelnen auf einander folgenden zu einer Gesammtentladung gehörenden Partialentladungen erklären möchte, der zu Folge sich Wellen von etwas ungleicher Wellenlänge übereinander lagern.

5. In anderer Beziehung will mir aber — ungeachtet der verschiedenen Ansichten über die Natur der HERTZ'schen elektrischen Schwingungen im primären Leiter — die Schlussweise des Herrn HERTZ bei der Diskussion der Lage der Knoten und Bäuche der im Luftraume beobachteten stehenden Wellen nicht recht einleuchten. In seiner Arbeit: „Ueber elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion“[1] schreibt Herr HERTZ nämlich auf p. 614 über die Lage der Knoten bei einer reflektirenden Metallwand: „Wäre die Wand vollkommen leitend, so müsste sich in ihrer Fläche selber ein Knotenpunkt ausbilden. Denn im Innern und an der Grenze eines vollkommenen Leiters kann die elektrische Kraft stets nur verschwindend klein sein. Nun kann unsere Wand nicht als vollkommen leitend gelten. Denn zum Theil ist sie nicht einmal metallisch, und so weit sie metallisch ist, ist sie nicht sehr ausgedehnt“ u. s. w. Darnach glaubt also wohl Herr HERTZ, dass bei einer vollkommen leitenden, möglicher Weise auch bei einer ganz metallischen reflektirenden Wand von unendlicher Grösse der Knoten in der Wand liegen müsste. Diese Annahme scheint mir aber nicht stichhaltig. Denn durch die an der Wand ankommenden Schwingungen elektrischer Kraft e_1 werden in der Wand selbst elektrische Schwingungen, Ströme i gleicher Periode, inducirt, und von diesen gehen diejenigen sekundären Schwingungen elektrischer Kräfte e_2 aus, welche sich mit jenen ankommenden elektrischen Kräften e_1 zu stehenden Wellen vor der Wand zusammensetzen. Damit sich nun in der Wand selbst ein Knoten ausbilde, müsste durch diesen Reflexionsvorgang die Phase der Schwingungen der elektrischen Kraft um eine halbe Wellenlänge geändert werden, was wohl im Allgemeinen nicht der Fall ist. Denn es würde die Phase der in der Wand induzirten elektrischen Schwingungen, der Ströme i, unter Annahme der Anwendbarkeit des OHM'schen Gesetzes, gleich der Phase der induzirenden eben aus dem Dielektricum in die Wand eintretenden Schwingungen elektrischer Kraft sein. Die von jenen elektrischen Schwingungen (i) ausgehenden sekundären elektrischen

[1] HERTZ, Wied. Ann. 34, p. 609. 1888.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Kräfte e_2 sind aber gegeben durch $-\frac{di}{dt}$; sie zeigen nur eine Viertel-Wellenlänge Phasenänderung gegen i und gegen e_1 als Folge des Reflexionsvorganges, und setzen wir dieselben mit den primären elektrischen Kräften e_1 zusammen, so ergeben sich vor der reflektirenden Wand stehende Wellen, deren erster Knoten um $^3/_8$ Wellenlängen von der Wand absteht, so dass scheinbar ein Knoten um $^1/_8$ Wellenlänge hinter der Wand liegen wird.

Nehmen wir aber an, das Ohm'sche Gesetz sei für diese schnellen elektrischen Schwingungen nicht mehr streng gültig, so müssen wir auf eine Verzögerung der in der Wand induzirten elektrischen Schwingungen schliessen, und dementsprechend würde der dadurch hervorgerufenen Phasenänderung zu Folge der scheinbare Knoten noch weiter hinter die Wand zu liegen kommen. Anderseits sind unsere wirklichen metallischen Wände nicht unendlich gross, an ihren Rändern kommen Ladungen zu Stande, und demnach werden die in solchen (im Verhältniss zur Wellenlänge der elektrischen Schwingungen nicht sehr ausgedehnten) Wänden induzirten elektrischen Schwingungen ein entsprechendes Voreilen[1] zeigen können, in welchem Falle der hinter der Wand liegende scheinbare Knoten sich gegen die Wand hin bewegen wird[2].

6. Mit diesen Folgerungen scheinen die thatsächlichen Beobachtungen übereinzustimmen, denn Herr Hertz selber hat bei seinen Messungen stehender elektrischer Wellen im Luftraume einen scheinbaren Knoten etwa $^1/_{14}$ Wellenlänge hinter der Wand gefunden[3], als er eine der unendlich grossen nahezu gleichwerthige Wand, nämlich ein Zinkblech von 4 m Höhe und 2 m Breite verwendete, welches Blech er „durch Drähte mit den (zahlreich an der Wand sich hinziehenden) Gasleitungen und mit einer nahen Wasserleitung in Verbindung gesetzt und wobei er insbesondere dafür Sorge getragen

[1] Vergl. Trouton, Phil. Mag. (5) **32**, p. 85. 1891.

[2] Das Resultat des in 1. erwähnten Hagenbach'schen Versuches, dass die Funken im sekundären Leiter auch zum Verschwinden gebracht werden können durch eine leitende Wand, welche in der „Längsstellung" zwischen die beiden Spiegel geschoben wird, möchte ich im Wesentlichen gleichfalls aus einer Phasenänderung herleiten, welche die in jener Wand entstehenden und sich in ihr fortpflanzenden gegen die in der Luft selbst sich weiter bewegenden Schwingungen elektrischer Kräfte erhalten, so dass zwischen diesen beiden gegen den sekundären Spiegel forteilenden Wellensystemen Interferenzen zu Stande kommen, welche die sekundären Funken mehr oder weniger zu stören vermögen.

[3] Hertz, Wied. Ann. **34**, p. 619. 1888.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

hat, dass an dem oberen und unteren Ende des Blechs die sich daselbst etwa ansammelnde Elektricität möglichst frei abfliessen konnte"[1]. Mit einer kleineren Wand von nur 3 m Höhe haben die Herren SARASIN und DE LA RIVE die Knoten annähernd in der Wand erhalten[2]; und endlich erwähne ich Untersuchungen von Herrn TROUTON[3], welcher eine Abhängigkeit der Knotenlage von den Dimensionen der reflektirenden Wand gefunden und eingehender untersucht hat.

7. Bei metallischen Wänden von endlichen Dimensionen treten an den entsprechenden Rändern der Blechtafeln während der elektrischen Schwingungen periodisch sich ändernde Ladungen auf, und die angesammelten Elektricitäten gleichen sich zum Theil auf den Rückflächen solcher Wände aus, so dass sich die elektrischen Schwingungen, theilweise wenigstens, um die Ränder herum auf jene Rückflächen fortpflanzen. In diesem Sinne sind auch grosse Wände für elektrische Schwingungen doch nicht völlig undurchlässig.

Die Thatsache der theilweisen Durchlässigkeit eines aus parallelen Drähten gebildeten Gitters auch für elektrische Schwingungen, welche der Drahtrichtung parallel sind, ist leicht zu verstehen, und sie liess sich bei der von mir kürzlich beschriebenen objectiven Darstellung der HERTZ'schen Spiegelversuche[4] nachweisen, da meine Entladungsröhre in der Fokallinie des sekundären Spiegels trotz des Zwischenstellens eines solchen Drahtgitters zwischen beide Spiegel doch während des primären Funkenspiels aufleuchtete, wenn nur der Abstand der beiden Spiegel nicht ein so grosser war, dass schon bei geringer Vermehrung desselben das Funkenspiel in der sekundären Funkenstrecke der Röhre versagte. Aber auch eine Blechtafel ist in ähnlicher Weise durchlässig. Ich verdeckte nämlich den primären Spiegel durch eine dicht an denselben herangeschobene Blechtafel von der Höhe des Spiegels und von einer so grossen Breite, dass die Tafel auf beiden Seiten den Spiegel um mehr als 20 cm überragte, während der sekundäre Spiegel in der gewöhnlichen Anordnung dem primären in einiger Entfernung gegenüberstand. Obgleich ich nun primären und sekundären Spiegel, sowie die Blechtafel durch verschiedene Drahtleitungen, welche in fliessendes Leitungswasser tauchten, vollkommen zur Erde ableitete und

---

[1] HERTZ, l. c. p. 611.
[2] SARASIN und DE LA RIVE, C. R. 112, p. 658. 1891.
[3] TROUTON, Phil. Mag. (5) 32, p. 80. 1891.
[4] ZEHNDER, Wied. Ann. 47, p. 77. 1892.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

damit elektrostatische Wirkungen abschnitt, wurde meine leicht ansprechende im sekundären Spiegel befindliche Entladungsröhre durch das Funkenspiel im primären Leiter doch zum Aufleuchten gebracht, und es unterblieb dies erst, als ich die Verbindungen der sekundären Leiterhälften mit der sekundären Funkenstrecke der Entladungsröhre löste. So leicht ansprechend war eine von diesen letzteren, dass dieselbe sogar dann im Innern des sekundären Spiegels während des primären Funkenspiels aufleuchtete, wenn nur primärer und sekundärer Spiegel nahe an einander gestellt wurden, ihre Oeffnungen nach derselben Richtung gekehrt, ohne dass eine leitende Wand den Strahl elektrischer Kraft aus dem primären in den sekundären Spiegel reflektirte [1].

8. Unsere bisherigen Betrachtungen über die Reflexion elektrischer Schwingungen liessen sich durchführen, ohne dass es nöthig war, sich der Hertz'schen oder der von mir in 3. erläuterten Auffassung der Natur der Hertz'schen elektrischen Schwingungen im primären Leiter anzuschliessen. Hält man aber die primären Schwingungen für Partialentladungen und bezweifelt man damit mehr oder weniger die Möglichkeit des Zustandekommens von elektrischen Schwingungen in den Hertz'schen Leitern in dem von Herrn Hertz angenommenen und von der Theorie als möglich bezeichneten Sinne, dann ist man wohl consequenter Weise genöthigt, für die von Herrn Hertz experimentell constatirte Thatsache, dass gewissen Dimensionsverhältnissen zwischen seinen primären und sekundären Leitern ein Maximum der Wirkung der elektrischen Schwingungen im primären auf die elektrischen Bewegungen im sekundären Leiter entspricht, welche Erscheinungen derselbe als elektrische Resonanz bezeichnete, eine neue Erklärung zu geben. Ich möchte deshalb in Folgendem zu zeigen versuchen, dass sich das Auftreten einer solchen Maximalwirkung auch unter der Annahme von Partialentladungen im primären Leiter verstehen lässt, wenn man die sekundären Leiter als ungeschlossene Leiter auffasst, wie sie ja den thatsächlichen Verhältnissen bei den Hertz'schen Versuchen stets entsprechen.

Von Partialentladungen, welche, wie ich in 3. erläutert habe, genügend rasch und in annähernd gleichen Intervallen auf einander folgen, werden mehr oder weniger periodisch und gleichmässig sich

[1] Bei weiter von einander abstehenden Spiegeln leuchtete eine solche empfindlich eingestellte Röhre zwar nicht mehr ohne jede Reflexion, aber doch schon bei der Reflexion durch den menschlichen Körper auf.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ändernde elektromotorische Kräfte in ihrer Richtung regelmässig mit einander abwechselnd — in positiver und negativer Richtung wirkend — in den Raum hinaus gesandt. Trifft eine solche erste elektromotorische Kraft zum Beispiel einen aus zwei gleichen Hälften bestehenden dem primären parallel gestellten geradlinigen sekundären Leiter, so bewirkt dieselbe in beiden Leiterhälften eine Elektricitätsvertheilung, welche mit der elektromotorischen Kraft (ihr etwas nacheilend) zu- und abnehmen wird. Nach Aufhören dieser elektromotorischen Kraft sucht sich im sekundären Leiter der frühere Zustand wieder vollständig herzustellen. Ist also durch die erste elektromotorische Kraft in der Funkenstrecke dieses Leiters ein Funke eingeleitet und dadurch eine gewisse Elektricitätsmenge aus seiner einen Hälfte in die andere übergeführt worden, so strömen nach der Abnahme jener elektromotorischen Kraft die Elektricitäten zur Funkenstrecke zurück, suchen sich in ihr wiederum auszugleichen. Auf die erste folgt sodann die zweite entgegengesetzt gerichtete elektromotorische Kraft. Sind nun die Längen der sekundären Leiterhälften gerade so ausprobirt, dass diese zweite elektromotorische Kraft in demjenigen Augenblicke an der sekundären Funkenstrecke die grösstmögliche Potentialdifferenz hervorbringt, in welchem durch das Zurückströmen der, durch jene erste elektromotorische Kraft geschiedenen, Elektricitäten gleichfalls die grösstmögliche Potentialdifferenz an der nämlichen Funkenstrecke erzeugt wird, dann addiren sich diese Potentialdifferenzen, so dass wir ein Maximum derselben und demnach ein Maximum des gesammten Funkenspiels erhalten; denn ganz ähnlich werden nun die dritte elektromotorische Kraft mit der zweiten, die vierte mit der dritten zusammenwirken u. s. f. — Sind die sekundären Leiter nicht geradlinig, sondern kreisrund oder rechteckig geformt, so werden doch in analoger Weise wie eben angegeben bei gewissen Dimensionsverhältnissen in ihnen Maximalwirkungen zu Stande kommen, sie werden auf elektrische Schwingungen von bestimmter Periode am leichtesten ansprechen, auch wenn die in ihnen induzirten elektrischen Bewegungen, ohne von langsam absterbenden elektrischen Schwingungen gefolgt zu werden, aufhören, sobald einmal die sie induzirenden elektrischen Bewegungen im primären Leiter — die Partialentladungen — verschwunden sind.

9. Mit zwei Folgerungen aus der Annahme von Partialentladungen, dass nämlich sekundäre Leiter bei gewissen ihnen eigenthümlichen Schwingungsdauern auf elektrische Impulse am

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

leichtesten ansprechen, und dass die so wenig scharf ausgebildeten Knoten stehender elektrischer Wellen (4.) doch sekundäre Leiter noch ansprechen lassen, haben wir diejenigen Grundlagen gewonnen, auf deren Basis die Herren Hertz, Bjerknes und Poincaré die von den Herren Sarasin und De la Rive gefundene Erscheinung der multiplen Resonanz so gedeutet haben[1], wie sie auch mittelst der Partialentladungen zu deuten ist.

Indem ich glaube, dass die übrigen Versuche mit Hertz'schen elektrischen Schwingungen unter der Annahme von Partialentladungen sich gleichfalls erklären lassen, möchte ich nochmals hervorheben, dass diese meine Auffassung der Reflexion und der Resonanz elektrischer Schwingungen mit den experimentellen Resultaten unserer Basler Versuche, welche eine elektrische Polarität im sekundären Leiter ergaben, in bester Uebereinstimmung steht, während mir diese Resultate mit der Anschauungsweise des Herrn Hertz über die Natur seiner schnellen elektrischen Schwingungen nicht vereinbar erscheinen.

[1] Hertz, Ueb. d. Ausbr. d. el. Kr., p. 17/18. Leipzig 1892.

Freiburg i. B., Januar 1893.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: 7

Autor(en)/Author(s): Zehnder Ludwig

Artikel/Article: Ueber die Reflexion und die Resonanz der HERTZ'schen elektrischen Schwingungen. 38-46