

Prof. Dr. Heinrich Hertz [1857 - 1894]

## Wie ich die elektromagnetischen Wellen entdeckte

Die Auswahl der Zitate besorgte: *Dr. Herbert Börner*, Ilmenau

Originalbeitrag erschienen in: *Mitt. Geschichte der Rundfunktechnik* Jg. 4 (1987) Nr. 14, S. 2 - 7



Sehr häufig bin ich gefragt worden, auf welche Weise ich zuerst zu den im Folgenden beschriebenen Versuchen geführt worden bin. Der allgemeine Anlass war dieser:

Im Jahre 1879 hatte die Akademie der Wissenschaften zu Berlin als Preisarbeit die Aufgabe ausgeschrieben, irgend eine Beziehung zwischen den elektrodynamischen Kräften und der dielektrischen Polarisierung der Isolatoren experimentell nachzuweisen. Da ich damals im physikalischen Institut zu Berlin mit elektrodynamischen Arbeiten beschäftigt war, machte Herr *von Helmholtz* mich auf jene Aufgabe aufmerksam und versprach mir die Unterstützung des Instituts, wenn ich mich an die Bearbeitung derselben wagen wollte.

Ich überlegte mir die Aufgabe und berechnete den Erfolg, welcher sich etwa unter den günstigsten Verhältnissen erwarten liess. Das Ergebnis war freilich nicht das gewünschte; es zeigte sich, dass eine unzweifelhafte Wirkung kaum zu hoffen war, vielmehr nur eine solche, welche an der Grenze der Beobachtung lag. Ich verzichtete deshalb auf die Bearbeitung

jener Aufgabe; es ist mir auch nicht bekannt geworden, dass dieselbe eine anderweitige Bearbeitung gefunden hätte.

Es blieb aber mein Ehrgeiz, die damals aufgegebenen Lösung später dennoch auf irgendeinem neuen Wege zu finden, zugleich war meine Aufmerksamkeit geschärft für Alles, was mit elektrischen Schwingungen zusammenhing. Es war wohl nicht möglich, dass ich eine neue Form solcher Schwingungen übersehen könnte falls ein glücklicher Zufall mir eine solche in die Hände spielte.

Ein solcher Zufall und damit der besondere Anlass der folgenden Untersuchungen trat mir im Herbst 1886 entgegen. In der physikalischen Sammlung der Technischen Hochschule zu Karlsruhe, wo ich diese Versuche ausführte, hatte ich zu Vorlesungszwecken ein Paar sogenannter Riess'scher oder Knochenhauerscher Spiralen vorgefunden und benutzt. Es hatte mich überrascht, dass es nicht nöthig war, grosse Batterien durch die eine Spirale zu entladen, um in der anderen Funken zu erhalten.

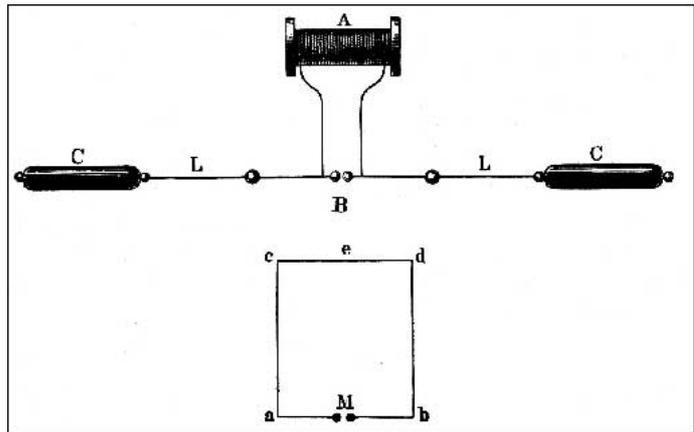
## Biografie

Anfangs hielt ich die elektrischen Bewegungen für zu stürmisch und unregelmässig, als ich aber das Auftreten des Indifferenzpunktes in der Mitte einer Nebenleitung und damit eine klare und reine Erscheinung gefunden hatte, war ich überzeugt, dass nunmehr die Aufgabe der Berliner Akademie löslich sein würde. Die erste Abhandlung: "Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen" giebt im Wesentlichen in zeitlicher Folge die Untersuchung wieder, wie sie zu Ende des Jahres 1886 und zu Anfang des Jahres 1887 ausgeführt wurde. Durch die bisher erwähnten Versuche hatte ich ein Mittel erlangt, schnellere elektrische Bewegungen zu erregen, als vorher dem Physiker zu Gebote standen.

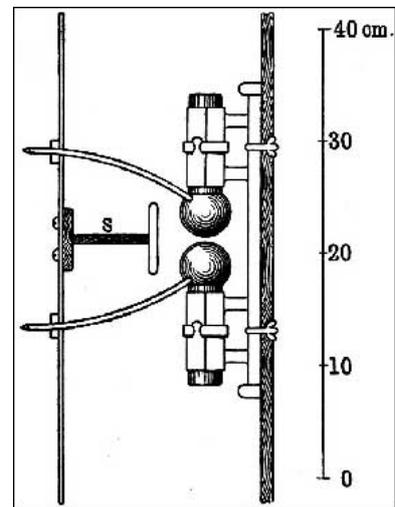
Der Sommer 1887 verstrich mit vergeblichen Versuchen, mit Hilfe der neuen Klasse von Schwingungen den elektrodynamischen Einfluss der Isolatoren wirklich nachzuweisen. Erst ganz allmählich gelang es mir, mir klar zu machen, dass jener Satz, welcher die Voraussetzung meines Versuches bildete, hier keine Anwendung fände; dass bei der Schnelligkeit der Bewegung auch Kräfte, welche ein Potential besaßen, in der fast geschlossenen Leitung Funken erregen könnten; dass überhaupt die grösste Vorsicht zu beobachten sei bei Anwendung der allgemeinen Begriffe und Lehrsätze, welche der gewöhnlichen Elektrizitätslehre entstammten. Diese Sätze bezogen sich alle auf statische oder stationäre Zustände, hier aber hatte ich in Wahrheit veränderliche Zustände vor mir.

Ich sah ein, dass ich gewissermassen allzu gerade auf mein Ziel zugegangen war. Es gab ja noch eine unendliche Mannigfaltigkeit anderer Lagen des secundären gegen den primären Leiter, unter diesen konnten wohl solche sein, welche für mein Vorhaben günstiger waren. Diese Mannigfaltigkeit war also zuerst zu erforschen. So fand ich die mich überraschenden äusserst regelmässigen und abwechslungsreichen Erscheinungen, welche in der fünften Nummer "Ueber die Einwirkung einer geradlinigen elektrischen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn" beschrieben sind. Die Auffindung und Entwirrung dieser äusserst regelmässigen Erscheinungen machte mir besondere Freude.

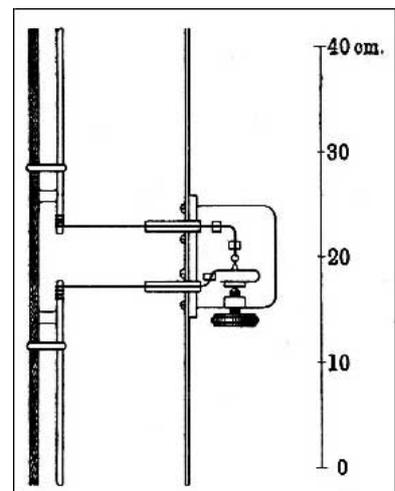
Uebrigens erregte gerade die immer wachsende Entfernung, bis zu welcher ich die Wirkung wahrnahm, am meisten mein Erstaunen; man war bis dahin gewohnt, elektrische Kräfte nach dem Newton'schen Gesetze abnehmen und also mit wachsender Entfernung schnell unmerklich werden zu sehen.



Hertz'sche Versuchsanordnung mit Funkeninduktor A, Luftleiter L mit Sender-Funkenstrecke B und Resonanzkreis mit Kontroll-Funkenstrecke M.



Sender-Kugelfunkenstrecke

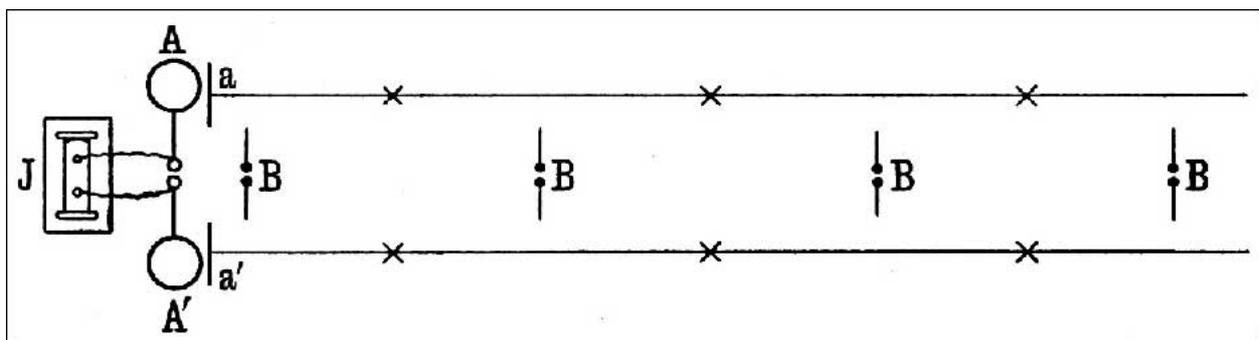


Resonator-Funkenstrecke mit Mikrometerschraube.

Die Lösung der Aufgabe, welche ich verfolgte, gelang nun ohne Weiteres in der Art, wie ich es in der Abhandlung Nr.6 "Ueber Inductionserscheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren" dargestellt ist. Unterm 10. November 1887 konnte ich der Berliner Akademie Mittheilung von dem glücklichen Erfolge machen.

Inzwischen war es gelungen, die Inductionswirkung bis auf 12 m Entfernung wahrzunehmen; in dieser Entfernung musste sich die Phase der Bewegung schon mehr als einmal umgekehrt haben, es kam nur darauf an, diese Umkehr nachzuweisen. So entstand der Plan, dessen Ausführung in der Arbeit "Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen" dargelegt ist.

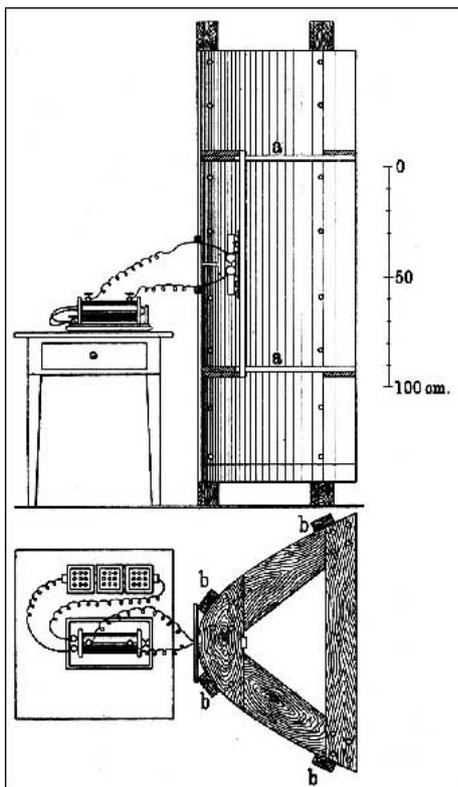
Die ersten Schritte der Ausführungen gelangen leicht. In gerade gespannten Drähten entstanden mit überraschender Schärfe durch Reflexion die stehenden Schwingungen mit Knoten und Bäuchen, welche gestatteten, die Wellenlänge genau zu bestimmen und die Phasenänderung längs des Drahtes festzustellen. Ebenso schnell gelang es, die durch den Draht und die durch die Luft fortgeleitete Wirkung zur Interferenz zu bringen und also ihre Phase zu vergleichen. Besaßen nun beide Wirkungen eine endliche und gleiche Geschwindigkeit, wie ich erwartete, so mussten sie in allen Entfernungen mit gleicher Phase interferiren. Ein einfacher qualitativer Versuch, welcher bei der Uebung, welche ich damals besaß, in einer Stunde zu beenden war, musste dies entscheiden und auf einmal zum Ziele führen. Als ich nun aber die Apparate sorgfältig aufgestellt hatte und den Versuch ausführte, fand ich die Phase der Interferenz deutlich verschieden in verschiedenen Entfernungen und zwar etwa in solcher Abwechslung, wie es einer unendlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Luftraum entsprochen hätte. Entmuthigt brach ich die Versuche ab.



Angeregte Lecherleitung mit Spannungsbäuchen und -knoten zur Wellenlängen-Bestimmung.

Erst nach einigen Wochen nahm ich dieselben wieder auf. Ich sagte mir, dass es die gleiche Wichtigkeit habe, zu erfahren, dass sich die elektrische Kraft mit unendlicher Geschwindigkeit ausbreite und dass die Maxwell'sche Theorie falsch sei, wie sich im Gegenteil zu überzeugen, dass diese Theorie recht habe, vorausgesetzt nur, dass das Ergebnis ein bestimmtes und sicheres sei. Ich stellte also, ohne auf die Resultate zu achten, mit bester Sorgfalt die Erscheinungen fest, wie sie waren, und zwar mit den Ergebnissen, welche in der Abhandlung selbst wiedergegeben sind.

Es erscheint schwer, einen störenden Einfluss aufzuweisen, welcher so täuschend die Wirkung einer verschiedenen Geschwindigkeit nachahmen konnte; unmöglich erscheint es doch auch keineswegs, eine solche Täuschung anzunehmen. Ich vermuthete bei der Ausführung dieser Versuche nicht im Mindesten einen Einfluss der benachbarten Wände; ich entsinne mich z.B., dass ich den wellenführenden Draht nur in einem Abstand von 1,5 m an einem eisernen Ofen vorbeiführte. Es wäre möglich, dass eine derartige, stets an demselben Punkte wirkende Störung den Anlass des zweiten Phasenwechsels der Interferenz abgegeben hat.



Parabolspiegel mit der Sender-Funkstrecke im Brennpunkt.

Während ich die Wirkung meiner primären Schwingung in grossen Entfernungen untersuchte, war mir deutlich eine Art von Schattenbildung hinter leitenden Massen entgegengetreten, und diese war mir nicht sehr auffällig erschienen. Etwas später glaubte ich auch eine eigenthümliche Verstärkung der Wirkung vor solchen schattengebenden Massen und vor den Wänden des Raumes zu bemerken. Als mir zuerst der Gedanke kam, dass diese Verstärkung von einer Art Reflexion der elektrischen Kraft von den leitenden Massen herrührte, schien mir derselbe fast unzulässig, so sehr wich er immerhin von der uns damals geläufigen Vorstellung einer elektrischen Kraft ab, unbeschadet aller Bekanntschaft mit dem Vorstellungskreis der Maxwell'schen Theorie. Nachdem ich aber das Vorhandensein wirklicher Wellen glaubte sicher festgestellt zu haben, trat ich der anfangs verworfenen Erklärungsart wieder näher und kam so zu den Erscheinungen, welche in der Abhandlung "Ueber elektrodynamische Wellen im Luftraum und deren Reflexion" dargelegt sind.

Die bisher erwähnten Versuche über die Reflexion der Wellen waren im März 1888 vollendet. Noch in demselben Monat machte ich den Versuch, die Zerstreuung der Fernwirkung durch Reflexion an einer krummen Fläche zu verhindern. Ich baute für meine grosse Schwingung einen parabolischen Hohlspiegel von 4 m Höhe und etwa 2 m Oeffnung. Ich fand aber entgegengesetzt meiner Erwartung die Fernwirkung bedeutend geschwächt. Vielleicht bin ich nicht ausdauernd genug in diesen Versuchen gewesen, jedenfalls gelang es mir damals überhaupt nicht, kurze Schwingungen zu erzeugen und zu beobachten und ich gab diese Versuche auf, um mich zunächst anderen Fragen zuzuwenden.

Es war zu versuchen, ob man nicht mit weit einfacheren Annahmen der Maxwell'schen Theorie auskomme. Der Versuch gelang. Die Ergebnisse der Rechnung sind dargelegt in der Abhandlung "Die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie".

Neben diesen theoretischen Betrachtungen setzte ich die Versuche fort und wandte dieselben wieder mehr den Wellen in Drähten zu. Ich liess nicht mehr die Wellen in einem Draht fortleiten, sondern in dem Zwischenraum zwischen zwei Drähten, zwischen zwei Platten, in röhrenförmigen Räumen; nicht mehr in verschiedenen Metallen, sondern in verschiedenen trennenden Isolatoren. Die Abhandlung "Ueber die Fortleitung elektrischer Wellen durch Drähte", obwohl erst später vollendet und veröffentlicht, ist grösstentheils im Sommer 1888 ausgeführt.

Im Herbst wurde ich nämlich von den Versuchen an Drähten aus Anlass einer besonderen Erscheinung abgezogen. Als ich zur Untersuchung der Wellen in dem engen Zwischenraum zwischen zwei Drähten Resonatoren von geringem äusserem Umfange anwandte und bemüht war, solche Resonatoren abzustimmen, fand ich, dass ich am Ende der Drähte auch dann deutliche Knoten erhielt, wenn ich viel zu kleine Resonatoren benutzte. Selbst als ich zu Kreisen von wenigen Zentimetern Durchmesser herabstieg, erhielt ich noch Knoten; dieselben lagen in geringem Abstände vom Ende der Drähte und ich konnte noch halbe Wellenlängen bis herab zu 12 cm

beobachten. So hatte mich ein Zufall auf die vorher nicht gefundene Spur der kurzen Wellen gebracht, ich verfolgte sogleich diese Spur und es gelang mir nun auch schnell eine Form des primären Leiters zu finden, welche mit den kleinen Resonatoren zusammenarbeitete.

Nachdem ich nun in der erwähnten Weise zur Beobachtung sehr kurzer Wellen gelangt war, wählte ich solche von etwa 30 cm Länge aus und wiederholte mit denselben zunächst die früheren Versuche. Im Widerspruch mit meinen Erwartungen stand die neue Erfahrung, dass diese kurzen Wellen an Drähten mit fast der gleichen Geschwindigkeit entlang eilten, welche sie in der Luft besaßen. Da so kurzen Wellen leicht ein freier Spielraum zu verschaffen war, so konnte hier ein Zweifel an der Richtigkeit des Resultats nicht aufkommen.

Nachdem ich mich mit der Behandlung der kurzen Wellen vertraut gemacht hatte, nahm ich die Versuche mit den Hohlspiegeln wieder auf. Der alte grosse Spiegel war nicht mehr vorhanden, ich liess einen kleineren von 2 m Höhe und etwas über 1 m Oeffnung herstellen. Die Wirkung desselben war so auffallend günstig, dass ich sogleich nach den ersten Proben nicht nur einen zweiten Hohlspiegel, sondern auch ebene spiegelnde Flächen und ein grosses Prisma bestellte. Schnell hintereinander und ohne Mühe gelangen nun die Versuche, welche in der Abhandlung "Ueber Strahlen elektrischer Kraft" dargestellt sind; dieselben waren lange vorher überlegt und vorbereitet gewesen, mit Ausnahme der Polarisationsversuche, welche mir erst während der Arbeit einfielen. Diese Versuche mit den Hohlspiegeln sind schnell aufgefallen, sie sind häufig wiederholt und bestätigt worden. Sie haben einen Beifall gefunden, welcher meine Erwartungen weit übertraf.

Werfen wir einen Blick zurück. Durch die Gesammtheit der geschilderten Versuche ist zum ersten Male der Beweis geliefert worden für die zeitliche Ausbreitung einer vermeintlichen Fernkraft. Diese Thatsache bildet den philosophischen, in gewissem Sinne zugleich den wichtigsten Gewinn der Versuche. In jenem Beweise ist enthalten die Erkenntnis, dass die elektrischen Kräfte sich von den ponderablen Körpern loslösen und selbständig als Zustände oder Veränderungen des Raumes fortbestehen können. Neben dieser Erkenntnis liefern die Einzelheiten der Versuche den Beweis, dass die besondere Art der Ausbreitung der elektrischen Kraft die grösste Analogie, wenn nicht vollständige Uebereinstimmung zeigt mit der Ausbreitung der Lichtbewegung.

Seit dem Jahre 1861 besitzt die Wissenschaft die Theorie, welche Maxwell auf den Anschauungen Faradays aufgebaut hat, welche wir deshalb die Faraday-Maxwell'sche Theorie nennen und welche die Möglichkeit der hier aufgefundenen Klasse von Erscheinungen mit der gleichen Sicherheit behaupten konnte, mit welcher die übrigen Theorien gezwungen waren, die Möglichkeit derselben zu verneinen. Die Maxwell'sche Theorie übertraf von vornherein die übrigen elektrischen Theorien durch Schönheit und Reichthum der Beziehungen, welche sie zwischen den Erscheinungen annahm. Die Wahrscheinlichkeit dieser Theorie und damit die Zahl ihrer Anhänger wuchs von Jahr zu Jahr. Gleichwohl vermochte die Maxwell'sche Theorie die ihr entgegenstehenden Theorien nicht vollständig zu verdrängen, weil sie sich nur auf die Wahrscheinlichkeit der Endergebnisse, nicht auf die Sicherheit ihrer Voraussetzungen berufen konnte. Die Fundamentalhypothesen der Maxwell'schen Theorie widersprachen den üblichen Anschauungen und konnten sich nicht an sichere Versuche als an Beweise anlehnen. In diesem ihrem natürlichen Zusammenhang können wir Absicht und Ergebniss unserer Versuche nicht besser charakterisieren, als indem wir sagen :

***Die Absicht dieser Versuche war die Prüfung der Fundamentalhypothesen der Faraday-Maxwell'schen Theorie und das Ergebniss der Versuche ist die Bestätigung der Fundamentalhypothesen dieser Theorie.***

## Biografie

---

Entnommen aus :

Hertz, H.: Gesammelte Werke, Bd. II: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft.  
Leipzig: J. A . Barth, 1894, S. 1 - 21



**Dr. Herbert Börner bei seiner Gedenkrede zum 100. Todestag von *Heinrich Hertz*. Bei der Kranzniederlegung an der Büste von *Heinrich Hertz* hatte leider ein leichter Regen eingesetzt. Der Regen konnte aber den feierlichen Rahmen nicht stören.**

**Foto: W. Eckardt**

Bild aus: FUNKGESCHICHTE 17 (1994) Nr. 97, S. 162