

### 33. *Ueber eine Verschiedenheit im Verhalten der electrischen und der magnetischen Schwingung Hertz'scher Wellen; von K. Waitz.*

---

1. Electrisch gut leitende Körper wie die Metalle reflectiren und absorbiren Hertz'sche Schwingungen sehr stark, sodass diese nicht in das Innere der Leiter eindringen können, sondern schon in einer Tiefe von circa  $\frac{1}{100}$  mm erlöschen, wie z. B. die Versuche des Hrn. V. Bjerknes<sup>1)</sup> lehren. Auch für Schwefelsäure, deren Leitungsvermögen etwa 100,000 mal schlechter als das der Metalle ist, gilt ähnliches; J. J. Thomson<sup>2)</sup> und Stefan<sup>3)</sup> fanden, dass sie schon in Schichten von einigen Millimetern Dicke electrische Schwingungen vollkommen absorbirt. Man kann deshalb, wie mir beiläufig Versuche zeigten, ebensogut passende Gefässe mit Schwefelsäure als primäre Conductoren zur Erzeugung von Hertz'schen Wellen verwenden wie Metallconductoren. Geht man zu Flüssigkeiten über, die wieder 100 000 mal schlechter leiten als Schwefelsäure, so kommt man schon zu guten Isolatoren, die sich ganz anders gegen strömende Electricität verhalten. Bei ihnen treten an Stelle der Leitungsströme immer mehr die sogenannten Verschiebungsströme; aber auch die in solchen Isolatoren hervorgerufene Electricitätsbewegung gab Hertz deutliche Wirkungen in der Funkenbildung seines Resonators, wenn diesem grössere Massen der Isolatoren genähert wurden.

2. Im Folgenden werden Versuche mitgetheilt, bei denen die Inductionswirkungen Hertz'scher Schwingungen in Substanzen beobachtet wurden, deren Leitungsfähigkeit zwischen der Leitungsfähigkeit des Kupfers und der der Essigsäure liegen, d. h. etwa um das Billionenfache abnimmt. Die Versuche erlauben eine, allerdings wenig genaue, quantitative Verglei-

---

1) V. Bjerknes, Wied. Ann. 47. p. 69. 1892 u. später.

2) J. J. Thomson, Proc. Roy. Soc. 45. p. 269. 1889.

3) Stefan, Wied. Ann. 41. p. 400. 1891.

chung der durch Hertz'sche Schwingungen inducirten Strömung in diesen Substanzen. Das war aber nicht der Hauptzweck der Untersuchung, sondern vor allem sollte geprüft werden, ob die *Inductionswirkung des electrischen und des magnetischen Vectors*, die ja beide stets zugleich bei Hertz'schen Schwingungen auftreten, *sich verschieden verändern*, wenn man sie einzeln auf leitende oder isolirende Substanzen wirken liess. Mit anderen Worten, ob die electrische Schwingung eine andere Dämpfung als die magnetische zeigt, wenn man sie in einer Reihe von Substanzen erzeugt, deren Leitungsfähigkeit im Verhältniss von 1 auf  $10^{-12}$  abnimmt. Es hat sich bei der benutzten Versuchsanordnung in der That eine solche Verschiedenheit zwischen der electrischen und magnetischen Schwingung ergeben.

#### Versuchsanordnung.

3. Eine quantitative Untersuchung der mittleren, von Hertz'schen Schwingungen in einem Leiter inducirten, Strömung ist u. a. nach der bekannten, von Hrn. V. Bjerknes<sup>1)</sup> zuerst angewandten Electrometermethode möglich. Dabei giebt, wenn alles ungeändert bleibt und nur die Substanz des die Platten des Electrometers verbindenden Körpers, wir nennen ihn den Resonator, variirt wird, der Ausschlag der Electrometernadel direct ein Maass für die Strömung im Resonator oder auch für die Dämpfung durch den Stoff des Resonators. Diese Versuchsanordnung wurde benutzt.

Die die Wellen erzeugenden primären Conductoren waren zwei hölzerne, mit Stanniol überzogene Cylinder mit abgerundeten Enden; die einander zugewandten Enden trugen Zinkkappen, zwischen denen der Funke übersprang. Die Zuleitung zum Inductionsapparat vermittelten zwei kleine Klemmschrauben unterhalb der Zinkkappen. Die Länge eines Cylinders zwischen den Scheiteln der abgerundeten Enden betrug 28 cm, die Dicke 10 cm.

Die secundäre Schwingung fand in einem rechteckigen Resonator statt. Er war für die verschiedenen benutzten Metalle aus Draht möglichst gleicher Dimensionen hergestellt.

---

1) V. Bjerknes, l. c.

Dicke des Drahts = 1,30 mm, Seitenlänge 24 cm und 22,7 cm. Die eine der kürzeren Seiten des Rechtecks hatte in der Mitte eine Lücke von 4 cm Länge, dort war an den beiden Enden der Draht senkrecht zur Ebene des Rechtecks umgebogen und tauchte in Quecksilbernäpfchen, die mit den Platten des Electrometers in kurzer leitender Verbindung standen. Zwischen den zwei verticalen Electrometerplatten von 2 cm Durchmesser hing,  $45^{\circ}$  gegen sie geneigt, eine 1,5 cm lange Aluminiumnadel an einem 20 cm langen Quarzfaden. Sollten statt der Metalle Flüssigkeiten untersucht werden, so füllte man diese in ein mit zwei Tubulis versehenes Rechteck aus zusammengeschmolzenen Glasröhren, dessen Axe ungefähr den Dimensionen der Metallrechtecke entsprach. Das Volum des Glasrechtecks war 560 ccm, der mittlere Radius der Röhren im Lichten 1,4 cm. An der Begrenzung der Lücke in der nicht ganz vollständigen Seite waren als Electroden Platindrähte eingeschmolzen, die mit ihren aus der Röhre herausstehenden Theilen in die Quecksilbernäpfe des Electrometers eingesetzt wurden. Statt der Drähte dienten manchmal auch runde, den Querschnitt der Röhre fast völlig ausfüllende Platinbleche als Electroden. Die Rechtecke lagen horizontal auf zwei Holzleisten mit passenden Anschlägen, sodass alle stets genau in dieselbe Lage gebracht werden konnten.

4. Bei dieser Versuchsanordnung kann man das Mitschwingen von Resonatoren aus gut leitenden Substanzen: Metallen, nicht zu verdünnter Schwefelsäure und Salzlösungen untersuchen, da dann die langsamen Schwingungen des Inductionsapparates Zeit haben, sich durch die leitende Verbindung der zwei Electrometerplatten, die ja der Resonator bildet, auszugleichen. Befindet sich dagegen sehr verdünnte Salzlösung, Wasser, Alkohol etc. im Glasrechteck als Resonator, so findet ein solcher Ausgleich der Ruhmkorffschwingungen nicht mehr statt, die, sagen wir kurz, electrostatischen Ladungen der Platten erzeugen sehr grosse Ausschläge der Nadel im Electrometer und eine Beobachtung der Hertz'schen Schwingungen im Resonator ist unmöglich. Dieser Uebelstand wird gänzlich vermieden, das Electrometer mit seinem Resonator wird völlig vor den Ruhmkorffschwingungen geschützt, wenn man zwischen Electrometer und primäre

Schwingung ein mindestens 1 qm grosses Metallblech schiebt, in das senkrecht zur Längsrichtung der Conductoren ein etwa 1 cm breiter *Spalt* eingeschnitten ist. Die günstigste Spaltlänge bestimmt sich aus der Wellenlänge der secundären Schwingung, auf die man den Spalt abstimmt. Zu dem Zweck bildete man den Spalt durch zwei grosse, parallel nebeneinander gelegte, mit je einer Kante bis auf 1 cm einander genäherte Zinkleche. Der so hergestellte Schlitz wurde an den Enden durch quer über die grossen Bleche gelegte Blechstreifen begrenzt, man verschob dann diese Verbindungsbleche gegeneinander, bis das Electrometer einen maximalen Ausschlag gab. Für die Drahtresonatoren fand dies bei einer Länge des Spaltes = 103 cm statt; für die Flüssigkeitsresonatoren dagegen, die je andere Dimensionen hatten, musste der Spalt dazu 77 cm lang gemacht werden. Selbst wenn Alkohol in das Glasrechteck gefüllt wurde, liess sich noch deutlich der Einfluss der Spaltlänge erkennen. Neben dieser Schutzwirkung gegen electrostatische Einflüsse giebt der Spalt, d. h. besser das den Spalt bildende grosse Metallblech, auch noch eine sehr beträchtliche Verstärkung der Ausschläge im Electrometer, ohne die eine Beobachtung für schlecht leitende Flüssigkeiten überhaupt unmöglich gewesen wäre, er wurde deshalb bei allen Versuchen benutzt. Denselben, ja oft einen besseren Dienst wie ein einzelner Spalt leistet eine Reihe paralleler Spalte, ein Gitter aus Zinkblechstreifen, die circa 1 cm voneinander abstehen und welche zwei Querstreifen in einer Entfernung von 77 cm bez. 103 cm leitend miteinander verbinden. Ob der Schirm (Spalt) oder das Gitter zur Erde abgeleitet werden oder nicht, ist für ihre Wirkung gleichgültig. Bei den Beobachtungen betrug die Länge des Spaltes oder der Gitterstreifen stets 70 cm, mochten metallische oder flüssige Resonatoren benutzt werden, man erhielt also für Metalle durchaus nicht den maximalen Ausschlag im Electrometer. Dieser musste überhaupt vermieden werden, weil, wenn er erreicht wurde, die Nadel den Electrometerplatten sehr nahe kam, dadurch das Feld zwischen den Platten inhomogen machte und der Ausschlag nicht mehr ein einfaches Maass für die Strömung gab. Wollte man also die Ausschläge für die Spaltlänge des maximalen Effects (der wirklichen Resonanz) kennen, so musste

man, wie Versuche lehrten, die Ablesungen für metallische bez. flüssige Resonatoren mit 3,75 bez. 1,03 multipliciren. Wegen der verschiedenen Dimensionen der Metall- und Flüssigkeitsresonatoren sind aber nur die Zahlen für Metalle untereinander und die für Flüssigkeiten untereinander vergleichbar, es war deshalb unnöthig, die genannten Correctionen anzubringen.

5. *Getrennte Untersuchung der electrischen und der magnetischen Schwingung.* Um die electrische Schwingung für sich allein zu untersuchen, stellte man die primären Conductoren etwa 10—20 cm unterhalb des horizontal liegenden Resonatorrechtecks, mit ihrer Längsrichtung parallel der unterbrochenen Seite desselben, die Funkenstrecke unter dem Mittelpunkt des Rechtecks. Zwischen primärer und secundärer Schwingung lag, auch horizontal, mit seiner Längsrichtung senkrecht zu den Conductoren der Spalt, dessen Centrum gerade über der Funkenstrecke sich befand.

Zur Beobachtung der magnetischen Schwingung setzte man die primären Conductoren seitlich neben und in gleiche Höhe mit dem Rechteck, parallel einer der zwei einander gegenüberstehenden nicht unterbrochenen Seiten, die Funkenstrecke gegenüber dem Mittelpunkt der Rechteckseite. Der Spalt zwischen primärer und secundärer Schwingung stand vertical, seine Längsrichtung wieder senkrecht zu den Conductoren, mit dem Mittelpunkte vor der Funkenstrecke.

6. Als Maass für die Stärke des Mitschwingens des Resonators wurde der erste Ausschlag der Electrometernadel angesehen. Da aber die primäre Schwingung durchaus nicht gleichmässig stattfindet, sondern sich oft plötzlich stark und willkürlich ändert, verglich man die Ausschläge des Electrometers (wir wollen es das *Messungselectrometer* nennen und mit MEI. bezeichnen) mit einem anderen, stets an dem gleichen Platz befindlichen und mit demselben Kupferkreis als Resonator versehenen sogenannten *Controllelectrometer*, das kurz CEL. geschrieben werde. Die Schwingungen der Nadeln beider Electrometer wurden mit Spiegel und Scale verfolgt, was einem Beobachter leicht möglich war, da beide Ablesefernröhre sich mit ihren Scalen direct übereinander an demselben Stative befanden. Die Schwingungsdauer der Nadel im CEL.

war sehr wenig kleiner als die der Nadel im MEL.; man schloss den Inductionsapparat und unterhielt die primäre Schwingung solange, bis die Nadel des CEL. umzukehren begann und hatte dann noch Zeit, schnell den Umkehrpunkt der Nadel am MEL. abzulesen. Das CEL. stand stets auf der anderen Seite der den Spalt bildenden Zinkbleche wie das MEL. und blieb solange unverrückt stehen, bis alle Beobachtungen z. B. für die magnetische Schwingung gemacht waren.

### Beobachtungen.

7. In den nachfolgenden drei Tabellen finden sich Beobachtungen zusammengestellt, die möglichst schnell aufeinander gemacht wurden. Die Zahlen jeder Tabelle sind nur unter einander vergleichbar und sind gewonnen, indem die Ausschläge ( $M$ ) am MEL. durch die ( $C$ ) am CEL. dividirt und dann mit 1000 multiplicirt wurden. In Tabelle I für die wenigen Metalle hat man noch alles auf  $Cu = 1000$  bezogen.

Die Zahlen der mit  $\dagger$  bezeichneten Substanzen in Tabelle II verlangten eigentlich noch eine Correction, und zwar, nach darüber angestellten Versuchen, etwa eine Multiplication mit  $\frac{5}{6}$ . Während nämlich bei allen anderen Substanzen der drei Tabellen der Ausschlag des CEL. nicht von den Schwingungen im MEL. beeinflusst wurde, also das  $C$  dasselbe war, mochte der Resonator am MEL. sich befinden oder nicht, war das bei den mit  $\dagger$  bezeichneten Flüssigkeiten nicht immer der Fall. Es zeigte sich bei ihnen der Ausschlag im CEL. oft beträchtlich kleiner, wenn der Flüssigkeitsresonator am MEL. angebracht war, als wenn er fehlte. Die Correction aber (Multiplication mit  $\frac{5}{6}$ ) ist so ungenau ermittelt, dass man vorzog, sie nicht anzubringen, zumal da die Verschiedenheit in der Aenderung der electrischen und der magnetischen Schwingung, auf die es wesentlich ankam, dadurch nicht verwischt, sondern nur vergrößert worden wäre.

Die angeführten Leitungsfähigkeiten der Flüssigkeiten sind nach der Kohlrausch'schen Methode mit langsamen Wechselströmen bestimmt.

Tabelle I.

*M/C.*

	Electrische Schwingung	Magnetische Schwingung
Cu	1000	1000
Ni	936	936
Fe weich	744	687
Fe hart	777	664

Tabelle II.

*M/C.*

	Electrische Schwingung	Magnetische Schwingung	Leitungs- fähigkeit
† H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30 Proc.	1028		6900 . 10 <sup>-8</sup>
† H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> verdünnt	133	28	192 . 10 <sup>-8</sup>
† MnSO <sub>4</sub>	140	31	183 . 10 <sup>-8</sup>
† CuSO <sub>4</sub>	104	20	128 . 10 <sup>-8</sup>
† Fe <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub>	58	16	72 . 10 <sup>-8</sup>
H <sub>2</sub> O	59	35	0,3 . 10 <sup>-8</sup>
Alkohol	26	14	0,06 . 10 <sup>-8</sup>
Essigsäure	24	41	0,008 . 10 <sup>-8</sup>

Tabelle III.

*M/C.*

	Electrische Schwingung	Magnetische Schwingung	Leitungs- fähigkeit
NaCl-Lösung	1220	270	1050 . 10 <sup>-8</sup>
	260	50	150 . 10 <sup>-8</sup>
	130	72	20 . 10 <sup>-8</sup>
	130	110	1,5 . 10 <sup>-8</sup>
H <sub>2</sub> O	134	120	0,3 . 10 <sup>-8</sup>

Tabelle I zeigt bei den gewählten Metallen eine ähnliche Dämpfung, wie sie schon von Hrn. V. Bjerknes beobachtet wurde, und zwar für die electrische und die magnetische Schwingung nicht wesentlich verschieden. Der scheinbare Unterschied zwischen weichem und hartem Eisen ist zu klein, um sicher gestellt zu sein. Tabelle II und III ergeben eine

*Abnahme der durch die electricen Schwingungen inducirten Strömung* (eine Zunahme der Dämpfung), *die der Abnahme der Leitungsfähigkeit* im allgemeinen *parallel* geht. Diese Abnahme wird um so kleiner, je geringer die Leitungsfähigkeit wird, und erreicht bei der NaCl-Lösung z. B. schon einen Grenzwert für eine über  $20 \cdot 10^{-8}$  gelegene Leitungsfähigkeit. — *Die durch die magnetische Schwingung inducirte Strömung kann dagegen*, wie Tabelle II zeigt, *wieder zunehmen, wenn von einer bestimmten Grenze der Leitungsfähigkeit an diese noch weiter abnimmt*, sodass z. B. in Alkohol und  $\text{Fe}_2\text{Cl}_3$  dieselbe Stromintensität inducirt wird, während die Leitungsfähigkeit sich um das 1200fache unterscheidet. Dasselbe ergibt auch Tabelle III für die magnetische Schwingung bei immer verdünnteren Lösungen von NaCl.

Die im Obigen kurz und vorläufig angeführten Versuche, auf die ich mir vorbehalte später ausführlich zurückzukommen, sind fast alle schon vor mehreren Jahren angestellt und berühren sich in gewisser Weise mit von Hrn. Drude<sup>1)</sup> in neuerer Zeit gewonnenen Resultaten, der nachgewiesen hat, dass die Absorption electricer Wellen in vielen Flüssigkeiten durchaus nicht der Leitungsfähigkeit parallel geht.

Tübingen, August 1897.

---

1) P. Drude, Wied. Ann. 58. p. 1. 1896 und später.