

IV. Ueber die Untersuchung electrischer Schwingungen mit Thermoelementen; von Ignaz Klemenčič.

(Aus den Sitzungsber. der kais. Acad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Classe, Bd. 99 Abth. IIa. Juli 1890 mit einigen Ergänzungen mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

Die grosse Wichtigkeit der Hertz'schen Entdeckungen bringt es mit sich, dass sich die Physiker lebhaft bemühen, neue Beobachtungsmethoden zu erfinden, theils um die Versuche einem grösseren Zuhörerkreise in objectiver Weise zu zeigen, theils um genaue quantitative Messungen auszuführen. In dieser Beziehung seien erwähnt die Methoden von Wiechert¹⁾, Fitzgerald²⁾, Boltzmann³⁾, Dragoumis⁴⁾ und die von Rubens und Ritter⁵⁾ angewendete bolometrische Methode, mittelst welcher die beiden zuletzt genannten Beobachter das Verhalten von Drahtgittern gegen electrische Schwingungen quantitativ untersuchten. Nachfolgend will ich einige Messungen beschreiben, welche ich mit einem zwischen die beiden Secundärinductoren eingeschalteten Thermoelemente machte. Es wurde auf diese Weise der aus dem Primärspiegel tretende Strahl längs seiner Axe und senkrecht zu derselben untersucht und weiter die Verstärkungszahl eines Secundärspiegels bestimmt. Unter der Verstärkungszahl verstehe ich dabei das Verhältniss der vom Thermoelemente angezeigten Energie, wenn sich dasselbe im Secundärspiegel befindet, zu jener, welche es anzeigt, wenn es an derselben Stelle im Raume, aber ohne Secundärspiegel aufgestellt wird. Ich machte auch einige Messungen mit dem Bolometer, allerdings nicht mit einer Doppelbrücke nach

1) Wiechert, Tageblatt der Naturforscherversamml. zu Heidelberg. 1889. p. 212.

2) Fitzgerald, Nature. 41. p. 295. 1890.

3) Boltzmann, Wied. Ann. 40. p. 399. 1890.

4) Dragoumis, Nature. 39. p. 548. 1889.

5) Rubens u. Ritter, Wied. Ann. 40. p. 55. 1890.

Art der von Rubens und Ritter angewendeten, sondern mit einer einfachen, welche mir auch ganz gute Resultate lieferte; für die erwähnten Messungen schien mir jedoch die Anwendung von Thermoelementen zweckentsprechender. Ein nicht geringer Vorzug der letzteren liegt darin, dass die Compensation der Widerstandsveränderungen gänzlich entfällt. Durch Wahl passenderer Drähte und Combinirung von mehreren Elementen kann jedenfalls die Empfindlichkeit der hier beschriebenen Methode noch bedeutend gesteigert werden, und dieser Bericht möge daher nur als ein vorläufiger angesehen werden.

1. Die Beobachtungsmethode und die Thermoelemente.

Zwischen den beiden einander zugekehrten Enden eines Secundärinductors ist in einer aus der Fig. 1 ersichtlichen Weise ein Thermoelement, bestehend aus einem Platin- und

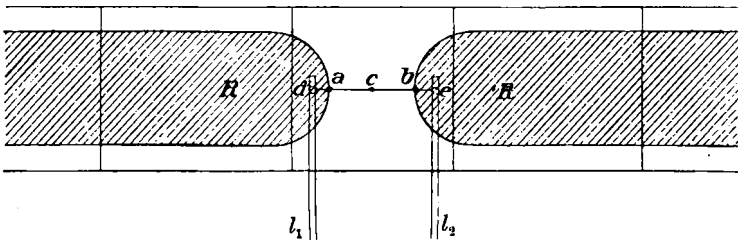


Fig. 1.

einem Patentnickeldrahte¹⁾, angebracht. Bei c ist die Lötstelle, wo die beiden feinen Drähte zusammenstossen. Die Entfernung ab beträgt 3 cm und ac ist ungefähr gleich cb . Bei a und b sind die Drähte an die Secundärinductoren, bei d und e an einen 1,2 mm dicken Kupferdraht (l_1 , l_2) und dieser wieder an den Secundärinductor angelötet. Das ganze Element sammt den Secundärinductoren wird von Glasplatten eingeschlossen, so dass es vor Luftströmungen

1) Eine von Basse und Selve in Altena erzeugte Metalllegirung, welche sich zur Anfertigung von Widerständen besonders gut eignet. Die Legirung wurde untersucht von Feussner und Lindeck (Zeitschr. f. Instrumentenk. 9. p. 233) und auch vom Verfasser (Wien. Ber. 97. p. 838. 1888), wobei sie jedoch fälschlich als Nickelin bezeichnet wurde.

und Beschädigungen geschützt ist (vgl. Fig. 2). Eine in der Mitte des Elementes um die Glasplatten gelegte Lage von Baumwolle soll den Einfluss der äusseren Temperaturschwankungen vermindern.



Fig. 2.

Von den Kupferdrähten führt eine Leitung zu dem in einem Nebenzimmer befindlichen Galvanometer, an welchem die durch die Temperaturänderungen der Lötstelle bedingten Ströme beobachtet werden. Der benutzte Patentnickeldraht hat eine Dicke von 0,11 mm, der Platindraht eine solche von 0,04 mm (Wollaston'scher Draht). Die thermoelectrische Kraft dieser Combination beträgt 24,3 Microvolt pro 1° . Besser als diese Combination würde sich ein Element aus Eisen und Patentnickel mit einer thermoelectrischen Kraft von 43 Microvolt pro 1° empfehlen, falls nur solche Drähte von genügender Feinheit zu erhalten wären. Mit einem einzigen Elemente lassen sich vergleichende Messungen an verschiedenen Stellen des von den Strahlen beschienenen Raumes ziemlich schwer ausführen, da die Grösse der Wirkung von der Beschaffenheit der Oberfläche der Primärinductoren abhängt und diese letztere mitunter sehr rasch wechselt und selbst nach jedesmaligem Putzen kaum immer die gleiche wird. Man überwindet zum Theil diese Schwierigkeiten, wenn man gleichzeitig zwei Secundärinductoren mit den entsprechenden Elementen in die Galvanometerleitung einschaltet und von diesen das eine als Normalelement an irgend einer passenden Stelle des beschienenen Raumes dauernd aufstellt, das andere aber an die zu untersuchenden Stellen bringt. Beobachtet man dann immer die Summe und die Differenz der Wirkung, so bekommt man Daten, die miteinander gut vergleichbar sind. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass für eine und dieselbe Aufstellung Summe und Differenz mehrmals hinter einander beobachtet wurden, um auf diese Weise die allmählichen Veränderungen der Funkenwirkung zu eliminiren.

Ein einziger Funke ist nicht genügend wirksam, um eine am Galvanometer beobachtbare Erwärmung der Löthstelle hervorzubringen; ich habe daher immer eine Reihe von Funken (ungefähr 100) durch 10 Secunden lang erregt, sowie es die Herren Rubens und Ritter (l. c.) bei ihrer bolometrischen Methode machten. Vor Beginn der Funkenerregung wurde der Stand der Galvanometernadel, sodann die unter dem Einflusse des 10 Secunden dauernden Funkenstromes erreichte grösste Ausweichung und schliesslich der erste Umkehrpunkt nach Aufhören der Funken abgelesen und die Differenz zwischen der grössten Ausweichung und dem Mittel der beiden anderen Ablesungen als beobachteter Ausschlag notirt. Dieser Ausschlag ist dann ein Maass für die im Thermoelemente entwickelte Energie.

2. Die Spiegel und die Inductoren.

Die Spiegel sind genau nach den Angaben von Hertz¹⁾ hergestellt. Zur Erregung der primären Schwingungen dienten zwei verschiedene Inductorenpaare; das eine, in der von Hertz (l. c.) angegebenen Grösse verfertigt, war in mehreren, aus verschiedenem Material hergestellten Exemplaren vorhanden; das zweite Paar war aus Messing und doppelt so lang als das erste; die übrigen Dimensionen waren bei beiden gleich. Die Primärinductoren wurden durch Messinghüllen in der gewünschten Lage im Spiegel gehalten.

Von den verschiedenen Materialien, welche zur Herstellung der Primärinductoren verwendet wurden, hat sich Platin am besten bewährt. Messing oder Kupfer geben zwar ebenso gute Resultate; allein bei diesen vermindert sich die Wirkung nach dem Putzen ziemlich rasch, während er beim Platin längere Zeit ungeschwächt bestehen bleibt. Bei allen Messungen, wo ein Funkenstrom zur Verwendung kommt, empfiehlt es sich daher, die einander zugekehrten Oberflächen des Inductionspaares aus Platinblech herzustellen. Die Funkenstrecke zwischen den Primärinductoren betrug 3 mm. Die Reinigung der Kugeln geschah mit Wienerkalk und Alkohol mit Wasser.

1) Hertz, Wied. Ann. 36. p. 769. 1889.

Die primären Funken wurden mit Hülfe eines grossen, durch zwei Accumulatoren betriebenen Inductoriums (von Siemens und Halske) erregt. Statt des Foucault'schen Interruptors benutzte ich einen Torsionsinterruptor, der nach den von Paul Czermak¹⁾ angegebenen Principien construirt ist. Durch Belastung des schwingenden Hebels wurde die Schwingungszahl auf 10 in der Secunde herabgedrückt. Bei dem verwendeten Inductorium empfiehlt es sich nicht, eine grössere Häufigkeit der Unterbrechungen zu gebrauchen, weil sich dann der Eisenkern des Inductoriums zu wenig magnetisirt.

Die secundären Inductorenpaare waren in ähnlicher Weise wie die von Rubens und Ritter verfertigt. Sie bestanden aus breiten Streifen Messingblech. Rubens und Ritter bekamen mit dem Bolometer eine sehr gute Wirkung bei Anwendung von 10 cm breiten Stanniolstreifen. Um einen Einfluss der Breite des Inductors zu constatiren, hatte ich drei verschiedene Paare von je 2,5, 5,0 und 10 cm Breite zur Verfügung; die Länge war bei allen die gleiche und zwar 30 cm für jede Inductorhälfte. Das verwendete Messingblech hatte eine Dicke von 0,25 mm. Obwohl eine sichere Angabe über den Zusammenhang zwischen der Breite des Inductors und der beobachteten Wirkung nicht gemacht werden kann, da ja die verschiedene Menge des an der Löthstelle haftenden Zinns eine solche nicht zulässt, so kann man aus den Beobachtungen doch mit einiger Wahrscheinlichkeit schliessen, dass die verschieden breiten Elemente unter sonst gleichen Umständen auch ganz gleich wirken würden und dass ein Einfluss der Breite kaum vorhanden ist.²⁾

1) P. Czermak, Centralzeitung für Optik u. Mechanik. 9. Jahrg. 88. Nr. 14. p. 157.

2) In neuerer Zeit habe ich neben den oben erwähnten drei Inductorenpaaren noch ein solches mit 1 cm Breite untersucht und die Thermoelemente der vier Inductoren mittelst gewöhnlicher Condensatorentladungen untereinander verglichen. Hierbei zeigte es sich, dass die durch Hertz'sche Schwingungen inducirte und vom Thermoelement angezeigte Energie der Quadratwurzel aus der Breite des Secundärinductors proportional ist.

3. Das Galvanometer.

Das benutzte Galvanometer ist ein Thomson'sches von Carpentier in Paris mit Rollen aus 0,8 mm dickem Drahte und 5,7 Ohm Widerstand bei 18°. Die Entfernung der Millimeterscala vom Spiegel betrug 1800 mm und die Schwingungsdauer der Galvanometernadel 12,4 Secunden. Ein einseitiger Ausschlag von 1 mm zeigte eine Stromstärke von $3,5 \times 10^{-9}$ Ampère an. Der gesammte Widerstand des Galvanometers der Thermoelemente und der Zuleitungsdrähte machte 10,3 aus.

4. Resultate.

Nachfolgend bezeichne ich mit D die Entfernung der Primär- von den Secundärinductoren, mit S das Standardelement, mit T das bewegliche Thermoelement und mit α den beobachteten Galvanometerausschlag. Bei allen Versuchen habe ich den Primärspiegel verwendet. Es sei ferner bemerkt, dass der Funkenstrom mittelst eines Schlüssels vom Beobachtungsstuhle erregt werden konnte. Als Beispiel führe ich in Tab. 1 eine Beobachtungsreihe an, welche unter folgenden Bedingungen gemacht wurde. T im Secundärspiegel. S 41 cm von der Mitte des austretenden Strahles und 19 cm vor der vorderen Begrenzungsebene des Primärspiegels. Die kleineren Primärinductoren, $D = 2,85$ cm. $T + S$ bedeutet, dass beide Elemente im gleichen Sinne, $T - S$, dass sie im entgegengesetzten Sinne wirkten. Es wurde immer S commutirt.

Tabelle 1.

$T + S$	$T - S$	$T : S$
α		
36,0	—	—
—	26,0	5,8
41,5	—	—
—	30,7	—
42,6	—	—

Die angeführte Beobachtungsreihe ist eine solche von mittlerer Qualität, was die Constanz und Grösse des Ausschlages anbelangt. In beiden Richtungen werden gewiss noch bedeutende Verbesserungen zu erreichen sein.

a) Die Energievertheilung senkrecht zur Mittellinie des austretenden Strahles. Die Anordnung ist aus Fig. 3 ersichtlich. $D = 1,25$ m, diesmal gezählt von den

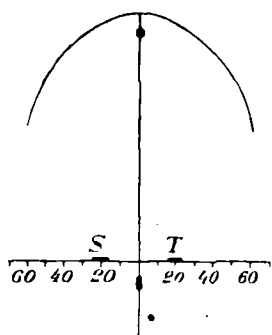


Fig. 3.

Primärinductoren bis zu dem mit o bezeichneten Punkte der in der Figur verzeichneten Scala; an dieser selbst sind die Entfernungen in Centimetern ausgedrückt und in der nachfolgenden Tab. 2 mit e bezeichnet. Bei diesen Beobachtungen wurde der Secundärspiegel nicht verwendet. Der Ausschlag α ist für $e=0$ gleich 1 gesetzt. Kl. P. I., Gr. P. I. bedeutet, dass resp. das kleine oder das grosse Primärinductorenpaar verwendet wurde. Es sei noch bemerkt, dass der Primärspiegel nur für die kleineren Primärinductoren abgestimmt ist¹⁾, nicht aber für die grossen. Das Normalelement befand sich in einer Entfernung von 22 cm von der Mittellinie des Strahles.

Tabelle 2.

e	Kl. P. I.	Gr. P. I.
	α	
0	1	1
15	1,05	0,87
30	0,87	0,56
45	0,37	0,49
60	0,17	0,45
75	0,12	0,26

Durch die Zahlen der angeführten Tabelle ist die concentrirende Wirkung des Primärspiegels deutlich ausgedrückt. Bei Anwendung der kleineren Primärinductoren ist eine Strecke von 15 cm nach jeder Seite der Mittellinie ziemlich homogen. Der Werth von α für $e = 15$ deutet ein kleines Maximum an. Bei allen diesen Versuchen ist jedoch zu beachten, dass in einem geschlossenen Locale Störungen durch die Umgebung wohl kaum zu vermeiden sind. Insbesondere bei Messungen ohne Secundärspiegel werden Beugungen und Reflexionen vielfach störend einwirken, sodass die obigen Zah-

1) Vgl. Hertz, Wied. Ann. 36. p. 772. 1889.

len nur ein angenähertes Bild des Verlaufs der Energie darbieten.

b) Die Energievertheilung längs der Mittellinie des Strahles. Es wurden Versuche bei zwei verschiedenen Werthen von D mit und ohne Secundärspiegel, sowie mit den kleinen und grossen Primärinductoren gemacht. Tab. 3 bezieht sich auf die Versuche ohne Secundärspiegel, Tab. 4 auf jene mit Secundärspiegel, im letzteren Falle konnten die Entfernungen D natürlich bedeutend grösser genommen werden. $T:S$ bedeutet wieder das Verhältniss der von T und S angezeigten Energie. S befand sich 41 cm von der Mitte und 19 cm von der vorderen Begrenzungsfläche des Primärspiegels D entfernt. Der Ausschlag α für das kleinere D ist = 1 gesetzt.¹⁾

Tabelle 3.

(Ohne Secundärspiegel.)

D in m	Kl. P. I.		Gr. P. I.	
	$T:S$	α	$T:S$	α
1,25	3,26	1	1,93	1
2,85	0,80	0,245	0,60	0,311

Tabelle 4.

(Mit Secundärspiegel.)

D in m	Kl. P. I.		Gr. P. I.	
	$T:S$	α	$T:S$	α
2,85	5,6	1	1,61	1
6,72	1,8	0,321	0,44	0,272

Es liegen zu wenig Beobachtungen vor, um ein genaues Gesetz für die Energieabnahme längs der Mittellinie des Strahles aufzustellen, das kann man jedoch mit einiger Wahrscheinlichkeit sagen, dass die Energie weniger rasch als das Quadrat der Entfernung D abnimmt. Bei diesen Versuchen ist zu beachten, dass der Secundärspiegel auf das Normalelement zurückwirken kann, dass es also bei ver-

1) Ausführlichere Daten für den Fall „Kl. P. J. ohne Secundärspiegel“ gibt die folgende Tabelle:

D in m	$T:S$	α	$\alpha \times D$
0,60	2,11	1	0,6
0,80	2,78	1,32	1,06
1,20	1,91	0,91	1,09
1,60	1,32	0,63	1,01
2,00	1,03	0,49	0,98
2,80	0,51	0,24	0,67

Die Abnahme geschieht eine Strecke hindurch proportional der Entfernung, dann wird sie viel grösser. Die Daten für $D = 0,6$ deuten auf eine Schwächung durch Interferenz.

schiedenem D kein Normalelement mehr ist. Ich hatte S wohl so aufgestellt, dass dieser störende Einfluss nicht gross sein konnte; um jedoch ein Urtheil zu gewinnen, ob und in welcher Höhe ein solcher Einfluss vorhanden sein könnte, habe ich bei einer anderen Versuchsreihe das Normalelement absichtlich so aufgestellt, dass genannter Einfluss voraussichtlich ziemlich gross ausfallen musste. Es wurde gefunden für die kleinen Primärinductoren:

$$\begin{array}{lll} D = 2,85 \text{ m} & T: S = 3,75 & \alpha = 1 \\ = 6,72 & = 1,02 & = 0,28 \end{array}$$

und für die grossen Primärinductoren:

$$\begin{array}{lll} D = 2,85 \text{ m} & T: S = 1,86 & \alpha = 1 \\ = 6,72 & = 0,30 & = 0,22. \end{array}$$

Ein Vergleich der zuletzt angeführten α mit jenen der Tab. 4 zeigt, dass in der That eine Rückwirkung auf das Standardelement vorhanden sein kann; doch glaube ich, dass der Einfluss dieser Rückwirkung bei der früheren Aufstellung des Normalelementes die Beobachtungsfehler nicht übersteigt.

c) Die Verstärkungszahl des Secundärspiegels. Aus den Daten der Tabellen 3 und 4 berechnet sich diese Zahl, die ich mit K bezeichnen will, bei $D = 2,85 \text{ m}$:

$$\begin{array}{lll} \text{für die kleineren Primärinductoren} & K = 7,0 \\ \text{„ „ „ grösseren „ „} & & = 2,7. \end{array}$$

Die beiden Zahlen zeigen deutlich, dass die Spiegel nur den kleineren Inductoren angepasst sind.
