

Ueber das Funkenpotential und die elektromotorische Kraft der gedämpften Welle eines Induktoriums bei den Entladungen durch Gaswiderstände.

Von
Fr. Klingelfuss.

I.

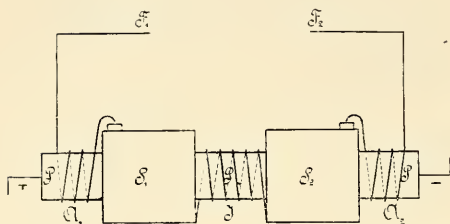
Das charakteristische an den Entladungen eines Induktoriums durch Gaswiderstände (in Luft von Atmosphärendruck oder in Vakuumröhren) sind der Reihe nach die Ionisationsspannung, das Funkenpotential und die elektromotorische Kraft der gedämpften Welle. Mit letzterem bezeichne ich für die Folge diejenige Strombahn einer Funkenentladung, die sich mit einer Phasenverschiebung gegen die Phase des blauen Funkens entlädt und stark gedämpft verläuft.¹⁾

Als Träger der Ionisationsspannung haben wir die höchsten Oberschwingungen anzusehen. In einem Induktorium bilden sich die Oberschwingungen höherer Ordnung nur an den Enden der Spule aus. Sie pflanzen sich nicht längs der Drahtwicklung nach der Mitte der Sekundärspule hin fort. Das erklärt sich durch den ausserordentlich hohen Selbstinduktionswiderstand. Durch folgende Versuchsanordnung lässt sich das aber auch experimentell nachweisen.

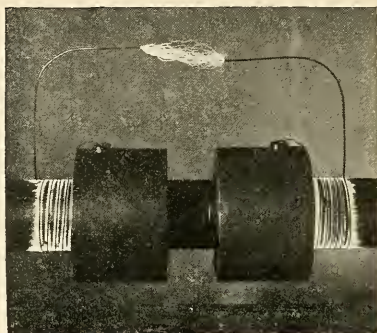
Man schiebt über eine lange Primärspule, die sich in dem Hartgummirohr P (Figur 1) befindet, zwei mit je einer Sekundärwicklung versehene Spulen $S_1 S_2$, derart, dass die Verbindung der beiden Spulenhälften über einige Windungen J aus blankem Kupferdraht gehen, die am Hartgummirohr eng anliegen, dass ferner auch die äusseren Enden der Sekundärwicklung über solche Drahtwindungen $A_1 A_2$ zur Funkenstrecke $F_1 - F_2$ führen. Setzt man nun das Induktorium in Betrieb, so dass Funken zwischen F_1

¹⁾ Verh. der Naturf. Ges. Basel XV, p. 155, 1902. Annalen der Phys. 9, p. 1205, 1902.

und F_2 überspringen, dann beobachtet man im verdunkelten Raum an den Drahtwindungen A_1 und A_2 helle Lichtbüschel, während die Windungen J in der Spulenmitte dunkel bleiben.

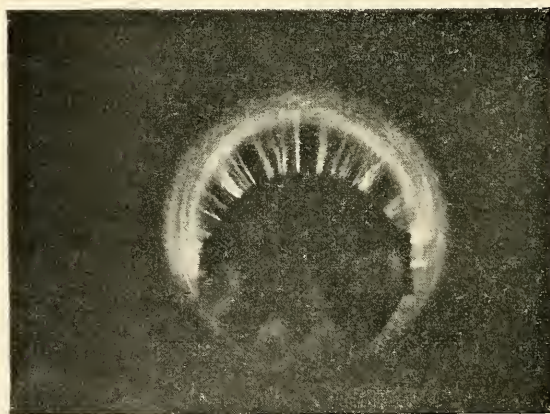


Figur 1.



Figur 2.

Die Lichtwirkung ist in dem photographierten Versuch (Fig. 2) an den äusseren blanken Drahtwindungen deutlich ersichtlich, während die Mitte vollkommen lichtfrei ist. Aber auch an den Enden der Primärwicklung, innerhalb des Hartgummirohres P Figur 1 kann man die Lichtbüschel beobachten.



Figur 3.

Figur 3 zeigt eine photographische Aufnahme von einem Ende her in das Innere des Hartgummirohres hinein. (Die Exzentrizität des inneren dunklen Kreises gegenüber dem äusseren rührt davon her, dass die dünnere Primärspule einseitig in dem weiteren

Hartgummirohr liegt.) Die Lichterscheinung hat vollkommen das Aussehen wie bei einer auf eine Viertelwellenlänge abgestimmten Resonanzspule für Hochfrequenzströme. Ihre Entstehung muss auch beim Induktorium Schwingungen von ähnlich hoher Frequenz zugeschrieben werden. Der Magnetismus des Eisenkernes folgt bekanntlich diesen schnellen Schwingungen nicht, so dass man annehmen darf, dass sich das Magnetfeld und die hochfrequenten Schwingungen gegenseitig nicht beeinflussen.

Ueber die Spannung dieser Schwingungen ist nichts bekannt; wahrscheinlich ist sie bedeutend höher, als das messbare Funkenpotential. Dafür spricht auch die Erfahrung, dass das Dielektrikum eines Induktoriums durch die hochfrequenten Schwingungen bei Abwesenheit von Funkenentladungen eher durchbohrt wird, als wenn in der Funkenstrecke kräftige Funken regelmässig übergehen. Befestigt man auf dem einen Entladepol ein Elektroskop, so beobachtet man vor dem Funkenübergang einen grösseren Ausschlag, als nach dem Einsetzen der ersten Funken. Es unterliegt kaum einem Zweifel, dass diese Hochfrequenzschwingungen eine Vorbedingung für das Zustandekommen von Funkenentladungen sind, indem denselben die Aufgabe zufällt, das Gas der Entladungsstrecke zu *ionisieren*, ohne welches der Widerstand erfahrungsgemäss eine solch grosse Höhe hat, dass voraussichtlich eine Entladung selbst mit den als Funkenpotential gemessenen Spannungen nicht zustande kommen würde. Dass übrigens die Lichterscheinung vor dem Funkenübergang als Büschellicht an den Entladepolen des Induktoriums sich zeigt, ist ja bekannt. Hier ist gezeigt worden, dass die hochfrequenten Schwingungen auch noch weiter bestehen, nachdem mit Einsetzen regelmässiger Funkenentladungen das Büschellicht an den Entladepolen nicht mehr sichtbar ist. Es ist vor allem aber gezeigt worden, dass die hochfrequenten Schwingungen mit Büschellicht auch an der Primärspule auftreten, wo sie ebenfalls während der Funkenentladung bestehen bleiben.

II.

Die Grösse des Funkenpotentials bei Entladungen eines Induktoriums in Luft von Atmosphärendruck ist von verschiedenen Seiten zu messen versucht worden.²⁾ Man misst damit diejenige Spannungsdifferenz an den *Entladepolen* der Funkenstrecke, die in dem Zeitpunkt herrscht, in dem ein erster, rein blauer Funke durch die vorionisierte Gasstrecke bei bestimmter Länge zur Ent-

²⁾ Vergl. die Literaturangaben bei M. Töpler, *Annalen der Phys.* 19, p. 208, 1906.

ladung kommt. Diese Spannung ist niedriger, als die vorhergehende Ionisationsspannung, und höher als die Spannung der nachfolgenden gedämpften Welle. Das Funkenpotential ist der einzige, mit den heutigen Mitteln messbare Anhaltspunkt für die richtige Dimensionierung des Dielektrikums beim Bau von Induktoren. Dabei muss genügendes Erfahrungsmaterial in bezug auf die Penetrationskraft der höchsten Oberschwingungen vorliegen, wenn nicht trotz der Kenntnis des Funkenpotentials schlimme Erfahrungen gemacht werden sollen.

Während ein Wechselstromtransformator nur eine und dieselbe, seinen Dimensionen entsprechende Spannung geben soll, muss dieselbe bei einem Induktorium zwischen zwei extremen Werten hin und her pendeln können, damit ein Stromfluss überhaupt zustande kommen kann. Die vielfach herrschende Meinung, dass wegen der häufig *äusseren* Aehnlichkeit in der Bauart³⁾ zwischen einem Induktorium und einem Wechselstromtransformator kein Unterschied bestehe, ist unrichtig und beruht auf dem Mangel an genügendem Einblick in die Vorgänge bei einem Induktorium.

Der Hauptunterschied in der Wirkungsweise eines Induktoriums gegenüber derjenigen eines, sagen wir Hochspannungs-Wechselstromtransformators ist dadurch charakterisiert, dass bei ersterem Typus von Apparaten die Oberschwingungen mit möglichst grosser Amplitude eine Bedingung für das Zustandekommen der vom Induktorium geforderten Wirkungen sind, während das Auftreten von Oberschwingungen beim Wechselstromtransformator als schädliche Nebenwirkung mit allen zu Gebote stehenden Mitteln zu verhüten gesucht wird. Das Induktorium muss aus diesem Grunde sowohl in bezug auf das Magnetfeld, als insbesondere auch in bezug auf die Sekundärspule und deren Dielektrikum erheblich abweichend von den für leistungsfähige Wechselstromtransformatoren üblichen Normen gebaut sein. Infolge dieser verschiedenartigen Bedingungen, die man an diese beiden Apparattypen stellt, kann auch niemals der eine Apparattyp mit Erfolg als Ersatz an die Stelle des anderen gebracht werden.

Der hiervor genannte Unterschied hängt auf's innigste zusammen mit den Verhältnissen im äusseren Schliessungskreise derartiger Apparate. Der Schliessungskreis eines Wechselstromtransformators besteht aus solchen Leitern, deren Widerstand nicht grösser wird, als dass die gewünschte Stromstärke durch die, ein für allemal angelegte Spannung in Fluss kommt. Ganz anders liegen die Verhältnisse beim Schliessungskreis eines Induktoriums. Die hierbei

³⁾ Vergl. die Abbildung eines Induktoriums mit geschl. Eisenkern in Verh. der Naturf. Gesellschaft Basel XIII, p. 267, 1900.

in der Regel eingeschaltete Gasstrecke (praktisch, bei Röntgenröhre, bis zu 45 cm in Luft von Atmosphärendruck) besitzt unter gewöhnlichen Umständen einen so hohen Widerstand, dass sie sogar für das angelegte Funkenpotential ein guter Isolator sein kann. Darauf beruht ja die Möglichkeit, hochgespannte Wechselströme über blanke Leiter frei durch die Luft fortleiten zu können. Das Induktorium muss befähigt sein, diesen Widerstand durch Ionisation des Gases hinreichend zu erniedrigen, damit nicht nur das Funkenpotential, sondern die noch viel niedrigere elektromotorische Kraft in der gedämpften Welle, deren Spannung, wie wir noch sehen werden, der Grössenordnung nach nicht höher ist, als die bei Wechselstrom üblichen Hochspannungen, hinreicht, sich über eine solche Gasstrecke entladen zu können.

Für die Ermittlung des Effektes hat man im Funkenpotential als Uebergangsspannung keinen Anhalt. Im Moment, wo diese Spannung herrscht, ist die untere Grenze für die Ionisationsspannung eingetreten. Die Ionisationsarbeit findet erst mit dem Ueberspringen des blauen Funkens ihren Abschluss für die betreffende Entladung. Damit hat aber das Induktorium im Sinne eines Transformators noch keine Arbeit geleistet, das geschieht erst in der Entladung der nunmehr dem blauen Funken zeitlich folgenden⁴⁾ gedämpften Welle. Wenn man daher den Wirkungsgrad eines Induktoriums bestimmen wollte, müsste man ausser der elektrischen Arbeit, auch die für die Ionisation geleistete Arbeit ermitteln können, denn ohne diese Arbeit leisten zu müssen, wäre der Apparat eben kein Induktorium mehr, sondern ein einfacher Transformator. Das Induktorium wird aber nach jeder von ihm durchgeführten Ionisation in seiner Arbeitsweise ein Transformator. Man könnte deshalb das Induktorium zum Unterschied vom einfachen Transformator als die Kombination eines Ionisators mit einem Transformator bezeichnen.

Ich habe nun versucht, die vom Induktorium geleistete „Transformator-Arbeit“ mit Ausschluss der Ionisationsarbeit messend zu verfolgen. Dazu waren gewisse Vorbedingungen zu erfüllen. Die Resultate, die dabei in bezug auf das Verhältnis der Röntgenstrahlenenergie zur elektrischen Energie der gedämpften Welle erhalten wurden, sind an anderer Stelle veröffentlicht.⁵⁾ Die nach-

⁴⁾ Man vergl. diesbzgl. die Arbeit in den Verhandl. der Basler Naturf. Gesellschaft, Band XV, p. 149 und Annalen der Phys. 9, p. 1205, 1902 (dasselbst wurde die gedämpfte Welle nach früherem Sprachgebrauch als Aureole bezeichnet).

⁵⁾ Verhandlungen d. deutsch. Röntgengesellschaft IV, p. 145, 1908; id. V, p. 62, 1909; id. VI, p. 123, 1910.

folgende Mitteilung kann sich daher auf die Angaben der Versuchsanordnung und die Resultate für die Spannungsmessungen an der gedämpften Welle beschränken.

III.

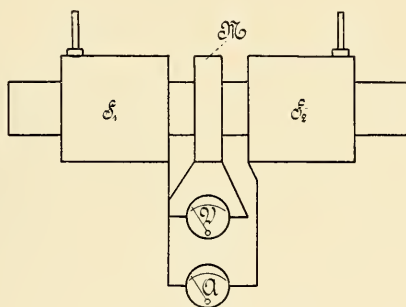
Zur Durchführung dieser Versuche wurde ein, aus Gründen, die schon früher beschrieben⁶⁾ worden sind, in der Mitte seiner Sekundärspule unterteiltes Induktorium für 50 cm Funkenlänge benützt. Dieses Induktorium hat auf jeder Spulenhälfte 30 000 Windungen von gleicher Länge und symmetrisch gleichwertigem Dielektrikum. Es wurde sorgfältig dafür gesorgt, dass die beiden Spulenhälften in diesen Bestimmungsgrössen übereinstimmen. Nicht immer genau gleich gross ist hingegen, wegen der vorkommenden kleinen Differenzen im Drahtquerschnitt, der Ohm'sche Widerstand. Diese Differenz kann aber mit Rücksicht auf den sehr hohen Wechselstrom-Widerstand solcher Induktionsspulen unbedenklich vernachlässigt werden. An derartigen Spulen liegt, wie ich früher schon nachgewiesen habe⁶⁾, das Potential des einen Entladepoles genau so hoch über dem Erdpotential, als dasjenige des anderen unter demselben liegt, und es herrscht in der Mitte zwischen beiden, das ist an der Verbindungsstelle der beiden Spulenhälften, keine Potentialdifferenz gegen Erde. (Bei einer Prüfung, wobei zwischen den beiden Entladepolen Funken von 40 cm Länge übersprangen, schlug ein von dieser Verbindungsstelle nach Erde eingeschaltetes Elektromotor nur auf 60 Volt aus, eine Spannung, die in bezug auf das dabei herrschende Funkenpotential von beiläufig 220 000 Volt überraschend klein ist.) Davon ausgehend, dass die hochfrequenten Schwingungen bei der Ionisationsspannung sich an den Enden der Spulen abspielen, wurde in der Spulenmitte, zwischen die beiden Spulenhälften, also da, wo die Schwingungen stark gedämpft verlaufen müssen, eine Spule mit einer kleinen Anzahl Windungen eingeschaltet, die für das Messbereich eines Thomson'schen Multizellularelektrometers von Hartmann & Braun abgeglichen war. Die Skalenteilung dieses Instrumentes reichte von 60 bis 160 Volt. Wegen der Trägheit der Zeigereinstellung ist das Instrument für die Ablesung im vorliegenden Falle nicht sehr angenehm. Es wurde später durch ein Hitzdrahtinstrument mit ähnlichem Skalenbereich mit gutem Erfolg ersetzt. Ausserdem wurde zwischen die Spulenhälften ein Milliampèremeter vom Typus Deprez

⁶⁾ Vorgetragen in der Sitzung der physikal. Abteilung der 80. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Köln 1908.

geschaltet. Letzteres gestattete die Ablesung von ein Zehntel-Milliampère an.

In Figur 4 bedeuten S_1 S_2 die beiden Sekundärspulenhälften, M die Messspule, V das Voltmeter (Elektrometer) und A das Milliampèremeter. Zur Magnetisierung wurde Gleichstrom von 110 Volt benützt, der mit einem Starkstrom-Dauer-Unterbrecher, an welchem die Unterbrechungszahl genau abgelesen werden konnte, fünfzig Mal in der Sekunde unterbrochen wurde. Die Unterbrechungen müssen mit grösster Regelmässigkeit erfolgen, sonst werden die Resultate getrübt.

Bei einer, in bezug auf das Induktorium nicht zu kurzen Funkenstrecke, macht man zunächst folgende charakteristische Beobachtung:

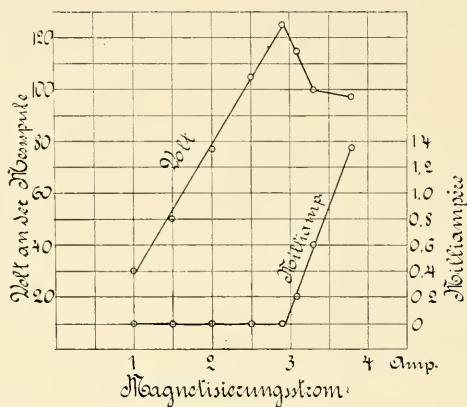


Figur 4.

Mit beginnender Magnetisierung, die jedoch nicht höher sein darf, als dass für die betreffende Strecke ein Funkenübergang nicht zustande kommt, schlägt das Voltmeter aus, während das Milliampèremeter unbeweglich bleibt. Mit Erhöhung der Magnetisierung steigt der Ausschlag am Spannungsmesser und erreicht ein Maximum, unmittelbar, bevor ein Funke überspringt. Bis dahin bleibt der Stromzeiger unbeweglich in der Nullage. Mit dem Einsetzen des Funkens fällt der Spannungszeiger plötzlich um einige Volt, und zugleich bewegt sich der Stromzeiger aus der Nullage. Während bei weiterer, sehr langsamer Erhöhung der Magnetisierung die Spannung zunächst noch etwas sinkt, wächst nun ziemlich schnell der Ausschlag am Milliampèremeter. Ein übersichtliches Bild gibt die Zusammenstellung der Ablesungen für eine Funkenstrecke von 25 cm in Tabelle I und der darnach ausgeführten Figur 5.

Tabelle 1.

Magnetisierungs- strom in Ampère	1,0	1,5	2,0	2,5	2,9	3,1 ⁷⁾	3,3	3,8
Volt am Hitzdrahtvoltmtr.	30	50	77	105	125	115	100	97
Milliampère . . .	0	0	0	0	0	0,2	0,6	1,35
keine Funken						Funken		



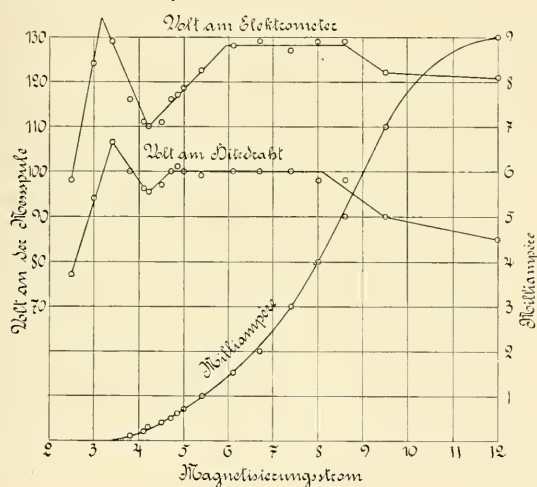
Figur 5.

Erhöht man nun den Magnetisierungsstrom noch weiter, so steigt mit zunehmendem Ausschlag des Milliampèremeters zunächst auch der Voltmeter-Ausschlag wieder ziemlich rasch an, ohne jedoch die frühere Höhe wieder zu erreichen. (Das trifft nur zu für das Hitzdrahtinstrument, während beim Elektrometer der Maximalausschlag beim Funkenübergang fast gleich hoch wird, wie derjenige von demselben.) Nun hält sich die Spannung eine Zeitlang ziemlich konstant, während die Elektrizitätsmenge fortwährend steigt. Dann beobachtet man ein zweites Mal eine ziemlich schnelle Aenderung nach abwärts des Voltmeter-Ausschlages. Diese tritt ein, nachdem der Magnetisierungsstrom bis so weit erhöht worden ist, dass die Entladung eine wirbelnde Form annimmt. Eine charakteristische Uebersicht geben die Tabelle II und Figur 6, die ebenfalls für eine Funkenstrecke von 25 cm ausgeführt wurden.

⁷⁾ Bei 3,0 Amp. schwankte infolge des fortwährenden Umschlagens von Büschellicht nach Funken das Voltmeter zu stark, um ablesen zu können. Bei 3,1 Amp. war der Funke beständig.

Tabelle II.

Magnetisierungs- strom in Amp.	2,5	3,0	3,42	3,8	4,1	4,2	4,5	4,7	4,85	5,0	5,4	6,1	6,7	7,4	8,0	8,6	9,5	12
Volt am Hitzdrahtvoltm.	77	94	106,5	100	96	95,5	97	100	101	100	99	100	100	100	98	98	90	85
Volt am Elektrometer .	98	124	129	116	111	110	111	116	117	118,5	122,5	128	129	127	129	129	122	121
Milliampère .	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	9,0
	keine Funken			Funken														



Figur 6.

Die Ablesungen am Elektrometer sind nicht einwandfrei, da Ladungen durch die Ionisationsspannung vom Induktorium durch die Luft hindurch das Instrument beeinflussen. Dagegen zeigte sich das Hitzdrahtinstrument für die Messungen recht brauchbar. Zur Vermeidung eines Spannungsverlustes in der Messspule für das 150 Milliampère bei 90° Ausschlag beanspruchende Hitzdrahtinstrument wurde der Querschnitt des Messdrahtes entsprechend grösser genommen.

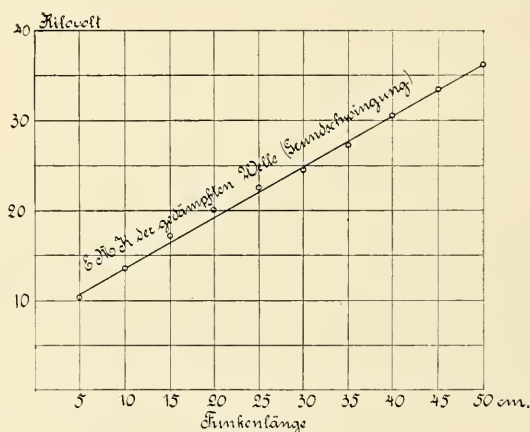
Charakteristisch ist die eine Zeitlang fast vollkommen parallel zur Abszissenachse verlaufende Spannungskurve bei allen Funkenentladungen, obwohl die Elektrizitätsmenge in der Entladung ganz bedeutend geändert wird. Dieses Kurvenstück repräsentiert denjenigen Zustand, in welchem der Widerstand in der ionisierten Funkenstrecke von der Temperatur noch nicht erheblich beein-

flusst wird. Die zunehmende Temperatur in der Funkenbahn drückt sich durch den zweiten Abfall der Spannungskurve aus. Dieser mehr oder weniger parallel zur Abszissenachse verlaufende Kurventeil wurde nun für Funken von 5 bis 50 cm Länge bestimmt. Er gibt uns die Spannung an den Enden der Messspule für die eingestellte Funkenstrecke und durch Multiplikation mit dem Windungsverhältnis der Sekundärspule zur Messspule die elektromotorische Kraft der gedämpften Welle. Die durch eine grössere Messungsreihe als mittlere Werte gefundenen Zahlen sind in der Tabelle III zusammengestellt, und in Figur 7 graphisch aufgetragen.

Tabelle III.

H am Spannungsmesser abgelesen $EMK = H \cdot C$ berechnet für $C = 226,5$.

Funkenlänge cm	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
H Volt . . .	46	60	76	89	98	108	120	135	148	160
EMK Volt . .	10400	13600	17200	20000	22500	24500	27200	30600	33500	36200



Figur 7.

Bei diesen Messungen wurde das Induktorium in bezug auf den Kondensator möglichst im Normalzustand⁸⁾ erhalten. Nach den Zahlen der Tabelle III ist die elektromotorische Kraft (EMK) der gedämpften Welle im Mittel etwa siebenmal niedriger, als das Funkenpotential.

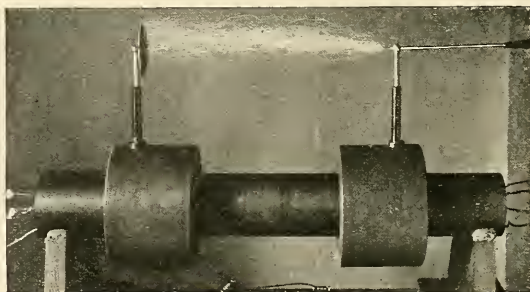
⁸⁾ l. c. XIII, p. 264, l. c. 5, p. 867.

Wie schon erwähnt wurde,⁹⁾ lassen sich die Zahlen der Tabelle III für die praktische Messung der Röntgenstrahlen-Energie mit Erfolg benützen, indem ich nachweisen konnte, dass 1. die Härte der Röntgenstrahlen der EMK der gedämpften Welle direkt proportional ist, und 2. die photochemische Reaktion der Röntgenstrahlen von gleicher spezifischer Härte proportional ist $= HJt$, wo H die an der Messspule ermittelte Teilspannung (die der Bequemlichkeit halber statt der EMK, die sich aus der Multiplikation von H mit einer Konstanten ergibt, eingesetzt wird), J die Ablesung am Milliampèremeter und t die Expositionszeit bedeuten. Der sich in den Sekundärwindungen ergebende Spannungsverlust müsste streng genommen hierbei in Berücksichtigung gezogen werden. Die Vernachlässigung desselben scheint aber für die praktischen Messungen nicht von Belang zu sein; bei Spulen, die, wie die von mir hergestellten, einen verhältnismässig kleinen Ohm'schen Widerstand, und infolge der sorgfältig durchgeführten Spiralstaffelwicklung eine geringe Selbstinduktion in der Sekundärspule haben. Damit ist der praktische Wert für die Kenntnis der EMK der gedämpften Welle nachgewiesen.

Die Zahlen der Tabelle I und II geben uns auch ein Bild über die Grösse der für die Ionisation verbrauchten Energie in bezug auf die verbrauchte Gesamtenergie bei Funkenentladungen. Nach Tabelle I hatte bei 2,9 Amp. Magnetisierungsstrom das Milliampèremeter noch nicht ausgeschlagen, und bei 3,1 Amp. zeigte das letztere 0,2 Milliampère. Vorausgesetzt, dass die für die Ionisation verbrauchte Energie auch während der Funkenentladung gleich gross bleibt, zu welcher Annahme man nach den früher besprochenen Erscheinungen, wonach die Oberschwingungen auch beim Funkenübergang bestehen bleiben, berechtigt ist, wurden von der Gesamtenergie 93,5% durch die Ionisationsarbeit verzehrt, während nur 6,5% für elektrische Energie verbleiben. Ein ähnliches Bild geben die Zahlen der Tabelle II. Bei 3,8 Amp. Magnetisierungsstrom werden 90% von der Ionisationsarbeit verbraucht. Mit wachsender Intensität im Funken wird das Verhältnis günstiger. So z. B. beträgt nach der gleichen Tabelle bei einem Magnetisierungsstrom von 9,5 Amp. die für die Ionisation verbrauchte Energie nur noch 36% der gesamten verbrauchten Energie. Diese, für den Widerstand gleichwertig einer atmosphärischen Luftstrecke von 25 cm Länge sich ergebenden Zahlen ändern sich mit dem Widerstand derart, dass mit wachsendem Widerstand die für Ionisation verbrauchte Energie grösser wird. Würde eine Röntgenröhre in

⁹⁾ Vergl. Literaturangabe 5.

die Funkenstrecke geschaltet, so liegen die Verhältnisse ähnlich und die in Röntgenstrahlen verwandelte elektrische Energie muss demnach prozentuell um so kleiner sein, je weniger hoch die Röhre belastet wird, beziehungsweise, je härter die Röhre unter sonst gleichen Verhältnissen ist, während andererseits der Prozentsatz der in Röntgenstrahlen verwandelten elektrischen Energie mit der Belastung der Röhre zunehmen muss. Eine Bestätigung hierfür liegt in den in der Praxis in neuerer Zeit erzielten Erfolgen mit sehr stark belasteten Röhren, wodurch die Expositionszeit von Minuten auf Sekunden, ja bis auf Bruchteile der Sekunde abgekürzt werden kann. Angerer¹⁰⁾ fand bei seinen mit sehr grosser Sorgfalt ausgeführten Messungen die in Röntgenstrahlen verwandelte elektrische Energie zu nur etwa $0,2 \frac{0}{00}$ mit einem Magnetisierungsstrom von 4,15 Amp. bei 110 Volt. Nach dem Vorhergesagten lässt sich das leichter begreifen, denn bei der angegebenen schwachen Belastung



Figur 8.

würden bei einer Röhre von 6 Benoit Härte etwa $80 \frac{0}{0}$ der aufgewendeten elektrischen Energie für die Ionisationsarbeit verbraucht.

Für die Dimensionierung der Induktorien geben diese Untersuchungen neue Anhaltspunkte, nach denen man versuchen muss, die günstigsten Bedingungen für die Ionisationsarbeit und für die eigentliche elektrische Arbeit *getrennt* zu ermitteln, eine Aufgabe, die nach dem Vorhergesagten nicht allzu grosse Schwierigkeiten bieten dürfte.

Ein Beispiel für den grossen Einfluss einer wirksamen Ionisation der atmosphärischen Luftstrecke auf die Funkenentladungen zeigt die Abbildung Figur 8, bei der ein Sekundärspulenpaar, das unter anderen Bedingungen für eine Funkenlänge von 20 cm berechnet ist, noch auf 50 cm Länge kräftige Funkenentladungen durch die Luft schickt. Die Luftstrecke wird hierbei vom Induk-

¹⁰⁾ E. Angerer, Ann. d. Physik 21, p. 115, 1906.

torium selbst ionisiert und letzteres beansprucht dazu einen erheblichen Teil der aufgewendeten Primärenergie.

Diese Untersuchungen zeigen :

1. dass das Funkenpotential durch Oberschwingungen verursacht wird, und dass die höchsten Oberschwingungen sich nur an den Enden der Primär- und Sekundärspule ausbilden, nicht aber längs den Windungen nach der Spulenmitte hin fort-pflanzen; dass ferner aus dem Fortbestehen des Büschellichtes bei den Funkenentladungen auf das Fortbestehen der Oberschwingungen geschlossen werden kann;
2. dass sich deshalb die elektromotorische Kraft der Grundschwin-gung (gedämpfte Welle) — ohne störende Beeinflussung durch das Funkenpotential — in der Nähe des gemeinsamen Span-nungsknotens (d. i. in der Spulenmitte bei symmetrischen Spulenhälften) messen lässt;
3. dass bei einem Induktorium die elektromotorische Kraft und das Funkenpotential der Grösse nach weit auseinander liegen;
4. dass das Induktorium Ionisationsarbeit leisten muss, um mit seiner EMK überhaupt elektrische Energie durch die in Be-tracht kommenden Widerstände abgeben zu können;
5. dass die Ionisationsarbeit einen Teil der vom Induktorium ge-leisteten Arbeit darstellt, die je nach Umständen einen sehr hohen Betrag der Gesamtarbeit ausmacht;
6. dass das Funkenpotential die, mit den heutigen Mitteln mess-bare, untere Grenze der Ionisationsspannung angibt, und dass die Kenntnis des Funkenpotentials in Bezug auf das Induk-torium vorwiegend einen konstruktiven Wert hat;
7. dass das Induktorium die Kombination eines *Ionisators* und *Transformators* in sich vereinigt, und sich darin wesentlich vom Wechselstromtransformator unterscheidet;
8. dass die elektromotorische Kraft eines Induktoriums brauch-bare Werte für die Messung der von einem solchen Apparat über die Ionisationsarbeit hinaus geleisteten *elektrischen Arbeit* liefert.

Eingegangen 20. Mai 1910.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [21_1910](#)

Autor(en)/Author(s): Klingenfuss Fr.

Artikel/Article: [Ueber das Funkenpotential und die elektromotorische Kraft der gedämpften Welle eines Induktoriums bei den Entladungen durch Gaswiderstände 51-63](#)