

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 10 (1919)
Heft: 3

Artikel: Leitfähigkeitsmessungen bei der elektrodenlosen Ringentladung
Autor: Hartmann, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057135>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

grosser Feuchtigkeit nicht; hinten über dem Systemgehäuse ist eine auf die Rückwand montierte Hartgummiisolation. Der Vorschaltkondensator besteht aus einer metallenen Glocke, welche die äussere Elektrode darstellt, und einer zylinderischen Innenelektrode, welche von dem erwähnten Isolationskörper gehalten wird. Das Dielektrikum ist Luft, weil diese den höchsten Isolationswiderstand verbindet mit gleichbleibender Dielektrizitätskonstanten. Den Regulierkondensator sieht man in der Abbildung nicht; er ist an den Systemanschlussbolzen befestigt. Durch blosse Verstellung von dessen Elektrodendistanz mittelst Spindeln und Muttern lässt sich das Instrument für die gewünschte Spannung auf Endausschlag einregulieren.

Eine im wesentlichen ganz gleiche Ausführung für 45 000 Volt Endausschlag zeigt Fig. 7.

Da man mit dem Luftdielektrikum und den Glockenkondensatoren bei sehr hohen Spannungen zu grossen Dimensionen des Schutzmantels gelangt (bei genügender Sicherheit gegen Ueberspannungen), werden seit einiger Zeit Versuche gemacht, in solchen Fällen ein festes Dielektrikum oder Kondensatoren anderer Form zu verwenden.

Leitfähigkeitsmessungen bei der elektrodenlosen Ringentladung.

Von A. Hartmann, Zürich.

Einleitung.

Während früher die verschiedenen Arten von Gasentladungen nur vom rein wissenschaftlichen Standpunkt aus Interesse boten und hauptsächlich in theoretischer Hinsicht zu manch wertvoller Erkenntnis geführt haben, so sind sie im Laufe der letzten Jahre auch in der Technik zu grosser Bedeutung gelangt. Ich erinnere nur an das Moore-Licht, die Metalldampflampen, die Quecksilber-Gleichrichter u. a. m. Und wenn man erst an die grosse Wendung denkt, die sich in der drahtlosen Telegraphie durch Einführung des Audions, der sogenannten Elektronenrelais vollzogen hat, so erkennt man, was für eine wichtige Rolle die Vakuumentladungen heute schon in der Technik spielen, und man kann mit Sicherheit erwarten, dass ein fortgesetztes sorgfältiges Studium dieser Erscheinungen noch weitere Anwendungsgebiete von nicht weniger grosser Bedeutung erschliessen wird. Es dürfte deshalb nicht unerwünscht sein, wenn ich im folgenden einige Resultate mitteile, die sich bei meinen Untersuchungen über die elektrodenlose Ringentladung ergeben haben. Aus den Ausführungen geht auch hervor, wie bei quantitativen Untersuchungen auf diesen Gebieten äusserste Vorsicht geboten ist, damit die Messungen nicht durch unerwartete Fehlerquellen vollkommen illusorisch gemacht werden.

Legt man um eine evakuierte Glaskugel eine Spule von wenigen Windungen und schickt man durch diese einen intensiven Hochfrequenzstrom, so wird durch die induzierte EMK in der Kugel bei geeignetem Gasdruck eine helle, ringförmige Leuchterscheinung erregt, die in der Physik unter dem Namen der *elektrodenlosen Ringentladung* bekannt ist.¹⁾ Man hat sich den Vorgang etwa so zu erklären: durch das statische Feld in unmittelbarer Nähe der Spule wird das Gas schwach ionisiert. Die Ionen erlangen dann unter Einfluss der elektrodynamisch induzierten Kraft solche Geschwindigkeiten, dass sie durch Stoss weitere Ionen erzeugen, und so entsteht längs der Spule ein leuchtender Ring, eine in sich geschlossene „positive Säule“. Der elektrodenlose Ringstrom ist also ein Hochfrequenz-Induktionsstrom in einem ionisierten Gas.

Evakuiert man die Glaskugel sukzessive, so setzt die Entladung etwa bei einem Druck von 1 mm Hg. ein. Sie ist anfangs sehr schwach, wird dann bei weiter abnehmendem Druck immer intensiver, erreicht bei zirka 0,04 mm ein Maximum an Helligkeit und verschwindet bei Drucken unter 0,02 mm.

In der vorliegenden Arbeit handelt es sich darum, *die Leitfähigkeit des Gases bei verschiedenen Drucken zu bestimmen*. Da die Untersuchung durch eine Publikation

¹⁾ Zuerst untersucht von J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) 32, p. 321 und 445, 1891.

der Herren *Wachsmuth* und *Winawer*¹⁾ über denselben Gegenstand veranlasst wurde und zunächst die Ergebnisse, zu denen diese Forscher gelangt sind, richtig stellen soll, so möge kurz einiges über ihre Versuchsanordnung und die erhaltenen Resultate mitgeteilt werden:

Um die Leitfähigkeit zu messen, brachten *Wachsmuth* und *Winawer* an zwei gegenüberliegenden Stellen, den „Polen“ der Entladungskugel, stiftförmige Sonden an, während die induzierende Ringspule in der „Aequator“-Ebene lag. Aus ihren Untersuchungen ergaben sich für das Leitvermögen in seiner Abhängigkeit vom Gasdruck folgende Verhältnisse: In dem Druckgebiet zwischen 760 ÷ 5 mm ist die Leitfähigkeit der untersuchten Gase bei einer bestimmten Intensität der Erregung null oder wenigstens unmerklich. Bei weiterem Evakuieren nimmt sie zunächst zu, erreicht bei einem Druck von 1 ÷ 2 mm ein Maximum, geht dann wieder zurück zu sehr kleinen Werten, in einzelnen Fällen sogar bis auf Null, um dann von neuem und zwar sehr rapide wieder anzusteigen und erreicht dann bei zirka 0,03 mm Druck, kurz bevor die Ringentladung ganz aussetzt, ein zweites Maximum. Besonders auffallend erscheint die Tatsache, dass das erste Maximum in einem Druckgebiet auftritt, wo die Entladung noch äusserst schwach ist, jenes ausgesprochene Minimum dagegen zwischen 0,1 und 0,3 mm Druck, also in einem Intervall, wo der Ring bereits intensiv leuchtet. *Wachsmuth* und *Winawer* haben eine ganze Reihe von Gasen untersucht und bei allen qualitativ dieselben Resultate gefunden.

Ein solcher Gang der Leitfähigkeit war zum voraus nicht zu erwarten; andererseits wird es kaum möglich sein, diese Verhältnisse auf Grund der Theorie der Stossionisation zu erklären, ohne eine Anzahl ad hoc gemachter Hypothesen einzuführen. Angesichts dieser Tatsache liegt die Vermutung nahe, dass in der Versuchsanordnung von *Wachsmuth* und *Winawer* irgend eine Fehlerquelle liegen muss, die die Messungen ganz wesentlich beeinflusst.

Es schien deshalb wünschenswert, die genannten Messungen zu wiederholen und nachzuprüfen, und sodann, falls die Resultate sich tatsächlich bestätigen sollten, noch andere Gase auf ihr Verhalten im Ringstrom zu untersuchen.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Vorsteher der physikalischen Anstalt der Universität Basel, Herrn Prof. Dr. A. *Hagenbach*, für die Anregung zu dieser Arbeit auch an dieser Stelle meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Versuchsanordnung und Apparatur.

Da es sich zunächst um eine Wiederholung der Messungen der Herren *Wachsmuth* und *Winawer* handelte, lag es im Interesse der Sache, sich ihrer Versuchsanordnung möglichst anzuschliessen.

Die Hochfrequenzschwingungen wurden durch ein grosses Klingelfuss'sches Induktorium von 60 cm Schlagweite erregt. Als Primärstrom diente städtischer Gleichstrom von 220 Volt mit Simonunterbrecher. Dieser gab bei einer mittleren Belastung von 5 1/2 Amp. 25, bei 7 ÷ 8 Amp. 35 ÷ 40 Unterbrechungen pro Sekunde. Der Schwingungskreis wurde in jeder Beziehung möglichst symmetrisch angelegt. Das Induktorium entlud sich über eine Zinkfunkenstrecke. An diese wurde zu beiden Seiten je eine Leidener-Batterie von drei parallel geschalteten Flaschen ($C = 3 \times 1670$ cm) angeschlossen, deren innere Belegungen mit der induzierenden Ringspule verbunden waren. Diese endlich bestand aus vier zylindrisch gelegten Windungen gut isolierten Kupferdrahtes von 4,5 mm Stärke, während die Spule selbst einen innern Durchmesser von 13 cm hatte.

Als Entladungsgefäss diente eine Glaskugel von 12,2 cm Durchmesser, welche direkt an eine Gaede'sche Quecksilberpumpe angeschlossen war. Dies konnte mit um so weniger Bedenken geschehen, als einerseits *Wachsmuth* und *Winawer*²⁾ nachgewiesen haben, dass die Leitfähigkeitsversuche durch die Hg-Dämpfe nicht wesentlich beeinflusst werden, andererseits aber *Hagenbach* und *Frey*³⁾ zeigen konnten, dass, wenn man für vollkommene

¹⁾ R. *Wachsmuth*, *Annalen der Physik*, 39, p. 611, 1912.

R. *Wachsmuth* und B. *Winawer*, *Annalen der Physik*, 42, p. 585, 1913.

²⁾ R. *Wachsmuth* und B. *Winawer*, *Annalen der Physik*, 42, p. 593 f., 1913.

³⁾ A. *Hagenbach* und W. *Frey*, *Phys. Zeitschrift*, 18, p. 544, 1917.

Trockenheit sorgt, die Hg-Linien im Spektrum nicht mehr auftreten. Die Drucke wurden an einem M^c Leod-Manometer abgelesen, das, entsprechend der vorliegenden Untersuchung, so dimensioniert wurde, dass es in einem Druckbereich von 42 mm bis 0,0001 mm Hg zu messen gestattete.

Als Sonden kamen Platinstifte von 0,5–0,7 mm Stärke zur Verwendung, die bis kurz vor die Spitze in Glas eingeschmolzen waren und wie bei *Wachsmuth* und *Winawer* einander diametral gegenüberstanden, in einem Abstand von 109 mm. Die Spannung für den Messkreis wurde einer Akkumulatorenatterie entnommen. In der Regel wurde mit einer Sondenspannung von 9–15 Volt gearbeitet. Bei den Messungen wurde jeweilen das Feld an den Sonden kommutiert und aus den entsprechenden Galvanometerausschlägen das Mittel genommen. Das benutzte Galvanometer hatte eine Empfindlichkeit von 10^{-9} Amp.

Frequenz und Dämpfung der Schwingungen wurden mit einem grossen Wellenmesser der Telefongesellschaft bestimmt. Musste bei den Versuchen die Wellenlänge variiert werden, so wurde jeweilen nur die Kapazität geändert; denn so hat man, wie *J. J. Thomson*¹⁾ und *B. Davis*²⁾ gezeigt haben, den Vorteil, dass die induzierte Feldstärke konstant bleibt. Bei den Untersuchungen kamen Wellen von 165, 192, 230 und 275 m Länge zur Verwendung. Das logarithmische Dekrement, das nach dem Verfahren von *Bjerknes*³⁾-*Brandes*⁴⁾ aus der Resonanzkurve bestimmt wurde, betrug 0,02–0,05.

Für die Feldstärke, die bei der gegebenen Anordnung in einem Punkt des Ringstromes herrschte, ergibt die Formel von *J. J. Thomson*⁵⁾ mit Benützung der Maxwell'schen⁶⁾ Formel für den Koeffizienten der gegenseitigen Induktion Werte von 22 bis 33 Volt pro cm, wenn man das Funkenpotential in einem Bereich von 20 400 bis 30 800 Volt variiert.

Ueber eine wichtige Fehlerquelle und deren Beseitigung.

Zunächst wurde der Ringstrom in Luft untersucht. Die Ergebnisse stimmen im wesentlichen mit denen von *Wachsmuth* und *Winawer* überein: es ergab sich ebenfalls ein erstes Maximum zwischen 1 und 1,5 mm Druck, ein scharfes Minimum bei 0,4 mm und ein zweites Maximum bei 0,03 mm. Auch war der Querstrom von $p = 1,2$ mm an abwärts bei 40 Volt Sondenspannung gesättigt.

Nun zeigten sich aber bei Drucken zwischen 5 mm und 0,4 mm während der Entladung an den Sonden *intensive Lichtbüschel*, die im Intervall von 1–2 mm Druck, also gerade im Bereich des 1. Maximums, besonders stark hervortraten. In diesem Druckgebiet kam es oft vor, dass bald die eine, bald die andere Sonde stärker leuchtete; dann zeigte auch jedes Mal das Galvanometer ganz enorme Schwankungen an. Das liess darauf schliessen, dass die Messungen, jedenfalls in diesem Druckbereich, durch die Entladung an den Sonden beeinflusst werden, und es lag die Vermutung nahe, dass das erste Maximum der Leitfähigkeit lediglich durch diesen Effekt zustande kommt.

Es war daher nötig, entweder die Grösse des Fehlers zu bestimmen, der durch die Büschelentladung in die Messungen eingeht, oder, wenn irgendwie möglich, diesen Effekt ganz zu eliminieren. *Durch eine Reihe von systematischen Versuchen konnte festgestellt werden, dass die Leuchterscheinung durch Influenzwirkung der auf der Spule auftretenden Ladungen hervorgerufen wird.*⁷⁾

Um nun den Einfluss dieses Effektes auf die Messungen auch quantitativ zu bestimmen, versuchte ich, ihn allein zu erzeugen, ohne den Ring. Zu diesem Zwecke wurde eine Spule (B) von gleichen Dimensionen wie die ursprüngliche (A) konstruiert, aber mit fol-

¹⁾ J. J. Thomson, l. c.

²⁾ B. Davis, *Phys. Review*, 20, p. 129, 1905.

³⁾ V. Bjerknes, *Bih. k. Svenska V. A. Handl.*, 20. I. Nr. 4 und 5, 1895; *Wied. Ann.* 55, p. 121, 1895.

⁴⁾ H. Brandes, *Annalen der Physik*, 22, p. 645, 1907.

⁵⁾ l. c.

⁶⁾ J. Cl. Maxwell. *A treatise on electricity and magnetism*, Oxford 1913, T. II. p. 310. Zur numerischen Ausrechnung eignet sich besonders die Tabelle I in: E. B. Rosa und F. W. Grower: *Coefficients of Mutual and Selfinduction*. *Bulletin of Standards* VIII No. 1, p. 190 ff. 1912.

⁷⁾ Wie eine Messung mit einem Braun'schen Elektrometer ergab, betrug der zeitliche Mittelwert des Potentials an der mittleren Windung der Spule 400 Volt.

gendem Unterschied: sie bestand aus zwei Teilen von je zwei Windungen; diese konnten voneinander isoliert und dann so mit Spule A verbunden werden, dass der eine Teil den Mittelwert der Potentiale der ersten und zweiten Windung, der andere denjenigen der dritten und vierten Windung von Spule A annahm, ohne dass in ihnen ein Strom zirkulierte, natürlich abgesehen vom Aufladestrom, und damit auch dieser keine wesentliche elektrodynamische Wirkung ausübte, war jede der beiden Hälften in sich geschlossen. Die Schaltung ist in Fig. 1^a skizziert, sie möge die „statische“ heißen. Andererseits konnte diese Spule durch Umstellen einer Wippe direkt in den Schwingungskreis eingeschaltet werden, so dass die Schwingungen nur durch diese, und nicht mehr durch Spule A gingen; diese

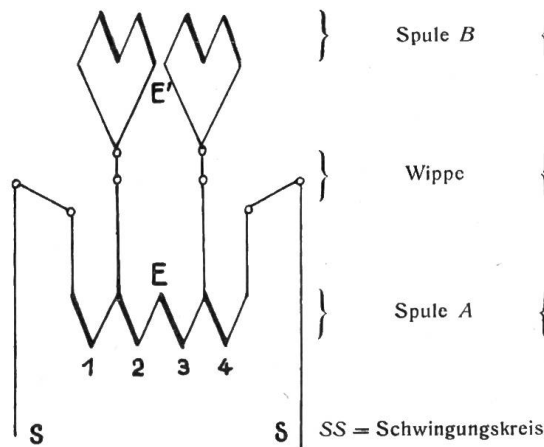


Fig. 1 a.
„statische“ Schaltung.

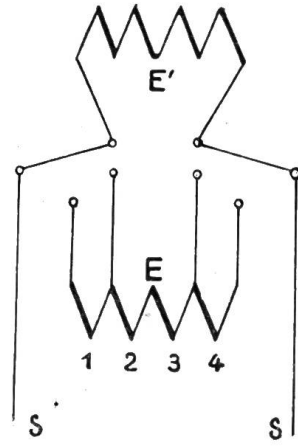


Fig. 1 b.
„dynamische“ Schaltung.

Schaltung heisse die „dynamische“, sie ist in Fig. 1^b dargestellt. Spule B wurde nun um das Entladungsgefäß gelegt, während A soweit entfernt wurde, dass merkbare Störungen ausgeschlossen waren. Mit Hilfe dieser Einrichtung konnte also das Gas das eine Mal rein statisch, das andere Mal dynamisch erregt werden, und in der Tat erhielt man bei der statischen Schaltung die gleiche Büschelentladung wie vorher, aber ohne den Ring.

Schaltung heisse die „dynamische“, sie ist in Fig. 1^b dargestellt. Spule B wurde nun um das Entladungsgefäß gelegt, während A soweit entfernt wurde, dass merkbare Störungen ausgeschlossen waren. Mit Hilfe dieser Einrichtung konnte also das Gas das eine Mal rein statisch, das andere Mal dynamisch erregt werden, und in der Tat erhielt man bei der statischen Schaltung die gleiche Büschelentladung wie vorher, aber ohne den Ring.

Mit beiden Arten der Erregung wurde der Querstrom gemessen; die Resultate finden sich in Kolonne 2 und 3 der Tabelle I.

Aus der Tabelle ersieht man, dass die beiden Werte bis zirka 0,5 mm Druck ziemlich genau übereinstimmen. Damit ist also bewiesen, dass das erste Maximum durch rein statische Wirkungen zustande kommt, eben durch die Nebenentladungen an den Sonden.

Aus dieser Tatsache folgt nun weiter, dass man die Büschelentladung bedeutend abschwächen, vielleicht ganz beseitigen kann, indem man die Mitte der induzierenden Spule (bei E¹ in Fig. 1) erdet. Bei geerdeter Spule war auch im vollkommen verdunkelten Zimmer an den Sonden kein Leuchten mehr sichtbar, was darauf hindeutet, dass jetzt die Sondenentladung bedeutend herabgesetzt war. Mit dieser Schaltung wurden nun die Messungen bei statischer und dynamischer Erregung wiederholt. Die Resultate sind in Kolonne 4 und 5 der Tabelle I zusammengestellt.

Während am Ring selbst kaum eine Veränderung zu bemerken war, so zeigte doch das Galvanometer erst bei sehr niedrigen der Drucken einen Ausschlag. Ein Vergleich

Tabelle I.

Querstrom in Skalenteilen bei statischer und dynamischer Erregung.

Empfindlichkeit: 1 Skt. = $6 \cdot 10^{-9}$ Amp.

Druck in mm Hg	Spule nicht geerdet		Spule geerdet	
	statisch	dynamisch	statisch	dynamisch
9,8	0	—	0	0
7,4	13	8	0	0
5,2	18	21	0	0
2,4	18	18	0	0
1,64	23	26	0	0
1,28	38	37	0	0
1,00	48	41	0	0
0,80	58	66	0	0
0,62	40	36	0	1/8
0,49	24	30	1/2	1/8
0,39	20	33	1/2	1/2
0,31	14	35	3/4	2
0,19	10	39	1	3
0,147	11	52	1	10
0,109	13	51	1	17
0,071	15	57	1	18
0,051	—	90	—	—

der Messreihen (vergl. auch die Kurven der Fig. 2) lässt erkennen, was für einen enormen Einfluss die Büschelentladung hat; nicht nur wird das erste Maximum ganz durch diesen Effekt bedingt, sondern es kommt durch ihn auch ein Querstrom von ganz anderer Grössenordnung zustande. Damit dürfte nun wohl der Hauptfaktor der Sondenstörungen eliminiert sein.

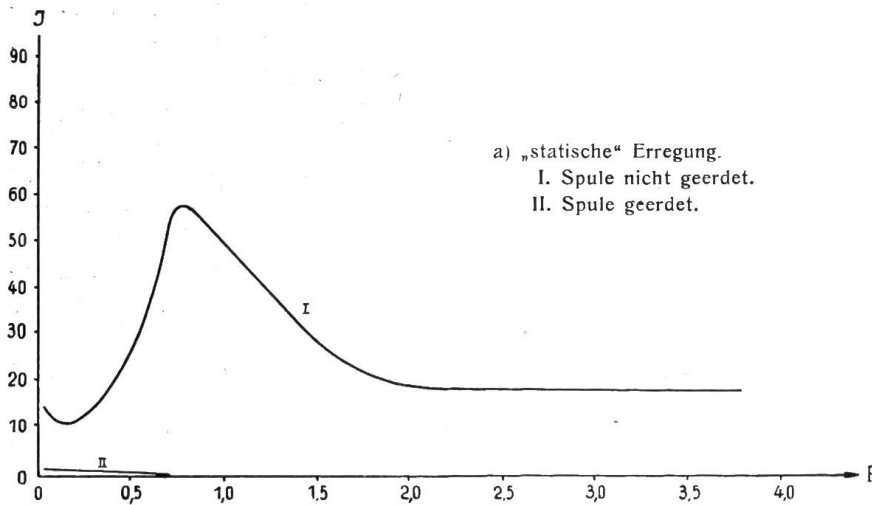


Fig. 2a. Abhängigkeit des Leitvermögens vom Druck.

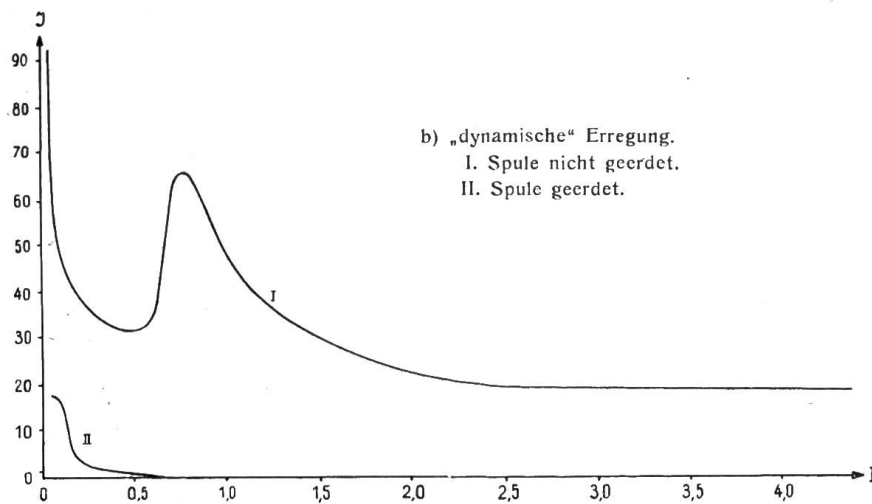


Fig. 2b. Abhängigkeit des Leitvermögens vom Druck.

Die Kurve, die sich bei statischer Erregung mit ungeerdeter Spule ergibt, die also den Strom der Büschelentladung allein darstellt, zeigt den typischen Verlauf des Stromes einer selbständigen Entladung. Die Abnahme des Stromes von einem gewissen Druck an rührt somit jedenfalls auch hier davon her, dass sich in diesem Gebiet der anomale Kathodenfall ausbildet, der mit fortschreitender Verdünnung schliesslich so gross wird, dass die vorhandene Feldstärke nicht mehr ausreicht, die Entladung zu unterhalten.¹⁾

Damit ist nun gezeigt, dass die Kurve von *Wachsmuth* und *Winawer* nicht *einen* Effekt darstellt, sondern eine Kombination von *zwei* grundverschiedenen Phänomenen. Da es sich bei der vorliegenden Untersuchung

nur um die Ionisation handelt, die durch den Ringstrom hervorgerufen wird, sind die nachfolgenden Messungen alle mit geerdeter Spule ausgeführt.

Einige Messresultate am Ringstrom.

A. Abhängigkeit des Leitvermögens vom Druck.

Zur Untersuchung gelangten: Stickstoff (käuflicher), Sauerstoff (elektrolytisch aus Phosphorsäure gewonnen), Luft und Kohlendioxyd (dargestellt aus sehr reinem Natriumbikarbonat mit Schwefelsäure). Die Gase wurden über Chlorkalzium und Phosphorpentoxyd sorgfältig getrocknet.

Bei allen diesen Gasen ergaben sich qualitativ dieselben Verhältnisse: Bei Drucken oberhalb 1 mm Hg ist bei der gewählten Versuchsanordnung und Intensität der Erregung kein merkliches Leitvermögen zu konstatieren. Evakuiert man weiter, so nimmt es zuerst langsam, dann, beim Einsetzen der hellen Ringentladung, rapid zu, erreicht bei zirka

¹⁾ Vergl. hierzu auch: W. Prizbram, Wien. Ber. 113, II^a p. 460 ff. 1903.

Tabelle II.

Leitvermögen von Stickstoff.

Strom in Skalenteilen.

Empfindlichkeit: 1 Skt. = $6 \cdot 10^{-9}$ Amp.

p mm Hg	J	p mm Hg	J
2,5	0	0,28	13
1,62	0,2	0,23	17
1,21	0,4	0,18	31
0,90	0,6	0,144	49
0,74	0,7	0,103	64
0,53	1	0,075	81
0,43	1	0,051	131
0,34	8	0,039	0

0,05 mm Druck ein Maximum, um dann fast momentan zum Nullwert zurückzukehren. Bei keinem einzigen der untersuchten Gase tritt im Gebiet zwischen 1 und 2 mm Druck ein Maximum der Leitfähigkeit auf, wie es *Wachsmuth* und *Winawer* gefunden haben. Daraus geht hervor, dass dieses „erste Maximum“ nicht nur bei Luft, sondern in allen andern Gasen durch jene sekundären Effekte an den Sonden zustande kommt und daher kein Charakteristikum für den Ringstrom darstellt. Als Beispiel möge eine Messreihe mitgeteilt werden, die mit Stickstoff unter folgenden Bedingungen aufgenommen wurde: Funkenpotential: 31 000 Volt; Wellenlänge: 165 m, also Frequenz: $1,82 \cdot 10^6 \text{ sec}^{-1}$; Sonden-spannung: 20 Volt; gegenseitiger Abstand der Sonden: 109 mm. *p* bedeutet den Druck in mm Hg; *J*: Querstrom in Skalenteilen.

B. Abhängigkeit von der Frequenz.

Theoretisch ist zu erwarten, dass mit abnehmender Frequenz unter sonst gleichen Bedingungen die Ionisation stärker wird. Denn die Zeit, während welcher innerhalb einer Schwingungsperiode Stossionisation stattfindet, d. h. also, während welcher der Betrag der elektrischen Feldstärke einen gewissen Wert überschreitet, wächst mit der Wellenlänge. Dagegen bleibt die Zahl der Perioden eines Wellenzuges, in denen die Feldstärke diesen Wert überhaupt erreicht, bei konstantem Dekrement unverändert. In der Tat haben die Messungen eine Abhängigkeit des Leitvermögens von der Frequenz in der nach der Theorie zu erwartenden Richtung ergeben. Die Untersuchungen wurden mit Sauerstoff ausgeführt; die Resultate sind in Tabelle III zusammengestellt. Sonden-spannung: 15 Volt; Funkenpotential: 22 000 Volt.

Tabelle III.

*Abhängigkeit des Leitvermögens von der Frequenz.*Strom in Skalenteilen. Empfindlichkeit: 1 Skt. = $4 \cdot 10^{-8}$ Amp.

$n = 1,82 \cdot 10^6$		$n = 1,56 \cdot 10^6$		$n = 1,09 \cdot 10^6$	
p mm Hg	J	p mm Hg	J	p mm Hg	J
0,42	$\frac{1}{2}$	0,97	$\frac{1}{8}$	0,43	$1\frac{1}{2}$
0,34	2	0,64	$\frac{1}{2}$	0,30	$6\frac{1}{2}$
0,20	5	0,35	1	0,26	$7\frac{1}{2}$
0,157	7	0,23	2	0,18	11
0,124	$8\frac{1}{2}$	0,156	$7\frac{1}{2}$	0,133	16
0,079	14	0,103	13	0,102	24
0,062	18	0,074	19	0,075	33
0,042	31	0,052	29	0,055	54
0,032	39	0,037	48	0,042	77
(Maximum)	39	(Maximum)	48	0,031	115
0,025	0	0,022	0	0,020	0

Um die Verhältnisse noch besser zu übersehen, wurden speziell die Maxima bei den verschiedenen Frequenzen aufgenommen:

$$\begin{array}{cccc} n = 1,82 & 1,56 & 1,30 & 1,09 \cdot 10^6 \\ J_{max} = 29 & 47 & 65 & 87 \end{array}$$

Tabelle IV.

*Einfluss des Funkenpotentials.*Strom in Skalenteilen. Empfindlichkeit: 1 Skt. = $6 \cdot 10^{-9}$ Amp.

V = 30 800 Volt		V = 26 000 Volt		V = 20 400 Volt	
p mm Hg	J	p mm Hg	J	p mm Hg	J
2,5	1/4	2,18	1/8	2,05	1/8
1,75	1/2	0,97	1 1/2	1,28	1/2
1,18	1	0,55	2	0,87	1 1/2
0,69	2	0,39	3	0,60	1 1/2
0,51	2	0,26	12	0,45	3
0,34	8	0,174	15	0,31	3
0,25	17	0,117	29	0,24	5
0,177	23	0,075	49	0,19	8
0,090	47	0,049	84	0,135	15
0,067	66	0,040	125	0,098	22
0,048	111	0,032	158	0,071	32
0,033	172	0,028	177	0,055	42
0,025	245	—	184 (Max.)	0,039	60
0,013	265 (Max.)	0,020	0	—	70 (Max.)
0,013	0			0,030	0

C. Abhängigkeit vom Funkenpotential.

Nach der Formel, die J. J. Thomson¹⁾ für die in der Kugel induzierte Feldstärke aufgestellt hat:

$$|\text{rot } \mathcal{E}| = k \cdot \frac{V}{L} \cdot \cos \frac{t}{\sqrt{LC}}$$

($k = \text{konst}$, $V = \text{Funkenpotential}$) ist zu erwarten, dass die Ionenkonzentration mit wachsendem Funkenpotential zunimmt. Wie aus Tabelle IV und Fig. 3 zu ersehen ist, haben die Messungen tatsächlich eine Abhängigkeit in dieser Richtung ergeben. Die Untersuchungen wurden mit CO_2 durchgeführt.

Es möge noch erwähnt werden, dass bei CO_2 jedesmal während der Entladung der Druck um einen gewissen Betrag (bis 15 %) stieg. Das lässt darauf schliessen, dass CO_2 unter der Einwirkung des Stromes teilweise dissoziiert.²⁾

D. Quecksilberdampf.

Endlich mag etwas über die Versuche mit Quecksilberdampf mitgeteilt werden. Um die Dampfspannung in messbarer Weise zu variieren, wurde das ganze Entladungsgefäß, eine Glaskugel von 10 cm Durchmesser, in einem Bad von Vaselineöl erwärmt; die Dampf-

¹⁾ I. c.²⁾ Vergl. W. Löb, Ber. d. d. chem. Ges. 37 III, p. 3593, 1904. (Dasselbst weitere Literaturangaben über diesen Gegenstand).

tensionen wurden den Tabellen von Hertz ¹⁾ entnommen. Da hier naturgemäss bedeutende technische Schwierigkeiten verschiedener Art vorliegen, so sind die Messungen wohl kaum ganz einwandfrei. Was aber aus den Untersuchungen jedenfalls mit Sicherheit hervorgeht,

das sind folgende Tatsachen:

1. Hg-Dampf zeigt qualitativ ein ganz analoges Verhalten wie die untersuchten Gase.

2. Der maximale Wert des Leitvermögens von Hg-Dampf ist zirka 400mal grösser als der entsprechende Wert von Luft bei derselben Intensität der Erregung.

Diskussion und Schlußbetrachtungen

Mit der gewählten Versuchsanordnung, die im wesentlichen mit derjenigen von *Wachsmuth*

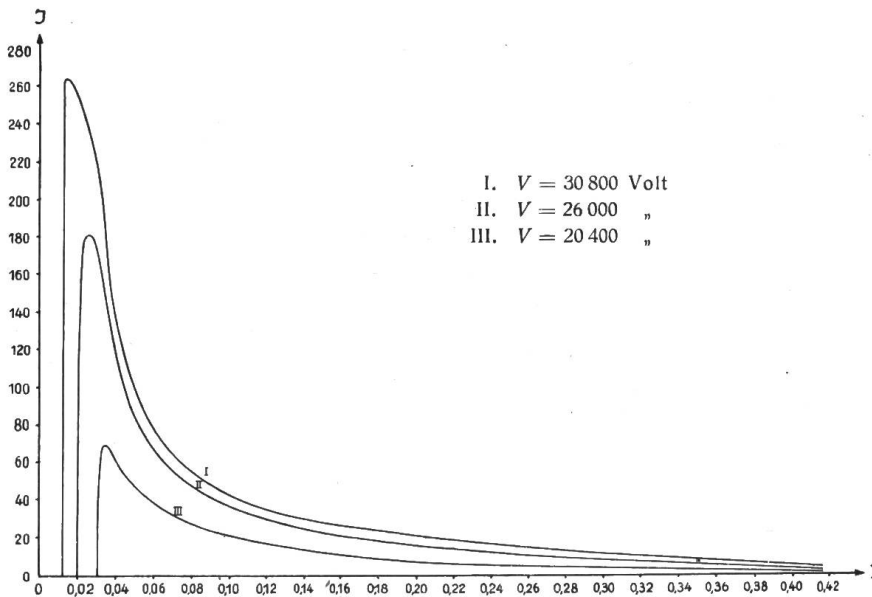


Fig. 3. Abhängigkeit des Leitvermögens vom Druck p bei verschiedenen Funkenpotentialen V .

und *Winawer* übereinstimmt, erhält man nur über die Leitfähigkeit in der Mitte der Entladungskugel Aufschluss. Da hier erst durch sekundäre Prozesse (Ionendiffusion, Eindringen weicher Kathodenstrahlen etc.) Ionisation zustande kommt, diese Prozesse selbst aber in hohem Masse vom Druck abhängig sind, so ist zu erwarten, dass man ganz andere Resultate erhielte, wenn man die Sonden direkt in den Ringstrom einführen würde. Dies wird auch durch folgende Untersuchung nahegelegt: Es wurde bestimmt, wieviel Energie dem Schwingungskreis durch die Entladung bei verschiedenen Drucken entzogen wird. Die Messungen wurden mit Hilfe eines Wellenmessers mit Hitzdrahtinstrument ausgeführt, der mit dem Schwingungskreis lose gekoppelt und auf Resonanz eingestellt war. Es ergab sich u. a., dass zwischen 0,1 und 0,2 mm Druck am meisten Energie absorbiert wird. Daher liegt sehr wahrscheinlich auch das Maximum der Intensität des Ringstromes in diesem Druckgebiet, während die Leitfähigkeit, im Innern der Entladungskugel gemessen, erst bei 0,02 mm ihren grössten Wert annimmt.

Leider ist es, trotz zahlreicher Versuche, nicht gelungen, im Ringstrom selbst einwandfreie Messungen vorzunehmen, da hier eine ganze Reihe neuer Schwierigkeiten, sowohl technischer wie prinzipieller Natur, auftreten. Immerhin ist nach den Resultaten der vorliegenden Messungen allein schon zu erwarten, dass sich auch hier Verhältnisse ergeben würden, die nicht im Widerspruch stehen zur Theorie der Stossionisation.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst die Untersuchungen von *Wachsmuth* und *Winawer* über die Leitfähigkeit bei der elektrodenlosen Ringentladung nachgeprüft. Es wird nachgewiesen, dass das Maximum des Leitvermögens im Druckgebiet von 1–2 mm, wie es die genannten Forscher bei allen den von ihnen untersuchten Gasen gefunden haben, durch eine Nebenentladung an den Sonden zustandekommt, dass es also kein Charakteristikum für den Ringstrom darstellt. Mit einer besonderen Schaltung, bei der nur die statischen Effekte der Spule zur Geltung gelangen, wird gezeigt, dass diese Sondenentladungen durch Influenzwirkung der Spule erregt werden. Diese lässt sich dadurch eliminieren, dass man

¹⁾ H. Hertz, Wied. Ann. 17. p. 193, 1887. (Vergl. auch L. Pfandler, Wied. Ann. 63. p. 36, 1897).

die Spule erdet. Alsdann ergibt sich ein Leitvermögen, das erstens bedeutend geringer ist als bei der Wachsmuth'schen Anordnung, und zweitens qualitativ in solcher Weise vom Druck abhängt, wie nach der Theorie der Stossionisation zu erwarten ist. Weiterhin ergibt sich, dass die Ionisation im Gase mit abnehmender Frequenz der erregenden Schwingungen wächst, ferner dass sie um so grösser ist, je höher die Spannung an der Funkenstrecke.

Miscellanea.

Inbetriebsetzung von schweizerischen Starkstromanlagen. (Mitgeteilt vom Starkstrominspektorat des S. E. V.) In der Zeit vom 20. Januar bis 20. Februar 1919 sind dem Starkstrominspektorat folgende wichtigere Anlagen als betriebsbereit gemeldet worden:

Hochspannungsfreileitungen.

- Elektrizitätswerk des Kantons Thurgau, Arbon.* Leitung zur Zwirnerei Murkart (Gemeinde Frauenfeld). Drehstrom, 25 000 Volt, 50 Per. Leitung nach Schweizerholz (Gemeinde Neukirch). Drehstrom, 5 000 Volt, 50 Perioden. Leitung nach Ober-Opfershofen (Gem. Bürglen). Drehstrom, 5 000 Volt, 50 Perioden. Leitung von Stange Nr. 24 in Hörstetten nach Salenreutenen (Gemeinde Steckborn). Leitungen nach Homburg und zur Meßstation des Elektrizitätswerkes Frauenfeld, Drehstrom, 8 000 Volt, 50 Perioden. Leitung Trungen-Frauenfeld. Drehstrom 25 000 Volt, 50 Perioden.
- Elektrizitätswerk Basel, Basel.* Leitung Augst-Basel. Drehstrom, 27 000 Volt, 50 Perioden. Provisorische Leitung von der Transformatorstation an d. Birsstrasse bis zur Ueberführungsstation an der Birs, Zürcherstrasse, Basel. Drehstrom, 7 000 Volt, 50 Perioden.
- Rätische Elektrizitätsgesellschaft Klosters-Dörfli, Basel.* Leitung nach Felsenbach, Einphasenstrom, 8 000 Volt, 50 Perioden.
- Bernische Kraftwerke A.-G., Betriebsleitung Biel.* Leitung nach Montfavergier. Einphasenstrom, 16 000 Volt, 40 Perioden. Leitung zwischen den Zentralen Kallnach und Aumatten (Gemeinde Mühleberg). Drehstrom, 45 000 Volt, 40 Perioden. Leitungen zu den Transformatorstationen Gals und Betlehem. Einphasenstrom, 8 000 Volt, 40 Perioden.
- Società elettrica delle Tre Valli S. A., Bodio.* Linea ad alta tensione al Casino delle Officine del Gottardo, Bodio. Corrente trifase, 8 000 volt, 50 periodi.
- Elektrizitätswerk Brig-Naters, A.-G., Brig.* Leitung zur Transformatorstation im Rhonesand. Drehstrom, 2000 Volt, 50 Perioden.
- Elektrizitätswerk Gossau, Gossau (St. Gallen).* Leitung für den Anschluss der Transformatorstation Ebnet. Drehstrom, 4 000 Volt, 50 Per.
- Elektrizitätsgenossenschaft Hälischwand (Bezirk Signau).* Leitung nach Hälischwand. Drehstrom, 16 000 Volt, 40 Perioden.
- Elektrizitätskommission der Gemeinde Hasle bei Burgdorf.* Leitungen nach Aeschbach und

Hoheschwand bei Bigenthal (Bezirk Konolfingen). Drehstrom, 16 000 Volt, 40 Perioden.

Licht- und Wasserwerke Langnau (Bern). Leitung von der „Bäregg“ zur Stangen-Transformatorstation beim Kammerhaus. Drehstrom, 2 200 Volt, 50 Perioden.

Cie. vaudoise des Forces Motrices des Lacs de Joux et de l'Orbe, Lausanne. Ligne à haute tension à la „Chaux“ (Neuchâtel). Courant monophasé, 13 500 volts, 50 périodes.

Ferrovia Locarno-Pontebrolla-Bignasco, Locarno. Linea ad alta tensione per la stazione trasformatrice Coglio-Giumaglio. Corrente monophasé, 5 000 volt, 20 periodi.

Officina elettrica comunale, Lugano. Hochspannungs-Verbindungsleitung zwischen der Reservekraftanlage und dem bestehenden Hochspannungsnetz, Lugano. Drehstrom, 3 600 Volt, 50 Perioden.

Centralschweizerische Kraftwerke, Luzern. Leitung zur Stangen-Transformatorstation in Matten (Gemeinde Hünenberg). Drehstrom, 11 000 Volt, 42 Perioden. Leitung von Pfaffnau nach der Liegenschaft Säge. Drehstrom, 11 000 Volt, 42 Perioden. Hochspannungsverbindungsleitung zwischen den Zentralen Rathausen und Gösgen. Drehstrom, 50 000 Volt, 50 Perioden. Leitungen zum Elektrizitätswerk Sursee und nach Stadelmatt (Gemeinde Hünenberg). Drehstrom, 11 000 Volt, 42 Perioden.

Elektrowerke Reichenbach A.-G., Luzern. Leitung zur Transformatorstation Hofstetten b. Brienz. Drehstrom, 12 000 Volt, 50 Perioden.

Elektrizitätswerk Oberwinterthur, Oberwinterthur. Leitung zur Fabrik der A.-G. Holzbrikett in Oberwinterthur. Drehstrom, 3 000 Volt, 50 Perioden.

Bernische Kraftwerke A.-G., Betriebsleitung Pruntrut. Leitungen zu den Stangen-Transformatorstationen Lugnez und Dampfreux (Bezirk Pruntrut). Einphasenstrom, 16 000 Volt, 40 Perioden.

Entreprises Electriques Fribourgeoises, Romont. Ligne à haute tension temporaire pour alimenter la station transformatrice servant aux travaux de correction de la Glâne. Courant triphasé, 8 000 volts, 50 périodes.

Elektrizitäts-Genossenschaft Ruben-Grindlachen (Gemeinde Walkringen). Leitung zur Stangen-Transformatorstation Ruben-Grindlachen. Einphasenstrom, 16 000 Volt, 40 Perioden.

Elektrizitätswerk des Kantons Schaffhausen, Schaffhausen. Leitung zum Engehof (Gemeinde Beringen). Drehstrom, 10 000 Volt, 50 Perioden.