Über den Kathodenfall in der Bogenentladung

Autor(en): **Bächtiger, P. / Wehrli, M.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **5 (1932)**

Heft III

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-110164

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Über den Kathodenfall in der Bogenentladung

von **P. Bächtiger** und **M. Wehrli.**

(25. III. 32.)

Für den Fall, dass die Ausdehnung der positiven Raumladungsschicht an der Kathode kleiner als die mittlere freie Weglänge der Elektronen ist, wird der Kathodenfall berechnet, unter Einführung des mittleren Geschwindigkeitsverlustes, welchen ein Elektron zur Bildung eines Ionenpaares auf seinem Bremswege erleidet. Es ergibt sich bei der Bogenentladung eine Methode zur Bestimmung des Verhältnisses von positivem Ionenstrom zu Elektronenstrom an der Kathode.

Vor der Kathode einer Gasentladung sind zwei Vorgänge von wesentlicher Bedeutung: Die Beschleunigung der Elektronen und ihre Geschwindigkeitsabnahme durch Ionisation und andere Energieverluste. Die Ausdehnung des Beschleunigungsgebietes, welche mit a bezeichnet werde, kann man der Schichtdicke der positiven Raumladung gleichsetzen. Es lassen sich zwei Grenzfälle unterscheiden, je nachdem die Schichtdicke a kleiner oder grösser als die mittlere freie Weglänge λ der Elektronen ist.

1. $a \gg \lambda$. In diesem Falle ist das Beschleunigungs- und das Bremsgebiet identisch. Es gilt angenähert der Townsendsche Stossmechanismus und Elektronen mit der vollen Kathodenfallgeschwindigkeit (in Volt) sind selten.

2. $a < \lambda$. Hier ist das unmittelbar vor der Kathode liegende Beschleunigungsgebiet vom Ionisationsgebiet getrennt. Die meisten an der Kathode ausgelösten Elektronen erreichen die volle Kathodenfallgeschwindigkeit und ionisieren dann in einem Raume (Bremsgebiet), dessen Feldstärke im Vergleich zu der im Beschleunigungsgebiet sehr klein ist. Die Grösse a kann mittelst der Raumladungsgleichung berechnet werden. Auch bei gleichzeitigen Elektronenströmen von der Grösse der positiven Ionenströme wird infolge der grossen Elektronengeschwindigkeit die Ausdehnung der Raumladung nicht wesentlich vergrössert.[1])

Die Verhältnisse bei den meisten Entladungen liegen zwischen diesen beiden Grenzfällen. Immerhin ist die erste Voraussetzung bei der Glimmentladung angenähert erfüllt ($a \sim 15\,\lambda$), und es bestehen schon Kathodenfalltheorien von einigen Autoren[2]), welche

[1]) R. Seeliger, Phys. Zeitschr. **30**, 527, 1929.

[2]) K. Compton und Ph. Morse, A. Güntherschulze, s. Hdb. d. Exp.-Phys. von Wien-Harms XIII, 3. Teil von R. Seeliger und G. Mierdel.

die Townsendschen Ansätze verwenden. Der zweite Grenzfall wird, wie M. Wehrli und P. Bächtiger[1]) experimentell gezeigt haben, bei der Bogenentladung erreicht. Dabei erleiden auch im Falle $a = \lambda$ nur 20% der an der Kathode ausgelösten Elektronen innerhalb a einen einzigen unelastischen Stoss, alle Mehrfachstösse zusammen betragen 7%, während 73% die Strecke a ohne Energieverlust zurücklegen, d. h. die Trennung des Beschleunigungs- und des Ionisationsgebietes dürfte der Wirklichkeit noch bis $a = 2\lambda$ entsprechen.

Für den Fall 2 mögen deshalb einige rohe theoretische Betrachtungen durchgeführt werden, unter Einführung des mittleren Geschwindigkeitsverlustes $\overline{U}$, welchen ein Elektron auf seinem Bremswege zur Bildung eines Ionenpaares erleidet. Die Grösse $\overline{U}$ kann durch Experimente, unabhängig von Entladungen bestimmt werden. Ein im Raumladungsgebiet beschleunigtes Elektron erzeuge, bis es sich totgelaufen hat n Ionenpaare. Von den n positiven Ionen erreiche der Bruchteil k die Kathode, der Bruchteil $1-k$ gehe durch Rekombination und bei auftretender Feldumkehr durch Abwandern gegen die Anode verloren. Die Zahl n ergibt sich zu:

$$n = \frac{U_k}{\overline{U}}, \tag{1}$$

wobei U_k den Kathodenfall bedeutet. Für das Verhältnis des positiven Ionenstromes i^+ zum Elektronenstrom i^- an der Kathodenoberfläche gilt die Beziehung:

$$\frac{i^+}{i^-} = k\frac{U_k}{\overline{U}} \tag{2}$$

i^- setzt sich aus drei Teilen zusammen nach der Gleichung:

$$i^- = i_T^- + i_M^- + \alpha\, i^+. \tag{3}$$

Dabei bedeutet i_T^- den Glühelektronenstrom, i_M^- den durch metastabile Atome und Moleküle und αi^+ den durch positive Ionen ausgelösten Elektronenstrom. α ist die mittlere Elektronenzahl, welche von einem positiven Ion ausgelöst wird.

Unter Einführung des Gesamtstromes $I = i^+ + i^-$ folgt für den Kathodenfall

$$U_k = \frac{\overline{U}\,(I - i_T^- - i_M^-)}{k\,(i_T^- + i_M^- + I\,\alpha)}. \tag{4}$$

[1]) M. Wehrli und P. Bächtiger, Helv. Phys. Acta **5**, 106, 1932.

Der Kathodenfall nimmt mit zunehmender Glühemission i_T^- und ansteigendem α ab. Nähert man die Anode der Kathode soweit, dass die primären Elektronen, bevor sie sich totgelaufen haben, die Anode erreichen (behinderter Kathodenfall), so muss nach Gleichungen (1) und (4) $\overline{U}$ und damit U_k ansteigen. Das von P. Bächtiger und M. Wehrli[1]) bei 300 mm Hg gefundene Minimum des Kathodenfalles als Funktion des Druckes könnte gemäss Formel (4) durch ein Maximum von α oder i_M^- als Funktion des Druckes erklärt werden.

Gleichung (2) möge auf einige Messungen[2]) an einer Bogenentladung zwischen Wolframkugelelektroden in Stickstoff angewendet werden. Nach den Resultaten von J. B. Johnson[3]) beträgt $n = 0{,}0276\,(U_k - 12)$ für reinen Stickstoff. Die Grösse n ist angenähert unabhängig vom Drucke[4]). Da bei höheren Kathodenfällen noch keine Feldumkehr bekannt und die Rekombination gering ist, wird k nahezu eins. Die errechneten Verhältnisse $\frac{i^+}{i^-}$ sind in Tabelle 1 Kolonne 4 zusammengestellt.

Tabelle 1.

Stickstoff $p = 136$ mm Hg

U_k	I	$\overline{U}$	$\frac{i^+}{i^-}$	i^-	i^+	$\frac{\lambda}{a}$	T_k °K	W_k	W_{st}	i^+
84,3	0,2	42	2,0	0,07	0,13	0,7	2643	9,2	3,2	0,13
47,1	0,5	49	0,96	0,26	0,24	1,4	2806	12,2	3,7	0,28
35,3	0,9	55	0,64	0,55	0,35	2,2	2914	14,5	4,0	0,43

Die Grössen $\frac{\lambda}{a}$ sind Minimalwerte, dabei ist für die Gastemperatur die Kathodentemperatur und für λ der gaskinetische Wert eingesetzt worden. I bedeutet die Stromstärke in Ampère, T_k die Kathodentemperatur in °K, W_k die durch Strahlung von der Kugel und W_{st} die durch den Stiel abgeleitete Leistung in Watt. Aus den $\frac{\lambda}{a}$ Werten ist ersichtlich, dass angenähert der Fall 2 gilt.

Die Grösse i^+ kann auch mit Hilfe von Energiebilanzen abgeschätzt werden. Die Gleichung für das Kathodenfallgebiet lautet:

$$W + I\varphi = i^+ (k_1 U_k + k_2 V_i) + Q\,. \tag{5}$$

[1]) P. Bächtiger und M. Wehrli, Helv. Phys. Acta **4**, 31, 1931.

[2]) P. Bächtiger, Helv. Phys. Acta **4**, 414, 1931.

[3]) J. B. Johnson, Phys. Rev. **10**, 609, 1917. Siehe auch M. Renninger, Ann. d. Phys. **9**, 295, 1931, welcher für $\overline{U}$ 45 Volt erhält.

[4]) A. Eisl, Ann. d. Phys. **3**, 277, 1929, woselbst weitere Literaturangaben.

Dabei bedeuten $W = W_k + W_{st}$ (Wärmeverlust an der Kathode), φ die Austrittsspannung der Elektronen (4,6 Volt), V_i Ionisierungsspannung (17 Volt), k_1, k_2 Faktoren zwischen null und eins, Q die durch Wärmeleitung aus dem Kathodenfallgebiet der Kathode zugeführte Leistung. Zur Berechnung von i^+ aus Gleichung (5) werden k_1 und k_2 gleich eins und Q gleich null gesetzt, da nach A. Güntherschulze und F. Keller[1]) der Energieverlust der

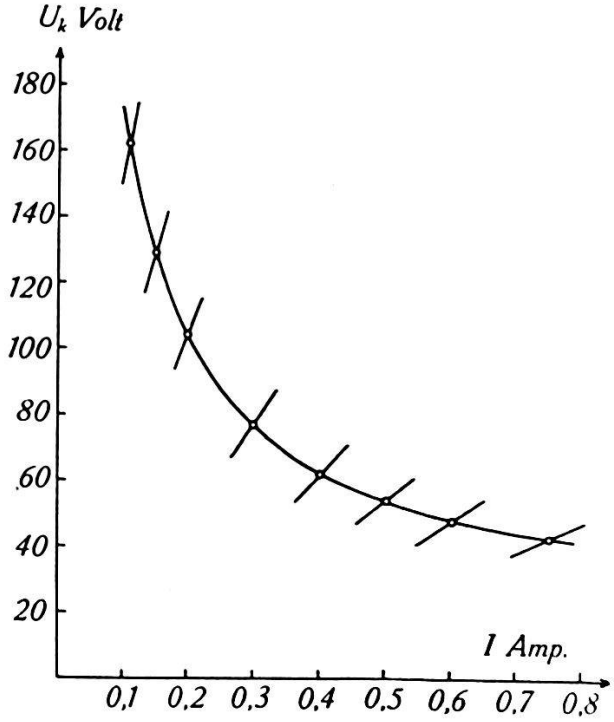

Fig. 1.

positiven Ionen selbst über eine grössere Anzahl von freien Weglängen (gaskinetisch) klein ist. Die mit Gleichung (5) ermittelten Werte i^+ sind in Tabelle 1 letzte Kolonne wiedergegeben. Wenn man berücksichtigt, dass die Grösse $\overline{U}$ noch ungenau bekannt ist ($\pm$ 20%), so ergeben die beiden von einander unabhängigen Methoden zur Berechnung von i^+ eine befriedigende Übereinstimmung.

Gleichung (4) soll im weiteren auf die von P. Bächtiger[2]) bei tiefen Drucken gemessenen Isothermen angewendet werden. Mit Isotherme bezeichnet man die Beziehung zwischen Kathodenfall und Stromstärke bei konstanter Kathodentemperatur. Bei einer Isotherme ist also i_T^- konstant. Unter der Annahme, dass auch

---

[1]) A. Güntherschulze und F. Keller, Zeitschr. f. Phys. **72**, 8, 1931.

[2]) P. Bächtiger, Helv. Phys. Acta **3**, 335, 1930.

$\overline{U}$, α und i_M^- in erster Näherung von U_k und I unabhängig sind, folgt aus (4) für die Neigung der Isothermen

$$\frac{d\,U_k}{d\,I} = \frac{(\overline{U} - k\,\alpha\,U_k)\,(k\,U_k + \overline{U})}{I\,k\,\overline{U}\,(1 + \alpha)}\,. \tag{6}$$

In Fig. 1 sind für einige Punkte der Kathodenfallcharakteristik die nach Gleichung (6) berechneten Isothermenneigungen eingetragen. Es werden folgende Zahlenwerte verwendet $\alpha = 0{,}1$, $\overline{U} = 45$ Volt, $k = 1$. Der Kathodenfall als Funktion der Stromstärke ist der Arbeit von P. Bächtiger und M. Wehrli (l. c.) entnommen. Wie ersichtlich sind die Isothermen steigend und ihre Neigung nimmt mit abnehmender Stromstärke zu. Gerade dieses Verhalten ist von P. Bächtiger (l. c.) experimentell festgestellt worden.

Basel, Physik. Institut der Universität.