

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 5 (1932)  
**Heft:** III

**Artikel:** Über den Kathodenfall in der Bogenentladung  
**Autor:** Bächtiger, P. / Wehrli, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-110164>

### **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:** 27.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://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  $\lambda$  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.<sup>1)</sup>

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<sup>2)</sup>, welche

<sup>1)</sup> R. SEELIGER, Phys. Zeitschr. **30**, 527, 1929.

<sup>2)</sup> 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<sup>1)</sup> 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  $\bar{U}$ , welchen ein Elektron auf seinem Bremswege zur Bildung eines Ionenpaares erleidet. Die Grösse  $\bar{U}$  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:

$$n = \frac{U_k}{\bar{U}}, \quad (1)$$

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

$$\frac{i^+}{i^-} = k \frac{U_k}{\bar{U}} \quad (2)$$

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

$$i^- = i_T^- + i_M^- + \alpha i^+. \quad (3)$$

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

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

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

<sup>1)</sup> M. WEHRLI und P. BÄCHTIGER, Helv. Phys. Acta 5, 106, 1932.

Der Kathodenfall nimmt mit zunehmender Glühemission  $i_T^-$  und ansteigendem  $\alpha$  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)  $\bar{U}$  und damit  $U_k$  ansteigen. Das von P. BÄCHTIGER und M. WEHRLI<sup>1)</sup> bei 300 mm Hg gefundene Minimum des Kathodenfalles als Funktion des Druckes könnte gemäss Formel (4) durch ein Maximum von  $\alpha$  oder  $i_M^-$  als Funktion des Druckes erklärt werden.

Gleichung (2) möge auf einige Messungen<sup>2)</sup> an einer Bogenentladung zwischen Wolframkugelelektroden in Stickstoff angewendet werden. Nach den Resultaten von J. B. JOHNSON<sup>3)</sup> beträgt  $n = 0,0276 (U_k - 12)$  für reinen Stickstoff. Die Grösse  $n$  ist angenähert unabhängig vom Drucke<sup>4)</sup>. 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

$U_k$	$I$	$\bar{U}$	$\frac{i^+}{i^-}$	$i^-$	$i^+$	$\frac{\lambda}{a}$	$T_k$ °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  $\lambda$  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:

$$W + I \varphi = i^+ (k_1 U_k + k_2 V_i) + Q. \quad (5)$$

<sup>1)</sup> P. BÄCHTIGER und M. WEHRLI, *Helv. Phys. Acta* **4**, 31, 1931.

<sup>2)</sup> P. BÄCHTIGER, *Helv. Phys. Acta* **4**, 414, 1931.

<sup>3)</sup> J. B. JOHNSON, *Phys. Rev.* **10**, 609, 1917. Siehe auch M. RENNIGER, *Ann. d. Phys.* **9**, 295, 1931, welcher für  $\bar{U}$  45 Volt erhält.

<sup>4)</sup> A. EISL, *Ann. d. Phys.* **3**, 277, 1929, woselbst weitere Literaturangaben.

Dabei bedeuten  $W = W_k + W_{st}$  (Wärmeverlust an der Kathode),  $\varphi$  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<sup>1)</sup> der Energieverlust der

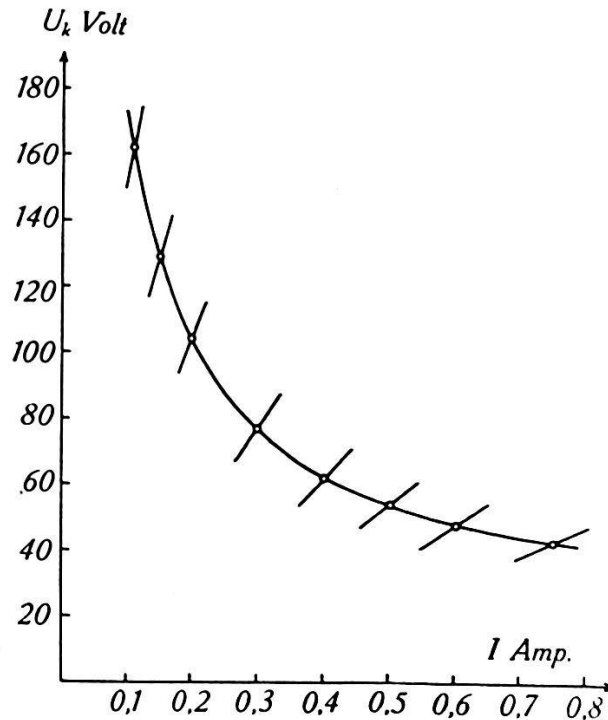


Fig. 1.

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  $\bar{U}$  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<sup>2)</sup> 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

<sup>1)</sup> A. GÜNTHERSCHULZE und F. KELLER, Zeitschr. f. Phys. **72**, 8, 1931.

<sup>2)</sup> P. BÄCHTIGER, Helv. Phys. Acta **3**, 335, 1930.

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

$$\frac{d U_k}{d I} = \frac{(\bar{U} - k \alpha U_k) (k U_k + \bar{U})}{I k \bar{U} (1 + \alpha)} . \quad (6)$$

In Fig. 1 sind für einige Punkte der Kathodenfallcharakteristik die nach Gleichung (6) berechneten Isothermenneigungen eingetragen. Es werden folgende Zahlenwerte verwendet  $\alpha = 0,1$ ,  $\bar{U} = 45$  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.