

# Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität

Nr. 65

## Über die Charakteristik des Stromes in schwach ionisierten Gasen

Von

Egon Schweidler

k. M. Akad. Wiss.

Aus dem physikalischen Institute der Universität Innsbruck

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. Februar 1924)

Inhaltsübersicht: 1. Die Thomson'sche Charakteristik. 2. Die lineare Wiedervereinigungsgleichung. 3. Die Charakteristik bei linearer Wiedervereinigung. 4. Zusammenfassung.

### 1. Die Thomson'sche Charakteristik.

Unter der Voraussetzung, daß für die Wiedervereinigung der Ionen die quadratische Formel  $\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2$ , beziehungsweise  $= -\alpha n_1 n_2$  gelte, wurde von J. J. Thomson<sup>1</sup> bereits in einem frühen Stadium der Entwicklung der Gasionentheorie eine Näherungsformel für die Charakteristik, d. i. die den Strom als Funktion der Spannung darstellende Kurve abgeleitet. Wählt man statt der Variablen Spannung und Stromstärke, die Variablen Stromstärke (als unabhängige) und Leitfähigkeit (als abhängige), so ergibt sich die einfache Formel

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{1 - \frac{i}{s}}$$

worin  $\lambda$  die spezifische Leitfähigkeit,  $\lambda_0$  deren Wert bei unendlich schwachem Strome,  $i$  die Stromstärke und  $s$  den Sättigungsstrom bezeichnet. Die graphische Darstellung führt also zu der sogenannten »Thomson'schen Parabel«.

Bei der Ableitung dieser Formel ist die Diffusion der Ionen vernachlässigt, ebenso der Umstand, daß freie Raumladungen auftreten, die das elektrische Feld verändern und von Punkt zu Punkt variierende Werte der Größe  $\alpha n_1 n_2$  bedingen. Die exakten — sehr komplizierten — Berechnungen von G. Mie<sup>2</sup> und R. Seeliger<sup>3</sup> zeigten aber, daß — besonders im Gebiete nahezu gesättigter Ströme — die

<sup>1</sup> J. J. Thomson (Übersetzung von P. Ewers), Die Entladung der Elektrizität durch Gase. 1900, p. 27.

<sup>2</sup> G. Mie, Ann. d. Phys. (4) 13, 857, 1904; 26, 597, 1908.

<sup>3</sup> R. Seeliger, Ann. d. Phys. (4) 33, 319, 1910.

Thomson'sche Charakteristik, beziehungsweise die Thomson'sche Parabel, eine für die meisten praktischen Zwecke ausreichende Näherung darstellt.

## 2. Die lineare Wiedervereinigungsgleichung.

Enthält ein Gas neben den gewöhnlichen leichtbeweglichen Ionen noch Adsorptionskerne und schwere Ionen, die durch Anlagerung der leichten Ionen an die Kerne entstanden sind, so ist bei der Ionenvernichtung neben dem Gliede  $\alpha n^2$  noch ein Glied  $\beta n$  einzufügen, wobei  $\beta$  ein der Zahl der Adsorptionskerne proportionaler Faktor ist. Es wird also

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2 - \beta n = -n(\alpha n + \beta) = -\beta' n.$$

Bei schwacher Ionisierung ( $n$  klein) kann dann  $\beta'$  annähernd als Konstante betrachtet werden. Die Theorie dieser Formel und der experimentelle Nachweis, daß sie in natürlicher Luft genügend genau gelte, findet sich in zwei früheren Mitteilungen.<sup>1</sup> Unabhängig kamen J. J. Nolan und J. Enright<sup>2</sup> sowie A. D. Power<sup>3</sup> zu analogen Ergebnissen.

Die der linearen Gleichung  $\frac{dn}{dt} = -\beta' n$  entsprechende Wiedervereinigung sei der Kürze halber »lineare  $WV$ « genannt. Wie ersichtlich, ist  $\beta'$  von der Dimension einer reziproken Zeit; wird ein Gas, in dem die Bedingungen für lineare  $WV$  erfüllt sind, nach Aufhören des ionisierenden Vorganges sich selbst überlassen, so folgt aus der obigen Gleichung:  $n_t = n_0 e^{-\beta' t}$  und man kann in Analogie zu dem radioaktiven Zerfall die reziproke Größe  $\mathcal{V}' = \frac{1}{\beta'}$  einführen und als »mittlere Lebensdauer« der leichtbeweglichen Ionen bezeichnen.

## 3. Die Charakteristik bei linearer Wiedervereinigung.

Es sei zunächst ein von zwei parallelen Platten in der Distanz  $l$  begrenzter Gasraum angenommen. Es bezeichne  $e$  das Elementarquantum,  $2v$  die Summe der Beweglichkeiten der positiven und der negativen Ionen,  $q$  die Ionisierungsstärke,  $i$  die Stromdichte,  $j = \frac{i}{el}$  die Zahl der durchschnittlich pro Volum- und Zeiteinheit ausgeschiedenen Ionen,  $E$  die angelegte Spannung, also  $\frac{E}{l}$  die Feldstärke.

E. Schweidler, Diese Sitzungsber. 127, 953, 1918; 128, 947, 1919.

J. J. Nolan und J. Enright, Proc. Roy. Irish Acad. 36, (A), 93, 1923.

<sup>3</sup> A. D. Power, Journ. of Franklin Inst. 1923, 327

Bei Gültigkeit der linearen  $WV$  erhält man dann unter den gleichen vereinfachenden Voraussetzungen wie in der ursprünglichen Thomson'schen Ableitung:

$$\frac{dn}{dt} = q - \beta' n - j = 0 \quad \text{oder} \quad (1a)$$

$$n = \frac{1}{\beta'} (q - j) = \vartheta' (q - j) \quad (1b)$$

als Bedingung für den stationären Zustand, in dem die Ionisierung einerseits, die  $WV$  und die Ionenabfuhr an die Elektroden andererseits sich das Gleichgewicht halten. Hieraus und aus der Gleichung:

$$i = 2nev \frac{E}{l}, \quad \text{beziehungsweise} \quad (2a)$$

$$j = \frac{i}{el} = \frac{2nvE}{l^2} \quad \text{folgt:} \quad (2b)$$

$$j = \frac{2vE\vartheta'}{l^2} (q - j) = \frac{E}{H} (q - j). \quad (3)$$

Die Größe  $H = \frac{l^2}{2v\vartheta'}$  ist von der Dimension einer Spannung und soll als »Halbierungsspannung« bezeichnet werden, weil bei  $E = H$ ,  $j = \frac{q}{2}$ , somit der Strom gleich dem halben Sättigungsstrom wird.

Die Umformung von (3)

$$j = \frac{E}{E + H} q \quad (4)$$

liefert die Charakteristik in einem ionisierten Gase mit linearer  $WV$  und zeigt, daß in diesem Falle praktisch vollständige Sättigung nur sehr langsam mit wachsender Spannung erreicht wird. Es erscheint fraglich, ob bei den Versuchen, die mangelhafte Sättigung bei hohen Spannungen auf die »anfängliche  $WV$ « Bragg's, beziehungsweise auf säulenförmige Ionisierung (Langevin-Moulin) zurückzuführen, nicht auch die auf Anwesenheit von Adsorptionskernen beruhende lineare  $WV$  berücksichtigt werden sollte.

Geht man von der Funktion  $i = f(E)$  auf die Funktion  $\lambda = f(i)$  über, so erhält man in unserem Falle für die spezifische Leitfähigkeit  $\lambda = 2nev$  aus (2b):

$$\lambda = j \frac{el^2}{E} \quad \text{und daher aus (3):} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{el^2}{H}(q-j). \quad (6)$$

Für  $j = 0$  wird  $\lambda = \lambda_0 = \frac{el^2}{H}q$  und daher allgemein:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{q-j}{q} = 1 - \frac{j}{q}. \quad (7)$$

An Stelle der Thomson'schen Parabel tritt eine Gerade; die Leitfähigkeit ist direkt proportional dem »Sättigungsdefizit« des Stromes.

Denkt man sich die Charakteristik nach Gleichung (4) empirisch ermittelt, so ist damit die Halbierungsspannung  $H$  numerisch bestimmt. Aus der Definitionsgleichung  $H = \frac{l^2}{2v\vartheta'}$  läßt sich daher  $\vartheta'$  oder  $\beta'$  unmittelbar ableiten, falls die Ionenbeweglichkeit bekannt ist.

Vorstehende Ableitung gilt zunächst für einen ebenen Kondensator. Allgemeiner sei nun ein Kondensator vorausgesetzt, in dem zwei beliebig gestaltete Elektroden einen Gasraum vom Volumen  $V$  abgrenzen.  $\Gamma$  sei die sogenannte »Widerstandskapazität« dieses Raumes, die nach einer bekannten Formel zu der elektrostatischen Kapazität  $C$  des Kondensators in der Beziehung steht:

$\Gamma = \frac{1}{4\pi C}$ . Die übrigen Bezeichnungen der obigen Ableitung seien

beibehalten, nur statt der Stromdichte  $i$  die Gesamtstromstärke  $J$  eingeführt. Dann gilt zunächst unverändert die aus der Bilanz der ionenerzeugenden und -vernichtenden Vorgänge folgende Gleichung:

$$n = \vartheta'(q-j), \text{ ferner} \quad (1')$$

$$J = jeV = \frac{E\lambda}{\Gamma} \text{ oder} \quad (2'a)$$

$$j = \frac{E\lambda}{\Gamma eV} = \frac{2nvE}{\Gamma V}. \quad (2'b)$$

Aus (1') und (2'b) folgt wieder:

$$j = \frac{2 \cdot E v \vartheta'}{\Gamma V} (q-j) = \frac{E}{H} (q-j), \quad (3')$$

wobei

$$H = \frac{\Gamma V}{2v\vartheta'} = \frac{V}{8\pi C v \vartheta'}$$

ist.

Die Charakteristik ist also im allgemeinen Falle von derselben Form wie im Spezialfalle des ebenen Kondensators und die weiteren Überlegungen bezüglich der Funktion  $\lambda = f(j)$  können unverändert übernommen werden.

Die Halbierungsspannung  $H$  ist wieder durch die Dimensionen (beziehungsweise Kapazität) des Kondensators sowie durch die Beweglichkeit und die mittlere Lebensdauer der Ionen bestimmt. Z. B. wird für einen Zylinderkondensator mit den Radien  $a$  und  $A$  unter Benützung der Formel für dessen Kapazität sofort die Halbierungsspannung berechnet zu  $H = \frac{(A^2 - a^2) \log \text{nat} \frac{A}{a}}{4 v \vartheta'}$ .

Auch hier ist natürlich wieder die experimentelle Ermittlung von  $H$  durch Aufnahme der Charakteristik und daraus die Berechnung von  $\vartheta'$  möglich, falls die Ionenbeweglichkeit bekannt ist. Die vom Standpunkte der Lufterlektrizität aus interessante Frage nach dem Absolutwerte von  $\vartheta'$  sowie nach dessen Veränderlichkeit im Zusammenhang mit meteorologischen Verhältnissen läßt sich daher auf diese Weise beträchtlich bequemer beantworten als nach der etwas umständlichen Methode, die ich seinerzeit in den oben zitierten Arbeiten anwandte.

Eine experimentelle Prüfung, ob die hier theoretisch abgeleitete Charakteristik in natürlich ionisierter Luft tatsächlich mit genügender Annäherung gilt und eine Anwendung im eben erwähnten Sinne gestattet, wird in der nachfolgenden Arbeit von W. Schlenck<sup>1</sup> ausgeführt.

#### 4. Zusammenfassung.

Es wird zunächst kurz rekapituliert: 1. Die alte Näherungsformel J. J. Thomson's für die Stromspannungscharakteristik in einem ionisierten Gase. 2. Die bereits experimentell geprüfte »lineare« Wiedervereinigungsformel, die in einem schwach ionisierten Gase mit größerem Gehalt an Adsorptionskernen gilt. 3. Es wird die Charakteristik bei linearer Wiedervereinigung berechnet und Proportionalität zwischen Leitfähigkeit und Sättigungsdefizit des Stromes abgeleitet sowie der Begriff der »Halbierungsspannung« (50% Sättigung entsprechend) eingeführt. Es wird auf die Anwendbarkeit für lufterlektrische Messungen hingewiesen.

<sup>1</sup> W. Schlenck, Diese Sitzungsber., 133, p. 29.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: [133\\_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Schweidler Egon Ritter von

Artikel/Article: [Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität Nr. 65. Über die Charakteristik des Stromes in schwach ionisierten Gasen. 23-27](#)