

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Bildung der Erdalkaliperoxyde

Engler, Carl

Heidelberg, 1910

Zur Kenntnis der Elektrizitätsträger in Gasen [...]

[urn:nbn:de:bsz:31-289891](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289891)

Sitzungsberichte
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften
Stiftung Heinrich Lanz
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

=====
Jahrgang 1909. 4. Abhandlung. =====

Zur Kenntnis der Elektrizitätsträger
in Gasen:

Über die durch Kathodenstrahlen
erzeugten Elektrizitätsträger

[ugns t] von [ans]
A. BECKER und H. BAERWALD

(Aus dem Radiologischen Institut der Universität Heidelberg)

Eingegangen am 25. November 1909

Vorgelegt von P. Lenard



Heidelberg 1909

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags-Nr. 388.

Fachbereich
für Humanwissenschaften
Kulturwissenschaften
Kulturwissenschaften

Zur Kenntnis der
in
Über die durch
erzeugten

LEONARD

der



In einer vorhergehenden Untersuchung¹⁾ des einen von uns ist gezeigt worden, daß die Träger der Quecksilberfall-
elektrizität ebenso wie die von Herrn ASELMANN²⁾ studierten,
durch fallende Flüssigkeiten — Wasser und Kochsalzlösungen
— in Luft erzeugten Träger keine einheitliche Wanderungs-
geschwindigkeit im elektrischen Felde besitzen, und die Be-
obachtung der zeitlichen Abnahme ihrer Beweglichkeit hat es
wahrscheinlich gemacht, daß die Ursache der Existenz ver-
schieden beweglicher Träger nicht lediglich in den besonderen
Erzeugungsbedingungen, sondern auch in einer zeitlich zunehmen-
den Komplexbildung der Gasmoleküle unter der Wirkung der von
der elektrischen Ladung der Träger herrührenden Attraktions-
kräfte liege. Sind an der beobachteten Komplexbildung, wie
nach dem Ausfall besonderer Versuche über den etwaigen Ein-
fluß fremder Bestandteile anzunehmen war, lediglich die Mole-
küle des Gases beteiligt, so würde sie als eine allgemeine,
bisher nicht beachtete³⁾ Erscheinung in leitenden Gasen zu
vermuten sein, deren Kenntnis für die Deutung aller Messungen
der Eigenschaften von Elektrizitätsträgern in Gasen neue Ge-
sichtspunkte liefern würde. Sie würde insbesondere allgemein
gegen die bisherige Annahme der Unveränderlichkeit einmal ge-
bildeter und weiterhin sich selbst überlassener Träger sprechen
und, wie es scheint entgegen der bisherigen Beobachtung, er-
warten lassen, daß in allen Fällen jede im Augenblick der

1) A. BECKER, *Ann. d. Phys.*, im Druck.

2) E. ASELMANN, Diss. Kiel 1905 und *Ann. d. Phys.* 19, p. 960. 1906.

3) Die bisherigen Vorstellungen über die Konstitution der Elektrizitäts-
träger, zu denen die früheren Messungen der Trägereigenschaften geführt haben,
sehen zwar auch die unter gewöhnlichen Verhältnissen in Gasen gebildeten
Träger als kleine Komplexe der Moleküle des Gases mit geladenem Kernmolekül
an, die sie aber als zeitlich konstant und für alle Träger von einheitlicher Größe
betrachten. Eine direkte Beobachtung einer Komplexbildung war bisher noch
nicht gemacht.

Trägerbildung etwa bestehende Einheitlichkeit der Beweglichkeit verschwinden würde, sofern nicht alle Träger im gleichen Maße an der Komplexbildung beteiligt oder zu gleicher Zeit nach ihrer Bildung gemessen würden.

Die gegenwärtige Arbeit sucht in dieser Richtung Aufschluß zu geben. Sie betrachtet eingehend und unter reinsten Versuchsbedingungen die bisher noch nicht studierten Eigenschaften der durch Kathodenstrahlen einer LENARD'schen Röhre in verschiedenen völlig trockenen und staubfreien Gasen von Atmosphärendruck erzeugten Elektrizitätsträger. Die mit Hilfe des früher benutzten, in seiner Wirkungsweise damals und in weiterer Verfolgung auch jetzt erneut studierten Zylinderkondensators gewonnenen Messungen der Beweglichkeit der Träger lassen zusammen mit entsprechenden Diffusions- und Rekombinationsbeobachtungen tatsächlich auch im vorliegenden Fall im Sinne obiger Vermutung die gleichzeitige Existenz von Trägern sehr verschiedener Beweglichkeit und deutlich ausgeprägte zeitliche Abnahme der letzteren erkennen. Für die Deutung dieser Erscheinung durch Komplexbildung der Gasmoleküle sprechen weiterhin besondere Untersuchungen über den Einfluß elektrischer Wechselfelder auf die beobachtbaren Eigenschaften der Träger, die eine Beweglichkeitszunahme der letzteren in solchen Feldern und damit nach unserer Vorstellung die Möglichkeit einer Lostrennung eines Teils der adhärierenden Moleküle andeuten.

Die Erscheinung der zeitlich verfolgbaren Komplexbildung ist nach dem Ausfall dieser neuen Versuche wohl als ein allgemeiner Vorgang in elektrisch leitenden Gasen zu betrachten, so daß Angaben über die Wanderungsgeschwindigkeit von Trägern nur bei gleichzeitiger Kenntnis ihres Alters untereinander vergleichbar werden. Die vielfachen Diskrepanzen in den Angaben früherer Beobachter finden hierdurch vielleicht zum Teil ihre Erklärung.

Wenn die älteren Messungen keine der hier geäußerten Vorstellung entsprechende Erscheinung gezeigt zu haben scheinen, so dürfte für den größten Teil derselben der Grund darin zu vermuten sein, daß sie die Trägereigenschaften unmittelbar bei ihrer Bildung wiedergeben, wo auch unsere neuen Versuche weit überwiegend nur sehr schnelle Träger erwarten lassen. In den anderen Fällen hat wohl die meist bestehende

Inkonstanz der Erzeugungsbedingungen der Träger, deren Einfluß auf die Messung in gegenwärtiger Arbeit durch Benutzung einer im folgenden näher zu beschreibenden Kontrollvorrichtung ausgeschaltet ist, exakte Angaben verhindert.

1. [12.]⁴⁾ Die Versuchsanordnung wird in ihren wesentlichen Teilen durch beistehende Fig. 1 wiedergegeben. Die mit

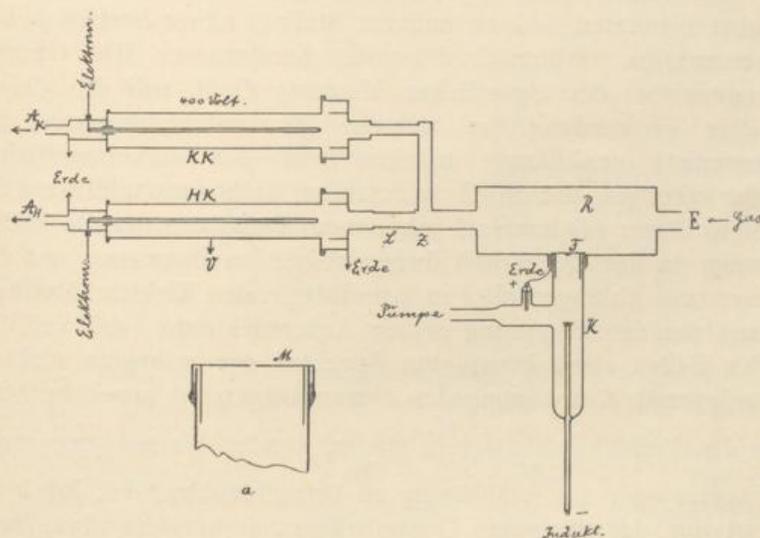


Fig. 1.

Hilfe eines Induktoriums in der Entladungsröhre $K^5)$ erzeugten Kathodenstrahlen treten durch das Aluminiumfenster F der Röhre in den zylindrischen Raum $R^6)$ ein, durch welchen das zu untersuchende Gas (Kohlensäure und Sauerstoff), nach Passieren zweier Phosphorpentoxyd enthaltender Trockenröhren und zweier Wattefilter bei E eintretend, in kontinuierlichem,

⁴⁾ Die Absatznumerierung der vorhergehend erwähnten Arbeit (A. BECKER, *Ann. d. Phys.*) ist zwecks leichter Bezugsnahme auf diese hier fortgesetzt.

⁵⁾ Dieselbe ist an ihrem Vorderende durch eine Metallkappe M der in Fig. 1a veranschaulichten Form verschlossen, die den vorderen Teil der Innenwand der Glasröhre metallisch umkleidet und deshalb negative Aufladung dieses Teils verhindert. Die bei längerer Benutzung der Kathodenröhre früher verwandter Konstruktion (mit vorn eingeschmolzenen Platinröhrchen; vgl. z. B. A. BECKER, *Ann. d. Phys.* 17, pag. 389, 1905) störend auftretende allmähliche Abnahme der das Fenster verlassenden Strahlenmenge fällt hier fort.

⁶⁾ Von 6 cm Durchmesser und 19 cm Länge.

gleichmäßigem Strome hindurchgeführt wird. Dieser Gasstrom führt die durch die Kathodenstrahlen in R gebildeten Elektrizitätsträger der aus den beiden Teilen HK und KK bestehenden Meßanordnung zu, die er bei A_K und A_H verläßt, um über je einen hinter A_K und A_H angeschalteten Gasmesser ins Freie zu treten.

Als Meßapparate dienen zwei Zylinderkondensatoren der früher benutzten und an anderer Stelle⁷⁾ näher beschriebenen Konstruktion. Während der eine Kondensator HK (Hauptkondensator) der eigentlichen Messung dient, soll die gleichzeitige Verwendung des anderen (Kontrollkondensators) die Messung⁸⁾ unabhängig machen von den unvermeidlichen Schwankungen der in R wirksamen Kathodenstrahlintensität. Sofern dieser bei konstant erhaltenem Verhältnis der die beiden Zweige in der Zeiteinheit durchströmenden Gasmenge und bei einer zum Abfangen aller in ihn eintretenden Elektrizitätsträger ausreichenden Spannung seiner Außenelektrode (400 Volt) in allen Fällen einen konstanten Bruchteil der erzeugten und am Zweigpunkt Z ankommenden Gesamtträgerzahl anzeigen wird, ist das Verhältnis $\frac{i_H}{i_K}$ der in beiden Kondensatoren gemessenen Trägermengen als unabhängig zu betrachten von der durch die Variation der erzeugten Gesamtträgerzahl herrührenden Änderung der absoluten Größe der Einzelwerte und demnach bei Konstanthaltung der Bedingungen an der Kontrollvorrichtung als exaktes Maß für den Einfluß einer beliebigen Variation im Hauptkondensatorzweig auf das Meßergebnis in diesem anzusehen. Die folgende Tabelle mag als Beispiel dienen für die Größe der mit der Kontrollanordnung in gegenwärtiger Untersuchung im Durchschnitt erreichten Meßgenauigkeit, die im übrigen aus den einzelnen Kurvenzeichnungen zu ersehen ist.

Um unkontrollierbare Trägerverluste durch etwa ungewollt auftretende statische Ladungen innerhalb der von dem leitenden Gas durchströmten Apparateile auszuschließen, sind diese durchweg aus Messing angefertigt und gut geerdet.

⁷⁾ A. BECKER, *Zeitschr. f. Instr.-Kunde* 29, p. 258. 1909.

⁸⁾ Die Innenelektroden beider Kondensatoren stehen zu diesem Zweck durch getrennte, elektrostatisch geschützte Leitungen mit je einem Quadrantenelektrometer in Verbindung. Die erhaltenen Ablesungen werden jeweils auf gleiche Empfindlichkeit beider Elektrometer umgerechnet.

Tab. I.
Spannung am Kontrollkondensator + 400 Volt.

Spannung am Hauptkondensator	Elektrometerangaben		$\frac{i_H}{i_K}$
	i_H	i_K	
Volt	cm	cm	
+ 10	3.0	11.1	0.27
	3.9	12.8	0.30
	3.3	11.4	0.29
	4.7	16.2	0.29
+ 140	5.6	10.8	0.52
	8.8	18.5	0.48
	7.2	15.0	0.48
	8.7	17.9	0.49
	11.0	21.3	0.50
	4.5	8.5	0.53

Die Konstanz der Geschwindigkeit der die Träger erzeugenden Kathodenstrahlen wurde gewahrt unter Zuhilfenahme einer zur Kathodenröhre parallel geschalteten Funkenstrecke mit Kugelelektroden von 1 cm Durchmesser. Wir haben die Trägerbildung für zwei verschiedene Strahlgeschwindigkeiten — entsprechend einer Funkenschlagweite von 2 und 3 cm — verfolgt.

Die Messung geschah in der Weise, daß zunächst bei kontinuierlich mit bekannter Geschwindigkeit strömendem Gas (von einer käuflichen Bombe kommend) die Innenelektroden beider Kondensatoren mit ihren Elektrometern nach vorheriger Erdung isoliert wurden, dann durch Betätigung eines automatisch wirkenden Unterbrechers 10—20 Entladungen erzeugt, die durch die fortgeführten Träger hervorgerufenen Elektrometernaufladungen i_H und i_K , die nach Aufhören der Entladungen einen konstanten Endwert erreichen, ermittelt und hieraus die den späteren Aussagen zugrunde zu legenden Quotienten i_H/i_K gebildet wurden.

2. [13.] Es werde zunächst die Wanderungsgeschwindigkeit der Träger in Kohlensäure möglichst kurz nach deren Bildung betrachtet. Der Hauptkondensator war hierfür an R durch Vermittlung einer 20 cm langen, 1.7 cm weiten

Messingröhre angeschlossen⁹⁾, während die in allen Versuchen konstant gehaltene Rohrzuführung von Z zum Kontrollkondensator ebenfalls 20 cm Länge und 1.7 cm Weite besaß. Das Gas durchströmte den Hauptkondensator konstant mit 40 ccm/Sek. Die folgende Tabelle enthält die Ergebnisse einiger Versuchsreihen über die beobachtete Abhängigkeit der Aufladung der Innenelektrode des Hauptkondensators von der Spannung¹⁰⁾ an seiner Außenelektrode sowohl für die positiven als auch die negativen Elektrizitätsträger und für die beiden verschiedenen Kathodenstrahlgeschwindigkeiten.

Tab. II.

Kohlensäure. Spannung am Kontrollkondensator 400 Volt.

Spannung am Haupt- Kondensator	i_H/i_K							
	3 cm Schlagweite				2 cm Schlagweite			
	-	o	+	×	-	.	+	+
Volt								
0	0.07		-0.04		0.03			-0.01
2	0.26	0.20	+0.21		0.31	0.28		+0.27 0.32
4	0.26	0.32	0.27	0.29	0.38	0.34		0.30
6	0.33	0.36	0.41	0.38				0.40 0.38
			0.35					
8	0.43	0.40	0.42		0.46			0.44
10	0.48	0.44	0.50	0.46	0.47			
20	0.62	0.56	0.63	0.58	0.61	0.59		0.60 0.62
40	0.67	0.62	0.65	0.64	0.66			0.68 0.65
	0.64							
60	0.66	0.68	0.69	0.64	0.65	0.63		0.67 0.70
80	0.64	0.655	0.69		0.72			0.71
100	0.69	0.66	0.71	0.65	0.67	0.72		0.64 0.73
			0.63					
	0.675							
120	0.66	0.68	0.67		0.69			0.72 0.65

Die beifolgende Fig. 2 gibt den Inhalt der Tabelle graphisch wieder. Die einzelnen Daten sind, soweit dies möglich war,

⁹⁾ Die von der Erzeugung der Träger bis zu ihrem Eintritt in den Meßapparat verstreichende Zeit beträgt in diesem Fall nach direkter Beobachtung etwa 1 Sekunde.

¹⁰⁾ Dieselbe liefert in allen Fällen eine Batterie von Hochspannungsakkumulatoren.

mit den am Kopf jeder Kolumne angegebenen Zeichen eingetragen.

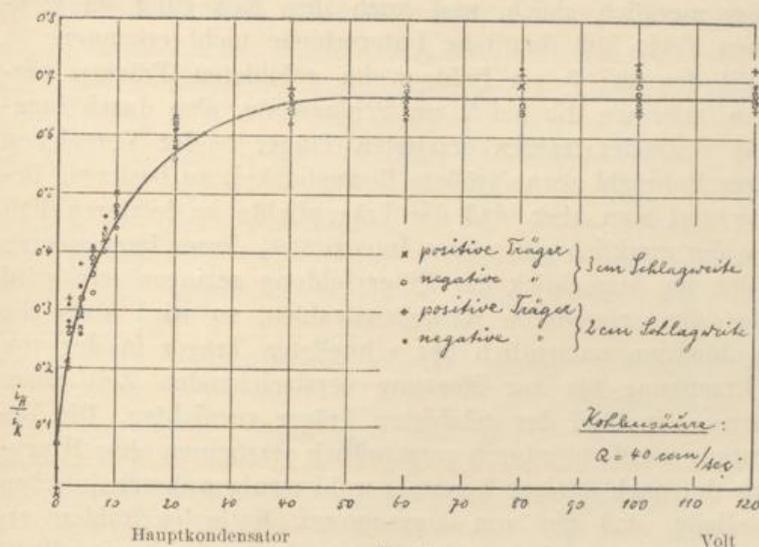


Fig. 2.

Der für den Fall einheitlicher Wanderungsgeschwindigkeit geforderte proportionale Zusammenhang zwischen i_H und der angelegten Spannung (vgl. [2]) ist hier ebensowenig zu erkennen wie bei den Trägern der Quecksilberfallelektrizität. Das Ergebnis der früheren Untersuchung legt es nahe, auch im gegenwärtigen Fall als Ursache der beobachteten Kurvenkrümmung die gleichzeitige Gegenwart von Trägern verschiedener Beweglichkeit zu betrachten.

Im Sinne dieser Vorstellung, deren Berechtigung im folgenden (4) noch näher geprüft werden soll, würde der steile Anstieg der Kurve bei niedrigen Spannungswerten schließen lassen, daß relativ schnelle Träger in großer Überzahl vorhanden sind; es würden sich aber auch, wenn auch in geringerer Menge, langsam wandernde Träger finden, die erst bei etwa 50 Volt im Kondensator vollständig abgefangen werden.

Der Vergleich der Ergebnisse für positive und negative Träger läßt erkennen, daß letztere schneller zu diffundieren scheinen als die ersteren, da sie in allen Fällen bei Abwesenheit äußerer Kräfte der Stabelektrode negative Ladung zuführen. Dies stimmt mit den Angaben älterer Beobachter über-

ein. Die Gesamtmenge der unter gleichen Verhältnissen den Hauptkondensator erreichenden Träger zeigt sich für beide Vorzeichen merklich gleich, und auch ihre Bewegung im elektrischen Felde läßt deutliche Unterschiede nicht erkennen.

Mit den bei 3 cm Schlagweite gebildeten Trägern verglichen, scheinen die bei 2 cm Schlagweite, also durch langsamere Kathodenstrahlen erzeugten Träger beider Vorzeichen in ihrer Mehrzahl etwas größere Beweglichkeit zu besitzen. Berücksichtigt man aber, daß die Trägerdichte im letzteren Fall wegen der merklich geringeren Intensität¹¹⁾ dieser langsameren Strahlen im Augenblick der Trägerbildung geringer sein wird als bei den schnelleren Kathodenstrahlen, so wird auch die Rekombination namentlich der schnellsten Träger in der von der Erzeugung bis zur Messung verstreichenden Zeit einen kleineren Bruchteil der gebildeten Träger vernichten. Die Beobachtung würde hierdurch verständlich erscheinen ohne Hinzunahme der nach jetziger Kenntnis wohl wenig wahrscheinlichen Vorstellung, daß die von langsameren Kathodenstrahlen erzeugten Träger merklich andere Eigenschaften besitzen sollten, als die von schnelleren Strahlen erzeugten.

3. [14]. Es werde jetzt der Einfluß einer Variation der zwischen Bildung und Messung der Träger verstreichenden Zeit auf die mittels des Zylinderkondensators feststellbaren Verhältnisse betrachtet. Wir haben zu diesem Zweck die kurze Verbindungsrohre L zwischen Z und dem Hauptkondensator (Fig. 1) durch längere Röhren verschiedener Dimension ersetzt und unter durchgehender Konstanthaltung der Geschwindigkeit der Gasströmung in beiden Kondensatorzweigen und unter Wahrung der beschriebenen Meßweise für jeden Fall den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung im Hauptkondensator ermittelt. Die mit zwei Zwischenröhren von je 64 cm Länge und 2'4 bzw. 5'0 cm Weite für Kohlensäure erhaltenen Resultate finden sich in Zusammenfassung durch die beiden Kurven b und c beifolgender Fig. 3 wiedergegeben zusammen mit der die Fig. 2 reproduzierenden Kurve a. Wir beschränken uns hierbei auf die Wiedergabe der für die durch die schnelleren Kathodenstrahlen (3 cm Schlagweite) erzeugten positiven (x) und negativen (o) Träger beobachteten

¹¹⁾ Die zur Erreichung günstiger Ausschläge notwendige Zahl der Entladungen war hier wesentlich zu steigern.

Verhältnisse, da die durch die langsameren Kathodenstrahlen (2 cm Schlagweite) gebildeten Träger hiervon nur kleine Abweichungen in dem schon oben besprochenen Sinne zeigen.

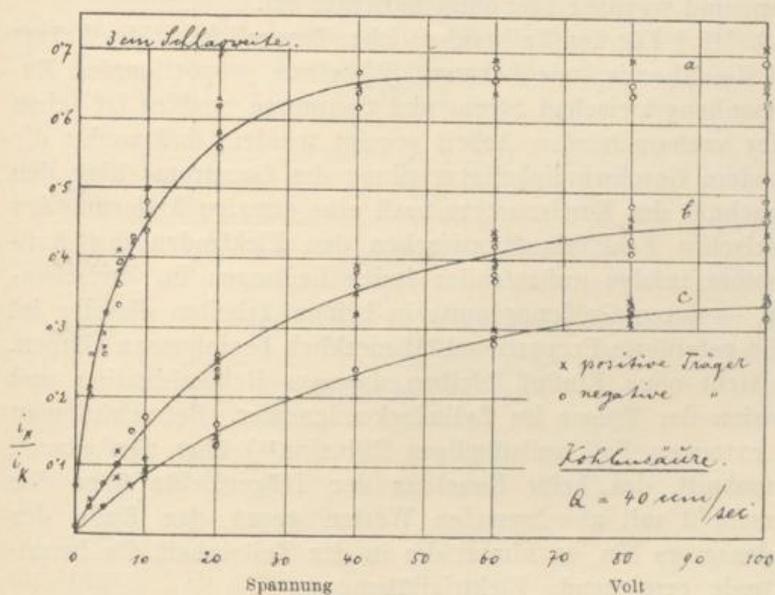


Fig. 3.

Die Kurven sind direkt miteinander vergleichbar. Sie charakterisieren drei Zustände des leitenden Gases: a) etwa 1 Sekunde, b) ca. 6 Sekunden und c) ca. 20 Sekunden nach der Trägerbildung. Man erkennt deutlich neben der durch Diffusion und Rekombination¹²⁾ der Träger verursachten zeitlichen Abnahme der Stromwerte ein Hinausrücken des Maximums der Kurven nach höheren Spannungswerten, wie es schon für die Träger der Quecksilberfallelektrizität beobachtet und im Sinne einer zeitlich zunehmenden Beweglichkeitsverringering der Träger gedeutet worden ist.

Daß hier tatsächlich ein Hinweis auf besondere Eigenschaften der elektrischen Bestandteile des leitenden Gases besteht, läßt diese erneute Beobachtung jetzt völlig zweifellos erscheinen, da jegliche Mitwirkung fremder Bestandteile im gegenwärtigen Falle von vornherein ausgeschlossen erscheint. Daß außerdem äußere Ursachen, wie etwa die besonderen Vor-

¹²⁾ Näheres hierüber siehe im folgenden.

gänge im Meßinstrument, unsere Beobachtungen nicht zu erklären vermögen, zeigen eingehende Untersuchungen, die wir im Anschluß an frühere Betrachtungen zu dieser Frage ausgeführt haben, und worüber hier kurz berichtet sei.

4. [15.] Für den Fall einheitlicher Beweglichkeit der Träger lehrt die Theorie, wie bekannt [2], einen proportionalen Zusammenhang zwischen Strom und Spannung, und es ist schon in der vorhergehenden Arbeit gezeigt worden, daß weder die besondere Geschwindigkeitsverteilung des Gasstroms über den Querschnitt des Kondensators noch eine etwaige Änderung des elektrischen Feldverlaufs zwischen den Elektroden des Kondensators infolge auftretender freier Ladungen im Zwischenraum — deren Größenordnung in beiden Arbeiten dieselbe ist — die geforderte Proportionalität merklich beeinflussen können.

Nicht ohne Einfluß bleiben dagegen Rekombination und Diffusion der Träger im Zylinderkondensator. Betrachtet man den extremen Fall vollständiger Diffusion¹³⁾ über den ganzen Querschnitt, das heißt Konstanz der Trägerdichte über den Querschnitt mit abnehmenden Werten gegen das Ende des Kondensators hin, so nimmt die in der Zeiteinheit die Innenelektrode erreichende Elektrizitätsmenge

$$J = \frac{2\pi\omega\epsilon V}{\log \gamma_n/\gamma_i} \int_0^l N dx$$

den Wert

$$J = \frac{\epsilon \cdot \left(Q_{\gamma_i}^{\gamma_n}\right)^2}{1\pi\alpha(\gamma_n^2 - \gamma_i^2)} \frac{V}{V_{\gamma_n}} \log \left\{ 1 + \frac{1\pi\alpha(\gamma_n^2 - \gamma_i^2)N_0}{Q_{\gamma_i}^{\gamma_n}} \cdot \frac{V_{\gamma_n}}{V} \left(1 - e^{-\frac{V}{V_{\gamma_n}}}\right) \right\}$$

an, wo $Q_{\gamma_i}^{\gamma_n}$ die in der Zeiteinheit den Kondensator durchströmende Gasmenge ist, N_0 die Trägerdichte beim Eintritt des Gases in den Kondensator, α der Rekombinationskoeffizient und V_{γ_n} diejenige Spannung, bei welcher bei Abwesenheit von Diffusion und Rekombination gerade Sättigungsstrom erreicht würde.

¹³⁾ Vgl. F. HARMS, Habilitationsschrift, Würzburg 1904.

Die Fig. 4 enthält eine Zusammenstellung des hierdurch gegebenen Zusammenhangs zwischen J und $\frac{V}{V_{\tau_a}}$ mit entsprechenden Ergebnissen direkter Beobachtung. Speziell werde die durch die Kurven a und b der Fig. 3 zum Ausdruck gebrachte Beobachtung mit den Aussagen obiger Gleichung verglichen und untersucht, wie weit deren Abweichung von der Geradlinigkeit

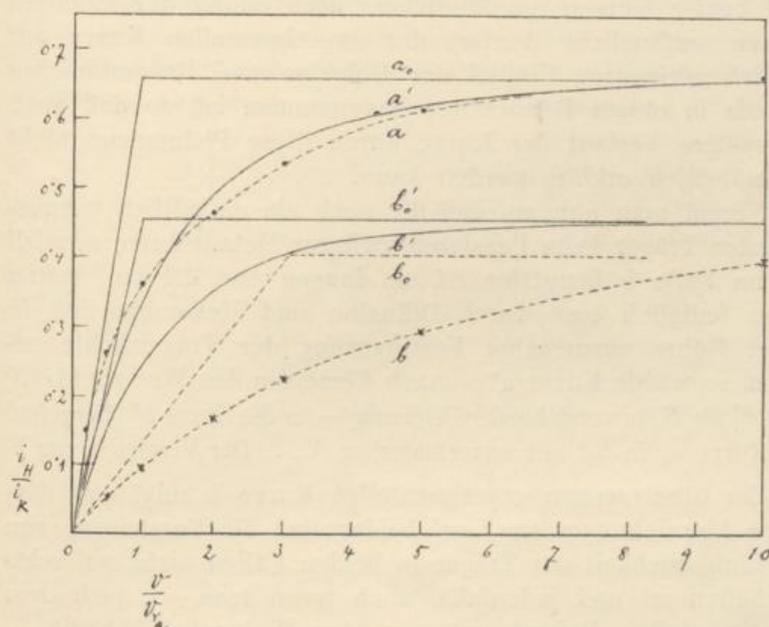


Fig. 4.

lediglich durch die oben besprochenen Vorgänge im Zylinderkondensator etwa zu erklären wären. Nimmt N_0 zunächst den Wert 3×10^5 [cm^{-3}] an, wie er in dem durch Kurve a (Fig. 3) dargestellten Fall beobachtet wurde, so führt vorstehende Gleichung nach Einsetzen der entsprechenden Konstanten¹⁴⁾ zur Kurve a' (Fig. 4), während im Falle völliger Ab-

¹⁴⁾ Es ist zu setzen $Q_{\tau_1}^{\tau_a} = 40 \text{ cm}^2/\text{sec}$, $l = 19.5 \text{ cm}$, $\tau_a = 1.1 \text{ cm}$, $\tau_1 = 0.3 \text{ cm}$, und für α haben wir den für Träger in anderen Fällen mehrfach gefundenen Wert 2×10^{-6} (vgl. z. B. A. SCHUSTER, *Mem. and Proc. Manch. Lit. and Philos. Soc.* 48, Nr. 12, 1904; MC CLUNG, *Phil. Mag.* (6) 3, p. 283, 1902) gesetzt.

wesenheit von Diffusion und Rekombination Kurve a_0 zu erwarten wäre. Die gegenseitige Beziehung beider ließe aus dem anfänglichen Anstieg der experimentellen Kurve a (Fig. 3) — einheitliche Wanderungsgeschwindigkeit aller Träger vorausgesetzt — für V_{γ_a} den Wert 5.5 Volt¹⁵⁾ folgern, mit dessen Hilfe sich die beobachtete Kurve zwecks quantitativen Vergleichs mit a' nach Fig. 4 übertragen läßt. Wie man erkennt, ist der Lauf beider Kurven ein ähnlicher; doch deutet der merklich stärkere anfängliche Anstieg der experimentellen Kurve auf deutlich geringeren Einfluß der Diffusion und Rekombination hin, als in obiger Betrachtung angenommen ist, so daß auch der spätere Verlauf der Kurve durch diese Phänomene nicht ausschließlich erklärt werden kann.

Nimmt man nun an, daß die noch als einheitlich vorausgesetzten Träger beim Passieren weiterer Metallröhren, speziell der im Falle b benutzten 64 cm langen und 2.4 cm weiten Röhre lediglich eine durch Diffusion und Rekombination in dieser Röhre verursachte Verringerung der Trägerdichte erleiden, so würde Kurve a' — nach Einsetzen des Werts $2,14 \cdot 10^5$ [cm^{-3}] für N_0 in vorstehende Gleichung — in die Kurve b' übergehen und Kurve a_0 in b_0' mit unverändertem V_{γ_a} . Der Vergleich von b' mit der übertragenen experimentellen Kurve b zeigt nun derartige Abweichungen im Lauf beider, daß die Vorstellung von der Einheitlichkeit der Träger in beiden Fällen nicht aufrechtzuerhalten ist und jedenfalls, auch wenn man — nach dem experimentellen Befund entgegen der Wahrscheinlichkeit — Einheitlichkeit noch innerhalb jedes Einzelfalls festhalten wollte, merklich geringere Trägerbeweglichkeit¹⁶⁾ für den zweiten Fall anzunehmen wäre.¹⁷⁾

Führt hiernach schon der anfängliche Verlauf der beobachteten Kurve (b und c) zu der Vorstellung einer Beweglichkeitsverringering der Träger, so erkennt man leicht, daß auch der in gleichem Sinne gedeutete spätere Anstieg der Kurven nicht etwa durch einen Einfluß einer Verringerung des Wertes

¹⁵⁾ Die Wanderungsgeschwindigkeit der Träger wäre hiernach 0.08 cm/sec für 1 Volt/cm.

¹⁶⁾ Worauf vornehmlich die Neigung der im Koordinatenanfangspunkt an b zu legende Tangente hinweist.

¹⁷⁾ Zum gleichen Resultat würde die Betrachtung der Kurve c führen.

von N_0 auf den Zusammenhang zwischen J und V/V_{T_0} zu erklären wäre, da dem mit wachsender Spannung merklich abnehmenden Verhältnis der Ordinatenwerte der experimentellen Kurven a und b eine deutliche Zunahme des entsprechenden Verhältnisses der Ordinatenwerte der Kurven a' und b' gegenübersteht.

5. [16.] Da die vorstehenden Vergleiche zwar qualitative aber keine quantitativen Angaben über die Größe der Beeinflussung des einzelnen Kurvenlaufs durch die Erscheinung der Diffusion und Rekombination der Träger im Kondensator ermöglichen, haben wir versucht, eine Entscheidung womöglich

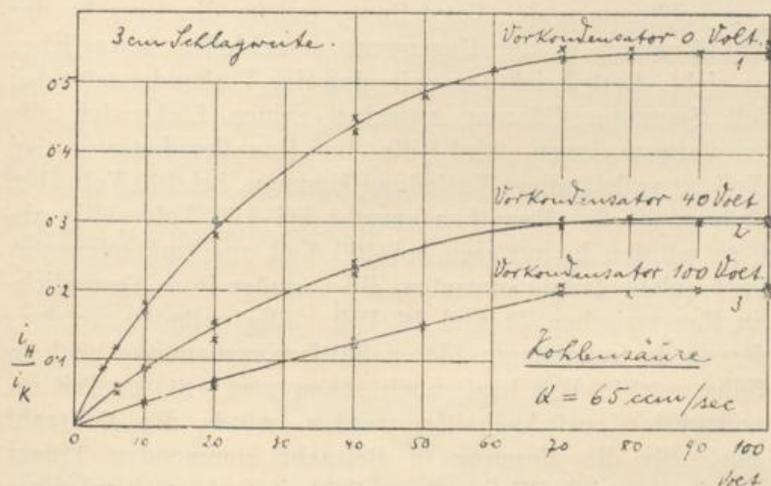


Fig. 5.

auf dem Wege des Experiments zu gewinnen, um dadurch gleichzeitig die Angaben zu prüfen, zu welchen der eine von uns auf dem Wege theoretischer Überlegung in der vorhergehenden Arbeit gelangt ist [4]. Wir haben zu diesem Zweck in die 1.7 cm weite Verbindungsröhre L zwischen dem Zweigpunkt Z und dem Hauptkondensator (Fig. 1) einen 0.7 cm dicken und 5.5 cm langen Messingstab mit abgerundeten Enden als zentrale Innenelektrode isoliert eingeführt und erneut mittels des Hauptkondensators den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung ermittelt, wenn die vorgeschaltete Elektrode auf verschieden hohe Spannung geladen war und infolgedessen jeweils einen bestimmten Teil aller Träger abging.

Das Ergebnis der Messung ist für drei verschiedene Spannungen an der Innenelektrode des Vorkondensators — 0, 40 und 100 Volt — in Fig. 5 graphisch wiedergegeben. Die Gasgeschwindigkeit war hier gegen früher etwas gesteigert (65 ccm/Sek.). Man erkennt, daß die starke Krümmung der Kurve 1 sich mit zunehmender Stärke des vorgeschalteten Feldes allmählich verliert und bei 100 Volt (Kurve 3) in nahezu völlige Geradlinigkeit übergeht.

Diese Erscheinung ist mit der Annahme eines wesentlichen Einflusses der Diffusion und Rekombination auf den Verlauf der Kurven nicht verträglich, da hiernach zwar eine Abflachung, niemals aber Geradlinigkeit zu erwarten wäre. Sie entspricht dagegen vollkommen der Vorstellung, welche die Ursache der Kurvenkrümmung in der Gegenwart verschieden beweglicher Träger sieht. Berücksichtigen wir, daß der Vorkondensator bei 40 Volt Spannungsdifferenz zwischen seinen Elektroden alle Träger vorwegnehmen wird, die im Hauptkondensator bei 16·5 Volt zu vollständiger Entladung kommen, bei 100 Volt aber alle Träger, die der Hauptkondensator bei 41·3 Volt völlig abfängt, so würden in letzteren bei 100 Volt am Vorkondensator nur noch solche Träger eintreten, die vermöge ihrer Beweglichkeit in ihm zwischen 41 und 70 Volt völlig entladen werden; da hiervon die schnelleren (deren Sättigungsspannung noch in der Nähe von 41 Volt liegt) auch schon zum größten Teil im Vorkondensator zurückgehalten werden, würde die Mehrzahl der noch für die Messung in Betracht kommenden Träger nahezu als von einheitlicher Beweglichkeit (entsprechend einer Sättigungsspannung von nahe 70 Volt) zu betrachten sein. Liefert hierfür die Beobachtung nahe völlige Geradlinigkeit für den Zusammenhang zwischen J und V , so ist der Einfluß von Diffusion und Rekombination auf die Beobachtung als nicht wesentlich zu bezeichnen in Übereinstimmung mit dem älteren Resultat der theoretischen Überlegung für Kohlensäure. Außerdem ist die Wirkungsweise des Kondensators hierdurch als völlig einwandfrei nachgewiesen.

6. [17.] Der Verlauf der Kurve 3 spricht gleichzeitig gegen die Vorstellung, welche etwa wirbelnder Gasbewegung im Zylinderkondensator einen wesentlichen Einfluß auf die Beobachtung zuschreiben wollte. Da es uns aber trotzdem nicht völlig ausgeschlossen erschien, daß die Art der Gasbewegung,

durch die Variation der zwischen Z und den Hauptkondensator eingeschalteten Röhren beeinflusst, wenn nicht für den ganzen Charakter der beobachteten Kurven, so doch für deren qualitative Abweichungen voneinander in den verschiedenen Fällen bedeutungsvoll sein könnte, haben wir eine Reihe besonderer Versuche zu dieser Frage ausgeführt, für welche mehrere Zentimeter vor dem Eintritt des Gases in den Hauptkondensator ein feindrätiges, engmaschiges Netz in die Zuführungsröhre eingesetzt war.

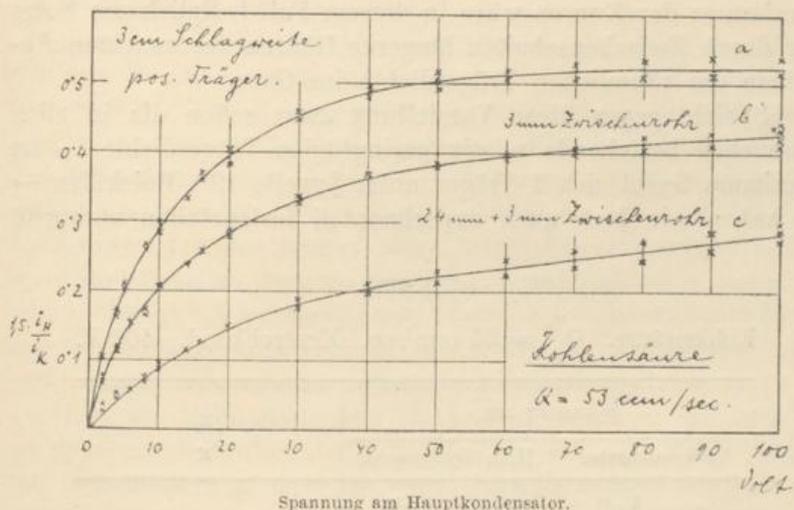


Fig. 6.

Das Beobachtungsergebnis enthält beistehende Fig. 6. Die Gasströmung (Kohlensäure) betrug hierbei 53 cm/Sek. Die durch besondere Genauigkeit der Messung sich auszeichnende Beobachtung entspricht durchaus den älteren Resultaten, wie sie ohne Netz gewonnen wurden, die Krümmung der Kurven bleibt erhalten, und insbesondere ist nach wie vor ein deutliches Hinausrücken des Sättigungswerts nach höheren Spannungen zu konstatieren, wenn dem Hauptkondensator ein 50 cm langes und 0,3 cm weites Messingrohr (Kurve b) oder hierzu noch ein weiteres Rohr von 64 cm Länge und 2,4 cm Durchmesser (Kurve c) vorgeschaltet werden.

7. [18.] Schließlich kann eine letzte Deutungsmöglichkeit für das Hinausrücken des Sättigungswerts Beachtung beanspruchen: Nimmt man nämlich nach den Beobachtungen des

Herrn ZELENY¹⁵⁾ an, daß durch die Bewegung der Träger im Kondensator Gasströmungen auftreten, so scheint es nicht unmöglich, daß die langsameren Träger, die bei Einschaltung längerer Röhren beobachtbar werden, auch schon vorher sich im leitenden Gase finden könnten, aber dadurch der Beobachtung entgehen, daß sie infolge der bei höherer Trägerdichte verstärkten Gasbewegung schon bei niedrigeren Spannungen als ihrer Sättigungsspannung entspricht, zu völliger Entladung an der Innenelektrode gelangen könnten. Das Hinausrücken des Maximums der Kurven wäre in diesem Fall lediglich die Folge der durch Zwischenschalten längerer Röhren verursachten Abnahme der räumlichen Trägerdichte im Gase.

Spricht gegen diese Vorstellung zwar schon die in allen Versuchen bestehende relativ geringfügige Trägerdichte — im Maximum findet sich 1 Träger unter jeweils 10^{14} Molekülen — so haben wir doch auch experimentell festzustellen versucht,

Tab. III.

Kohlensäure. $Q_{r_1}^{r_2} = 65$ ccm/sec. Kontrollkond. 400 V.

Spannung am		$\frac{i_H}{i_K}$
Vorkondensator	Hauptkondensator	
Volt	Volt	
0	70	0·550
	70	0·554
	100	0·543
	100	0·552
40	100	0·321
	70	0·325
	100	0·319
	70	0·324
100	100	0·200
	70	0·197
	70	0·197
	100	0·195
	100	0·201

¹⁵⁾ ZELENY, *Proc. Camb. Phil. Soc.* 10, p. 14, 1898.

ob das Hinausrücken des Strommaximums auch dann beobachtbar wird, wenn nicht die Zeit zwischen Trägerbildung und Messung, sondern lediglich die Trägermenge variiert wird. Verwendbar wurde hierfür die unter [16] beschriebene Anordnung mit Benutzung des kleinen Vorkondensators. Wie schon Fig. 5 erkennen läßt, zeigt sich keinerlei merkliche Verschiebung der Lage des Kurvenknickpunkts bei Variation der Trägerdichte im Verhältnis 0'55:0'2, und auch eingehendere Untersuchung in der Nachbarschaft der Knickstelle bestätigt dies Resultat, wie aus Tab. 3 ersichtlich wird.

Eine Variation der Trägerdichte vermag hiernach unsere Beobachtung nicht merklich zu beeinflussen.

8. [19.] Scheint hiernach in der Methode der Untersuchung kein ersichtlicher Einwand gegen die Deutung der Ergebnisse durch Annahme der Gegenwart von Trägern verschiedener Beweglichkeit nebeneinander und merklicher innerhalb kurzer Zeiträume nach der Trägerbildung verfolgbare Beweglichkeitsabnahme derselben sich zu finden, so haben wir doch versucht, durch nähere Betrachtung der sich aus unserer Vorstellung ergebenden Konsequenzen für das Verhalten der Träger diese Vorstellung weiterhin zu prüfen.

9. [20.] Anhaltspunkte bietet hier zunächst die Untersuchung der Diffusion der Träger im leitenden Gase. Unter der Voraussetzung, daß der beim Durchströmen der 3 mm weiten und 50 cm langen Messingröhre beobachtbare Trägerverlust zum überwiegenden Teil die Folge der Trägerdiffusion in der Röhre sei, läßt sich hieraus mit Benutzung der von Herrn TOWNSEND¹⁹⁾ gegebenen Gleichung (14) der Diffusionskoeffizient der vornehmlich an der Diffusion beteiligten Träger entnehmen. Das Verhältnis $\frac{0'525}{0'430} = 1'22$ der Maximalordinaten der Kurven a und b (Fig. 6) ergibt hierfür $D = 0'012$, was, da außer der Diffusion auch zum Teil Rekombination stattfindet, als maximal möglicher Wert aufzufassen ist. Wie man erkennt, ist derselbe nicht nur wesentlich geringer als der Diffusionskoeffizient der Gasmoleküle — für die Diffusion der Kohlen säuremoleküle in Kohlensäure würde sich $D_{20^{\circ}} = 0'103$ berechnen —, sondern auch sehr merklich geringer als der von

¹⁹⁾ TOWNSEND, *Phil. Trans. A.* 193, p. 129, 1900.

anderen Beobachtern²⁰⁾ für die durch andere Strahlenarten in Kohlensäure erzeugten Elektrizitätsträger angegebene Wert $D = 0'023-0'026$. Nimmt man, der Wahrscheinlichkeit entsprechend, an, daß die in unserem Fall durch Kathodenstrahlen erzeugten Träger im Augenblick ihrer Bildung dieselben Eigenschaften besitzen, als die von anderen Strahlensorten gebildeten Träger, so würde der von uns gefundene kleinere Diffusionswert auf zeitlich rasche Veränderung der Trägerbeweglichkeit hindeuten. Auch unsere direkten Messungen sprechen jedenfalls für die Gegenwart sehr merklich verschieden beweglicher Träger kurze Zeit nach deren Erzeugung. Vergleicht man nämlich die im Hauptkondensator sich findenden Maximalwerte der Trägerintensität, wie sie mit der 2'4 cm weiten Zwischenröhre einerseits, mit dieser Röhre und der hinter dieselbe geschalteten 0'3 cm weiten Diffusionsröhre andererseits erhalten wurden, so liefert ihr Verhältnis $0'33^{21)}:0'285^{22)} = 1'158$ den gegen früher merklich kleineren Diffusionskoeffizienten $D = 0'007$. Da durch Diffusion eine Sichtung verschiedener Trägersorten zugunsten der langsamer beweglichen stattfinden müßte, ist dies Ergebnis als Hinweis auf die tatsächliche Existenz verschiedener Trägersorten zu betrachten. Ob diese Sorten schon von vornherein im Gase vorhanden waren oder erst infolge zeitlicher Veränderung in den durchströmten Apparateilen gebildet wurden, vermag diese Diffusionsmessung allerdings nicht zu entscheiden.

10. [21.] Eine Ergänzung der Ergebnisse vorstehender, der Prüfung unserer Vorstellungen von den Trägereigenschaften dienenden Messungen ermöglicht die nähere Betrachtung der Rekombinationsvorgänge im leitenden Gase.

Nehmen wir zunächst den Inhalt der Fig. 3 zu Hilfe und betrachten wir die dort sich findende Abnahme der Maximalordinaten als im wesentlichen durch Rekombination der Träger in den verschiedenen, vom leitenden Gase durchströmten Zwischenröhren verursacht, so läßt sich hieraus die Größe des Rekombinationskoeffizienten α entnehmen. Ist N die in der Raumeinheit des Gases enthaltene Anzahl der Träger eines Vor-

²⁰⁾ Vgl. TOWNSEND, l. c.

²¹⁾ Es ist für die 2'4 cm weite Röhre nur dieser Maximalwert beobachtet worden.

²²⁾ Vgl. Kurve c Fig. 6.

zeichens zur Zeit t , so ist, wie bekannt,

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha \cdot N^2.$$

Die Integration ergibt

$$\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_0} = \alpha(t_1 - t_0) \quad \text{oder}$$

$$\alpha = \frac{N_0 - N_1}{N_0 \cdot N_1} \cdot \frac{1}{t_1 - t_0},$$

wenn N_0 bzw. N_1 die Trägerdichten zur Zeit t_0 bzw. t_1 bezeichnen.

Den Kurven a, b und c (Fig. 3) entsprechen die Trägerdichten 3×10^5 , $2,1 \times 10^5$ und $1,52 \times 10^5$ [cm^{-3}] und die Zeiten 1, 6 und 20 Sekunden (vgl. [14]).

Aus a) und b) findet sich $\alpha = 0,29 \times 10^{-6}$, aus a) und c) $\alpha = 0,17 \times 10^{-6}$ und aus b) und c) wird $\alpha = 0,13 \times 10^{-6}$. Diese noch als Maximalwerte aufzufassenden Größen sind wesentlich kleiner als die in anderen Fällen beobachteten (vgl. Anm. 14 in [15]), und die zeitliche Änderung derselben zeigt denselben Gang, wie die oben betrachteten Diffusionskoeffizienten.

Wir haben zur weiteren Untersuchung der Rekombinationsvorgänge noch eine besondere Versuchsreihe durchgeführt. Bei ruhendem Gas in der Trägererzeugungsröhre haben wir jeweils vier in Intervallen von etwa einer Sekunde sich folgende Entladungen durch die Kathodenröhre geschickt und die Träger erst nach Verstreichen einer gewissen Zeit durch den Gasstrom in die Meßanordnung übergeführt. Am Kontrollkondensator lagen wie früher 400 Volt, der Hauptkondensator war direkt hinter den Zweigpunkt 7 (Fig. 1) gesetzt und einmal auf 100, das andere Mal auf 10 Volt geladen. Tab. 4 enthält die Resultate. Die erste Kolumne verzeichnet die Zeit von der letzten Entladung bis zur Ingangsetzung des Gasstroms; durch Addition von 1 Sek. findet sich jeweils die von der letzten Entladung bis zur Messung der Träger im Hauptkondensator verstreichende Zeit. Die zweite und dritte Kolumne geben das beobachtete Verhältnis der Elektrometerausschläge von Haupt- und Kontrollkondensator für die beiden verschiedenen Ladungen des erstern; dasselbe hat sich für positive und negative Träger nicht merklich verschieden gezeigt.

Tab. IV.

Kohlensäure. 3 cm Schlagweite. Kontrollkond. 400 V.

Wartezeit	Verhältnis der Angaben HK : KK	
	HK 100 Volt	HK 10 Volt
Min.	$\frac{\text{cm}}{\text{cm}}$	$\frac{\text{cm}}{\text{cm}}$
[0]*)	22·0 : 9·5	10·2 : 6·4
0	1·6 : 1·2	0·3 : 1·25
0·16		0·2 : 1·0
0·25	0·9 : 0·85	0·1 : 0·85
0·33		0 : 0·9
0·50	0·45 : 0·55	0 : 0·55
1·0	0·4 : 0·5	
3·0	0·3 : 0·35	
10·0	0·1 : 0·15	

[0]*) bedeutet, daß in diesem Fall die Entladungen bei strömendem Gas erfolgten, während im darauffolgenden Fall die Ingangsetzung des Gasstroms zeitlich mit der letzten der vier Entladungen zusammenfällt. Man erkennt, daß unmittelbar nach erfolgter Trägerbildung — offenbar infolge großer Trägerdichte, besonders in allen Fällen, in denen ruhendes Gas der Entladung ausgesetzt wird — eine beträchtliche Abnahme der Trägerzahl stattfindet, während späterhin nur mehr geringe Verluste durch Rekombination auftreten, so daß 10 und sogar 20 Minuten nach der Trägerbildung noch eine kleine Zahl derselben mit völliger Bestimmtheit nachzuweisen ist. Von Bedeutung ist der Vergleich der bei 100 und bei 10 Volt Spannung im Hauptkondensator meßbaren Trägermenge. Während bei 100 Volt noch nach 10 Minuten deutliche Aufladung der Innenelektrode sich zeigt, ist diese bei 10 Volt schon 0·3 Minuten nach der Trägerbildung nicht mehr wahrzunehmen, obwohl der Kontrollkondensator noch die Gegenwart nicht unbeträchtlicher Trägermengen anzeigt. Das Verhältnis der Aufladung bei 100 und 10 Volt wächst sehr schnell mit der Wartezeit an, um schon nach 30 Sekunden praktisch unendlich zu werden. Dies deutet erneut und zweifelfrei an, daß mit wachsender Wartezeit immer weniger schneller bewegliche Träger in den Hauptkondensator

anfänglich in großer Überzahl vorhanden. Dieselben verschwinden mit wachsender Zeit sehr schnell, und neue langsamere Träger mit Wanderungsgeschwindigkeiten zwischen 0.8×10^{-2} und 0.35×10^{-2} cm/Sek. treten hinzu. 6 Sekunden nach der Trägerbildung ist eine weitere Beweglichkeitsabnahme nicht mehr wahrzunehmen, und es wird jede weitere Veränderung im leitenden Gas lediglich durch Diffusion und Rekombination der Träger bestimmt.

12. [23.] Ist die verschiedene Beweglichkeit der Träger die Folge mehr oder weniger starker Komplexbildung der Gas-moleküle unter der Wirkung der von den geladenen Kernen ausgeübten Attraktionskräfte, so scheint es nicht unmöglich, die gebildeten Komplexe etwa durch Anwendung äußerer Kräfte wenigstens teilweise zu zerstören. Wir haben zu dieser Frage besondere Versuche unternommen, ohne durch sie allerdings den Gegenstand schon erschöpft zu haben. Soweit wir sehen, sind sie in dem erwarteten Sinne zu deuten.

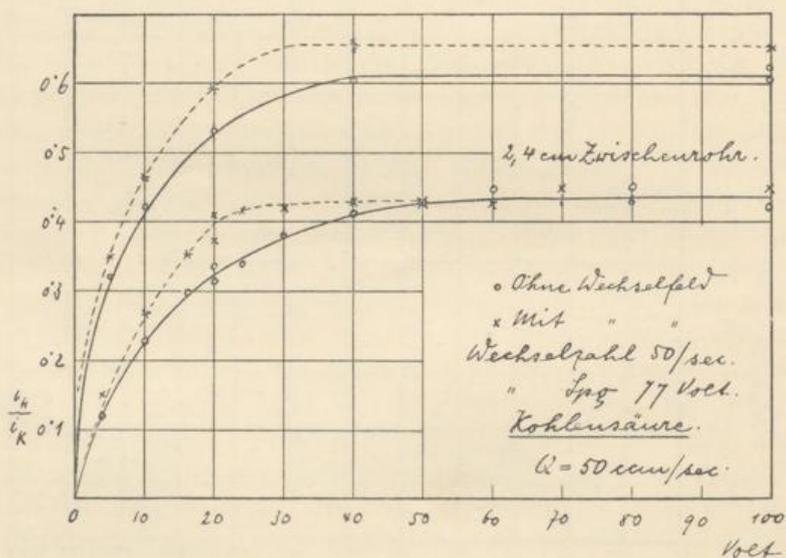


Fig. 8.

Vor ihrem Eintritt in den Hauptkondensator haben wir die Träger durch ein elektrisches Wechselfeld geschickt und — wieder mit Zuhilfenahme eines zweiten Kondensators als Kontrollinstrument — untersucht, ob sich ein Einfluß dieses

Feldes auf die Wanderungsgeschwindigkeit der Träger im Hauptkondensator nachweisen ließe. Erzeugt wurde das Feld mittels eines Gleichstrom-Wechselstrom-Umformers mit variierbarer Wechselzahl und Spannung zwischen zwei in etwa 2,5 cm einander gegenübergestellten Metallplatten von 2,5 cm Breite und 5 cm Länge, die isoliert und mit ihrer Fläche parallel zur Längsachse in eine 5 cm weite und 12 cm lange Messingröhre eingesetzt wurden, die das leitende Gas normal zur Richtung der elektrischen Kraft zu passieren hatte. Als Versuchsgase wurden Kohlensäure und Sauerstoff verwandt.

Die beistehende Fig. 8 gibt für Kohlensäure die Resultate. Im ersten Falle durchströmt das Gas vom Zweigpunkt Z (Fig. 1) aus die genannte Röhre für das Wechselfeld und tritt unmittelbar danach in den Hauptkondensator ein; im zweiten Falle ist zwischen Zweigpunkt und Wechselfeldröhre die früher benutzte Messingröhre von 2,4 cm Weite und 64 cm Länge geschaltet. Die mit und ohne angelegtes Wechselfeld gemachten Beobachtungen sind direkt miteinander vergleichbar.

In beiden Fällen ist unter der Wirkung des Wechselfelds ein deutlich stärkerer Anstieg der Kurve zu erkennen, deren Maximalwerte im ersten Falle die ohne Wechselfeld erhaltenen etwas überschreiten, im letzteren dagegen ungeändert lassen. Während hier demnach die Gesamtträgerzahl, die den Kondensator betritt, keine Veränderung zu erfahren scheint, kommen dort zu den ohne Wechselfeld beobachtbaren Trägern neue in geringer Zahl hinzu. Die in beiden Fällen auftretenden schnelleren Träger können im ersteren teilweise lediglich infolge besonderer Begünstigung durch das Wechselfeld der Messung erhalten werden, im letzteren dagegen nur auf Kosten langsamerer Träger entstanden sein, so daß hier tatsächlich eine Andeutung für eine teilweise Zerstörung größerer Molekülkomplexe durch das Wechselfeld vorliegt. Das scheinbar widersprechende Ergebnis im ersteren Falle wird verständlich, wenn man beachtet, daß die Rekombination der Träger — namentlich der schnelleren — während ihres Durchtritts durch das Wechselfeld durch dieses im Durchschnitt erschwert wird, und daß dieser Einfluß, der dem Kondensator schnelle Träger erhält, relativ um so mehr von Bedeutung sein wird, je größer die diesem Einfluß unterworfenen Trägerdichte ist.

Die Abhängigkeit der Erscheinung von der Wechselzahl und Spannung des Wechselfelds läßt, soweit sie untersucht ist, schließen, daß die Wirkung des Feldes jedenfalls nicht auf dem Geschwindigkeitszuwachs der Träger im Felde, also auf besonders gesteigerter Stoßwirkung beruht.

Ganz analoge Verhältnisse lassen die Träger in Sauerstoff erkennen mit dem Unterschied, daß die Wechselfeldwirkung hier etwas weniger deutlich bleibt.

13. [24.] Durch die Gesamtheit der im vorstehenden mitgeteilten Beobachtungen ist somit die Existenz von Trägern verschiedener Beweglichkeit in leitenden Gasen und Komplexbildung der Moleküle des Gases als Ursache dieser verschiedenen Beweglichkeit als nachgewiesen zu betrachten. Für den Mechanismus der Trägerbildung in Gasen ergibt sich hier nach folgendes Bild:

Wie zuerst von Herrn LENARD²³⁾ gezeigt worden ist, ist Abspaltung eines Elementarquantums von den Molekülen des Gases als primäre Ursache der Leitfähigkeit aufzufassen, so daß die Träger im Augenblick ihrer Bildung als einzelne geladene Moleküle zu betrachten sind, was mit den Ergebnissen aller Messungen der Trägerbeweglichkeit durchaus vereinbar ist. Wie unsere neuen Beobachtungen lehren, findet nun unmittelbar nach der ersten Bildung der Träger eine rasch ablaufende zeitliche Änderung der Trägergröße statt, indem unter der Wirkung der elektrischen Attraktionskräfte der Träger neutrale Moleküle des Gases sich anlagern und Komplexe bilden, deren Stabilität den Stößen der übrigen Gasmoleküle standhält, durch verhältnismäßig schwache äußere elektrische Kräfte aber teilweise zerstört werden kann. Die Anlagerung erfolgt anfänglich sehr rasch, so daß die Beweglichkeitsverringerung der Träger schon innerhalb einer Sekunde nach der Trägerbildung von einigen cm/Sek. auf ein Hundertstel dieses Werts zu sinken und der Radius der Träger von dem eines Moleküls offenbar auf ein Vielfaches dieser Größe anzuwachsen vermag. Die nach dieser Zeit noch verfolgbare weitere Komplexbildung erreicht, wie die Beobachtung zeigt, sehr rasch einen Grenzwert. Die Verringerung der Beweglichkeit in diesem späteren Stadium fortgesetzter Komplexbildung führt für Kohlensäure im gegen-

²³⁾ P. LENARD, *Ann. d. Phys.*, 12, p. 475, 1903.

wärtigen Fall bis zu Wanderungsgeschwindigkeiten von etwa 0.35×10^{-2} cm/Sek.

Die hier konstatierte Belastung der Träger erinnert an den von Herrn KOHLRAUSCH²⁴⁾ nachgewiesenen analogen Fall der Belastung der Ionen der Elektrolyse mit Molekülen des Lösungsmittels (Wasser). Ein Unterschied besteht freilich darin, daß die Anlagerung im letzteren Falle als Ursache der Ionenbildung (als die Erklärung der „dissoziierenden Kraft“ des Lösungsmittels) erscheint, während sie in Gasen als eine nachträgliche Wirkung des Vorhandenseins der Träger aufzufassen ist.

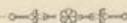
Sollte sich künftig zeigen, daß an den hier gegebenen Vorstellungen zu ändern sei, so werden diese Änderungen jedenfalls den neu erbrachten Beobachtungstatsachen zu entsprechen haben.²⁵⁾

Herrn Geheimrat LENARD sagen wir für das Interesse, das er jederzeit unserer Arbeit entgegenbringt, auch an dieser Stelle Dank.

Heidelberg, 6. November 1909.

²⁴⁾ F. KOHLRAUSCH, *Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wiss. Ber. in* 26, pag. 578, 1902.

²⁵⁾ Von den unsrigen abweichende Vorstellungen, die — da sie sich noch auf die Annahme konstanter großer Trägerbeweglichkeit in Gasen stützen — unseren Beobachtungen nicht entsprechen, haben kürzlich M. WELLSH, *Phil. Trans. A.* 209, p. 249, 1909, und W. SUTHERLAND, *Phil. Mag.* (6) 18, 1909, auf Grund theoretischer Überlegungen veröffentlicht.



C. F. Wintersche Buchdruckerei.