

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Bildung der Erdalkaliperoxyde

Engler, Carl

Heidelberg, 1910

III. Teil Über Bildung großer Elektrizitätsträger

[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 1910. 32. Abhandlung.

Über die Wirkungen sehr kurzwelligen
ultravioletten Lichtes auf Gase und über
eine sehr reiche Quelle dieses Lichtes

III. Teil

Über Bildung
großer Elektrizitätsträger

Von

P. Lenard und C. Ramsauer

(Aus dem radiologischen Institut der Universität Heidelberg)

Mit acht Abbildungen

Eingegangen am 20. Dezember 1910



Heidelberg 1910

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags-Nr. 554.

Druckschreib-
der Metallurgischen Akademie der Wissenschaften
Verlag Leipzig
Verlag von Carl Neumann, Neudamm

Über die Wirkung von kurzwelligen
ultravioletten Licht auf Gase und über
eine sehr reiche Quelle dieses Lichtes

in 721

Über Bildung großer Moleküllströmer

von

R. Lohmann u. O. Hönemann

(Aus dem physikalischen Institut der Universität Leipzig)

Leipzig, 1910

Verlag von C. Neumann, Neudamm



Metzler 1910

Carl Neumann's Universitätsbuchhandlung

Nachdem wir im ersten Teil über die neue Lichtquelle berichtet und im zweiten Teil gezeigt hatten, daß von ihr kurzwellige auf Luft wirkende und doch von derselben nicht stark absorbierte Strahlen ausgehen, benutzen wir im hier Vorliegenden diese Strahlen noch weiter, wobei es sich vor allem um die Größenermittlung der von ihnen in der Luft erzeugten Elektrizitätsträger handelt.

Den Nachweis des Entstehens sowohl sehr kleiner als auch sehr großer, äußerst langsam wandernder Elektrizitätsträger durch Licht in staubfreier Luft haben bereits frühere Untersuchungen geliefert.¹⁾ Herr S. SACHS hat außerdem gezeigt, daß sowohl die positiven als auch die negativen Träger in diesen extremen Größen, und auch in Zwischenabstufungen, durch Wirkung von Licht auf Luft entstehen.²⁾ Die Entstehung so großer Molekülkomplexe, wie diese langsam wandernden Träger es sind, im Innern einer von fremden Partikeln ursprünglich freien Gasmasse, durch Wirkung des Lichtes, ist unaufgeklärt und ist um so mehr rätselhaft, als es nach den bisherigen Beobachtungen den Anschein hat, als wären beim Aufbau dieser Komplexe nur einfache, gleichartige Gasatome beteiligt; denn die Bildung dieser großen Träger erfolgte auch in Gasen, welche nach gewöhnlicher Erfahrung für rein zu halten waren. Außer diesem Falle, wo die Träger durch Wirkung von Licht entstehen, gibt es aber auch noch andere, ebenso unaufgeklärte Fälle des Entstehens sehr großer Elektrizitätsträger, worauf wir sogleich eingehen werden.³⁾

¹⁾ P. LENARD, *Ann. d. Phys.*, Bd. 3, p. 298, 1900; vgl. auch die Zusammenstellung der bisherigen Untersuchungen im Teil II, p. 8 u. ff.

²⁾ S. SACHS, *Dissert.*, Heidelberg, 15. Juni 1910.

³⁾ Zum erstenmal wurden große, sehr langsam wandernde Träger gefunden von Herrn S. TOWNSEND in „frisch dargestellten“ Gasen (*Phil. Mag.* 45, p. 125, 1898). Der Ursprung der Ladung dieser Träger war, nach Herrn W. KÖRTERS späteren Versuchen, die schon seit 1892 eingehender untersuchte Wasserfallelektrizität (*Wied. Ann.* 69, p. 12, 1899). Der zweite aufgefundene Fall großer Träger war der, um welchen es sich hier handelt,

Betrachten wir die Entstehung von Elektrizitätsträgern in Gasen überhaupt, so ist Folgendes zu sagen:

Die Entstehung gewöhnlicher Elektrizitätsträger von molekularer Größe ist aufgeklärt wenigstens insoweit, als man sie auf die Abtrennung eines negativen Elementarquantums von je einem neutralen Gasmoleküle und die nachherige Aufnahme des abgetrennten Quants durch ein anderes Molekül zurückführt.⁴⁾ Aber auch die Entstehung der sehr großen Elektrizitätsträger ist in manchen Fällen genügend aufgeklärt. Überall nämlich, wo Partikelchen fester Substanzen im Gase suspendiert sind, wird von vornherein zu erwarten sein, daß die soeben erwähnten molekularen Elektrizitätsträger bei ihren Zusammenstößen mit diesen Partikeln an dieselben sich anlagern können, wovon das Resultat eben die Entstehung eines großen Elektrizitätsträgers sein wird. Es sind danach bei allen Vorgängen, wo neben molekularen Elektrizitätsträgern noch feste Produkte, Rauch, Nebel, Staub entstehen, solche große Elektrizitätsträger zu erwarten. Dies trifft zu z. B. bei der Oxydation des Phosphors an der Luft.⁵⁾ Man kennt die im Dunkeln leuchtenden Wolken, die vom Phosphor aufsteigen, und zweifelt nicht, daß dieselben nach Vollendung der vom Leuchten begleiteten Oxydation aus den bekanntlich festen Aggregatzustand besitzenden Oxydationsstufen des Phosphors in feiner Verteilung bestehen werden.⁶⁾

Auch die sehr großen Träger der Wasserfallelektrizität⁷⁾ würde man so durch Mitwirkung des feinsten Wasserstaubes er-

bei Wirkung von ultravioletttem Licht auf Luft (*Ann. d. Phys.* 3, p. 298, 1900). Eine dann zeitlich folgende, erste eingehende Untersuchung der Träger der Wasserelektrizität zeigte, daß es sich bei dieser in der Tat, wie es den Resultaten der Herren TOWNSEND und KÖRTERS entspricht, um ein Vorkommen sehr großer Träger handelt. (K. KÄHLER, *Ann. d. Phys.* 12, p. 1119, 1903). Danach häuften sich Beobachtungen über große Träger bald sehr; in der freien Atmosphäre wurden sie konstatiert von Herrn LANGEVIN (*Compt. Rend.* 140, p. 232, 1905).

⁴⁾ Die Ursache der Abtrennung (Emissivität) kann in verschiedenen Fällen eine verschiedene sein; vgl. *Ann. d. Phys.* 17, p. 242, 1905.

⁵⁾ Vgl. F. HARMS, *Habilitationsschrift*, Würzburg 1904.

⁶⁾ Bei Flammen, deren manche ebenfalls sehr große Träger erzeugen, ist die Entstehung fester Nebenprodukte bei der Verbrennung ebenfalls zwar nicht nachgewiesen, aber wahrscheinlich; schon sehr kleine Mengen solcher Produkte würden genügen, um die beobachteten großen Träger in der erwähnten Weise entstehen zu lassen.

⁷⁾ Vgl. K. KÄHLER, l. c.; E. ASELMANN, *Ann. d. Phys.* 19, p. 960, 1906. Über Quecksilberfallelektrizität, mit ebenfalls sehr großen Trägern, s. A. BECKER, *Ann. d. Phys.* 31, p. 98, 1910.

klären können. Doch liegt hier der Fall schon nicht mehr so einfach; denn die Versuche von Herrn ASELMANN (l. c.) scheinen zu zeigen, daß die überwiegende Menge der großen Träger der Luft an Salzwasserfällen natriumfrei ist, was man bei Salzwasserstaub nicht ohne weiteres erwarten würde. Wir denken auf die Wasserfallelektrizität, welche von mehreren Seiten her im Heidelberger Institut in Untersuchung sich befindet, bei anderer Gelegenheit zurückzukommen.

Aber auch der wichtige und typische Fall der durch Kathodenstrahlen leitend gemachten Luft gehört unter die unaufgeklärten Fälle großer Träger. Die Untersuchungen der Herren A. BECKER und BAERWALD haben gezeigt, daß auch hier neben kleinen sehr große Träger entstehen⁸⁾, ohne daß von dem Vorhandensein suspendierter fester oder flüssiger Partikel Rechenschaft gegeben wäre. Dieser Fall trifft mit dem des ultravioletten Lichtes insofern zusammen, als mit Kathodenstrahlen — durch diese selbst erzeugt — stets auch ultraviolettes Licht in der Luft auftritt, und es ist nur die Frage, ob die Erzeugung der großen Träger diesem Licht allein, oder außerdem auch den Kathodenstrahlen für sich allein zuzuschreiben ist. Auch bei der Spitzenentladung, die ebenfalls große Träger produzieren kann, tritt ultraviolettes Licht auf.

In diesen Zusammenhängen schien es uns von Interesse und Wichtigkeit, den Fall der Erzeugung großer Elektrizitätsträger durch ultraviolettes Licht eingehender zu untersuchen mit Benutzung der vorteilhaften Quelle dieses Lichtes, welche uns jetzt zur Verfügung steht.

Wir haben, indem wir dies durchführten, unsere oben erwähnten früheren Resultate und die von Herrn SACHS über die Entstehung der großen Träger in staubfreier Luft vor allem durchaus bestätigt gefunden. Wir finden weiter, daß die Trägergrößen von der Lichtintensität abhängig sind, derart, daß stärkeres Licht größere Träger ergibt. Jedoch zeigt sich außerdem, daß zur Erzeugung der großen Träger in jedem Falle die Anwesenheit gewisser Dämpfe im belichteten Gase nötig ist, wenn auch nur in äußerst geringen Mengen. In Luft, welche durch Kühlung auf -78° C. getrocknet und dampffrei gemacht ist, entstehen auch durch starkes Licht keine großen Elektrizitätsträger, sondern nur die normalen molekular kleinen. Über die soweit geführte Unter-

⁸⁾ A. BECKER und H. BAERWALD, *Heidelb. Akad.* 1909, 4. Abh.

suchung, welche durch die große Zahl der erforderlich gewesen Messungen und durch die Schwierigkeiten, welche die äußerste Geringfügigkeit der wirkenden und direkt nicht wahrnehmbaren Dampfspuren mit sich brachte, beträchtliche Zeit beanspruchte, berichten wir im hier vorliegenden Teil.

Da hiernach die Bildung der großen Träger durch Licht nur bei Anwesenheit jener Dampfspuren stattfindet, welche wegen ihrer Geringfügigkeit den bisherigen Untersuchungen entgangen waren, war es wahrscheinlich geworden, daß die großen Träger nicht aus den Molekülen des Gases, sondern aus denen der Dämpfe entstehen, so daß die schwierige Vorstellung von Zusammenhäufungen gewöhnlicher Gasmoleküle vorerst ausgeschaltet werden konnte. Da ferner das gefundene Anwachsen der Träger mit zunehmender Lichtstärke zusammentraf mit dem von Herrn S. SACHS andeutungsweise gewonnenen Resultat, daß auch die Nebelkerne, welche das Licht erzeugt, bei größerer Lichtstärke größer ausfallen⁹⁾, lag die Vermutung nahe, daß die lichterzeugten großen Elektrizitätsträger bloße Anlagerungsprodukte molekularer Träger an die ebenfalls durch das Licht im Gas erzeugten Nebelkerne sein könnten. Vollständige Aufklärung wäre erreicht, wenn es sich zeigte, daß auch diese Nebelkerne ohne Vorhandensein von Dampfspuren nicht entstehen. Die besondere Untersuchung, welcher wir demnach weiter die Nebelkernbildung selbst unterworfen haben, zeigte in der Tat, daß dem so sei, daß also die erwähnte einfache Erklärung über die Bildung großer Elektrizitätsträger durch Licht zutrefte.¹⁰⁾ Hierüber wird im nächstfolgenden IV. Teil zu berichten sein.

Es gewinnt danach immer mehr den Anschein, daß große Elektrizitätsträger stets Produkte der Anlagerung ursprünglicher molekular kleiner Träger, bzw. auch freier Quanten, an vorhandene (feste oder flüssige) Partikel (Nebelkerne) seien, so daß große Träger immer dort, aber auch nur dort entstünden,

⁹⁾ S. SACHS, l. c., p. 24—26. Wir finden nachträglich, daß Herr C. T. R. WILSON schon früher dieses Resultat konstatiert und es für einwandfrei hält (*Phil. Trans. A. 192*, p. 145, 1899).

¹⁰⁾ Wir haben diese Erklärung der Entstehung der großen Träger bereits im II. Teil, S. 14, mitgeteilt, und dort die gleiche Größenordnung der Durchmesser von Kernen (nach S. SACHS, l. c.) und großen Trägern erwähnt.

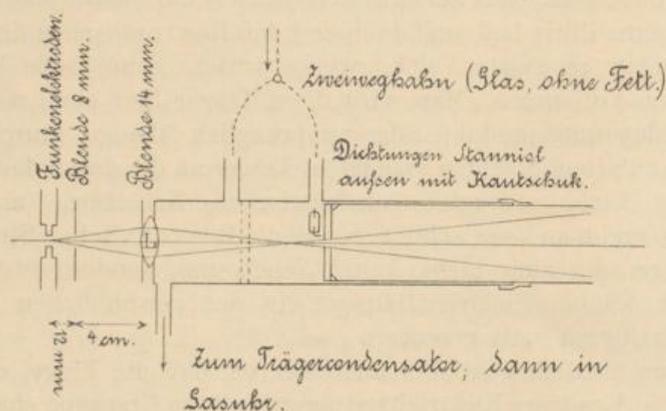
wo solche Partikel in leitenden Gasen vorhanden sind.¹¹⁾ Herr A. BECKER hat dies in der Tat im hiesigen Institut bereits in einem besonderen Falle geprüft und bestätigt gefunden, worüber er ausführlich selbst gesondert berichten wird. Die Luft wurde dabei durch RÖNTGEN'sche Strahlen leitend gemacht, und es zeigte sich zunächst, daß in solcher Luft, wenn sie staubfrei filtriert war, auch mit Hilfe des von ihm konstruierten sehr vorteilhaften Trägerkondensators nur molekular kleine und gar keine großen Träger zu finden sind. Wurde aber die staubfreie Luft zuerst ultraviolett belichtet und also mit Nebelkernen versehen, alsdann durch ein elektrisches Feld geleitet, welches nur die unelektrischen Nebelkerne übrig ließ, und dann erst den RÖNTGEN'schen Strahlen ausgesetzt, so zeigten sich, wie erwartet, sehr große Träger reichlich vorhanden. Man wird diese Träger hier ohne weiteres als Anlagerungsprodukte der ursprünglich kleinen (durch die RÖNTGEN'schen Strahlen erzeugten) Träger an die durch das ultraviolette Licht erzeugten unelektrischen Nebelkerne ansehen dürfen, und man kann schließen, daß die RÖNTGEN'schen Strahlen, im Gegensatz zum Licht, keine Nebelkerne, sondern nur (molekular kleine) Elektrizitätsträger in der gewöhnlichen (auch dampfhaltigen) Luft erzeugen.

Aus alledem geht nun auch hervor, daß die Frage, ob die Größe vorhandener Elektrizitätsträger für ihren Ursprung charakteristisch sei, im allgemeinen verneint werden muß. Alle Trägererzeugungsprozesse scheinen ohne Mitwirkung sekundärer Vorgänge nur geladene Moleküle als Träger zu geben, und hinzutretende Nebelkerne beliebigen Ursprungs können diese dann in größere Träger verwandeln, deren Durchmesser dann in allen Fällen gleich denen der Nebelkerne sein werden. Durch Zusammenlagerung einer ungeraden Anzahl kleiner positiver und negativer Träger — was bei der gegenseitigen Neutralisation (Rekombination) der beiden Trägersorten stattfinden könnte — entstehen keine großen Elektrizitätsträger; die erwähnte Untersuchung von Herrn A. BECKER zeigt dies im Fall der RÖNTGEN'schen Strahlen

¹¹⁾ Da große Träger sehr viel weniger Verlusten durch Diffusion an Wände ausgesetzt sind, als kleine, kommt deren Bildung einer Konservierung der Träger gleich. Elektrische Ladungen in Luft können daher durch Anwesenheit von Rauch viel dauernder gemacht werden, als es in reiner Luft möglich wäre. Eine Beobachtung, die dies zeigt, ist bereits sehr frühe von dem Einen von uns bei Untersuchung der Wasserfallelektrizität in Luft gemacht worden (*Wied. Ann.* 46, p. 594, 1892).

durch das sicher festgestellte Fehlen von großen Trägern, neben einer sehr großen Zahl in Rekombination befindlicher kleiner Träger.

Versuchsanordnung; Ermittlungsart der Trägergrößen mit dem BECKER'schen Kondensator. — Bei allen folgenden Versuchen steht wieder, wie im II. Teil, die Lichtquelle in mindestens 4 cm Abstand vom Bestrahlungsgefäß. Letzteres ist, wo nichts anderes angegeben, das gleiche, wie im II. Teil unter der hier zur besseren Bequemlichkeit wieder abgedruckten Fig. 1 beschrieben, ein Messingrohr mit Flußspatlinse oder $\frac{1}{4}$ mm



Figur 1.

dicker Quarzplatte als Abschluß zum Lichteintritt. Als Versuchsgas wurde meist filtrierte Luft benutzt, deren Entnahme, Leitungs- und Filtrierungsweise wir im II. Teil, S. 17, genau angegeben haben. Wo Kohlensäure oder andere Gase zur Anwendung kamen, wurden sie die gleichen Wege und über dieselben Substanzen geleitet, wie die Luft.

Zur Ermittlung der Wanderungsgeschwindigkeiten der im Bestrahlungsgefäß erzeugten Elektrizitätsträger haben wir uns des BECKER'schen Kondensators bedient, welcher dicht hinter dem Bestrahlungsgefäß in den Gasstrom geschaltet war. Es ist dies ein konaxialer Zylinderkondensator mit besonderer Anordnung an der Eintrittsstelle des Gasstroms¹²⁾, wodurch das Feld überall möglichst genau radial gemacht werden soll. Sind sehr ver-

¹²⁾ A. BECKER, *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 19, p. 258, 1909.

schiedene Trägergrößen im Gemisch vorhanden¹³⁾, worin gerade der hier untersuchte Fall ganz extrem ist, so führen die Zylinderkondensatoren meist in die Schwierigkeit, daß durch die allerersten Teile des elektrischen Feldes, in welche das strömende Gas gelangt, die kleinsten Träger in unkontrollierbarer Weise vorweg genommen und so der Messung entzogen werden, sobald man zu denjenigen höheren Spannungen geht, deren Anwendung wegen der größten im Gemisch vorhandenen Träger zur Erreichung des Sättigungsstromes nötig ist. Die Trägermengen werden infolgedessen zu klein erhalten, und zwar in steigendem Maße bei steigender angelegter Spannung. Wir nennen diesen Fehler kurz Feldvorwegnahme. Er zeigt sich in den Beweglichkeitskurven¹⁴⁾ dadurch, daß dieselben, statt asymptotisch zu einer Grenze aufzusteigen, ein Maximum aufweisen, hinter welchem sie wieder sinken (vgl. die punktierten Linien in Fig. 2). Die Kurven werden dadurch zu Schlüssen unbrauchbar. Diese Feldvorwegnahme ist zwar durch die BECKER'sche Kondensatorkonstruktion (im Vergleich zu anderen Konstruktionen) bereits sehr reduziert; man kann sie aber auch leicht völlig vermeiden, wenn man zu einer besonderen Anschaltungsweise der Spannung greift, die wir kurz Innenschaltung nennen wollen. Es wird dabei die innere, mit dem Elektrometer verbundene Zylinderelektrode (statt wie gewöhnlich die äußere) samt dem isoliert aufzustellenden Elektrometer und dessen Hülle auf Spannung geladen. Das Meßfeld im Kondensator wird dabei zwar an der Eintrittsstelle seines nahe radialen, zur Zylinderachse normalen Laufes wieder beraubt, aber jede Feldvorwegnahme ist ausgeschlossen, und man ist sicher, mit genügend hoher Spannung sämtliche Träger aufzufangen, einschließlich auch der kleinsten, sofern sie nur überhaupt bis zum Kondensator gelangen. Wir haben daher dieser Innenschaltung den Vorzug gegeben sowohl bei der Ermittlung der Gesamtmenge der Träger, wie auch zur Aufnahme der Beweglichkeitskurven.

Zur Ermittlung der allergrößten, im Gemisch vorhandenen Träger ist es am vorteilhaftesten, zwei Kondensatoren hinter-

¹³⁾ Dieser Fall ist bisher nur bei wenigen Untersuchungen von Trägergrößen überhaupt ins Auge gefaßt worden; zuerst von Herrn ASELMANN (l. c.), dann von Herrn A. BECKER, zu welchem Zwecke er den besonderen Kondensator konstruiert hat.

¹⁴⁾ So bezeichnen wir kurz die Kurven, deren Abszissen die an den Kondensator geschalteten Volts und deren Ordinaten die dabei gefangenen Trägermengen sind.

einander zu schalten, so daß im ersten je nach der angeschalteten Spannung alle Träger unterhalb einer gewissen Größe beseitigt werden und im zweiten Kondensator dann durch genügend hohe Spannung nur mehr der Rest der Gesamtmenge (nur große Träger enthaltend) für sich allein zu direkter Messung am Elektrometer gelangt. Variiert man die Spannung am ersten Kondensator, und mißt man sowohl am ersten als auch am zweiten Kondensator, so erhält man die betreffenden Punkte der Beweglichkeitskurve doppelt ermittelt und zwar, wie sich stets zeigte, mit gutem Anschluß. Die größere Genauigkeit liegt dabei für die kleineren Spannungen im ersten, für die größeren im zweiten Kondensator. In dieser Weise sind die Beweglichkeitskurven Fig. 3, 6, 7 und 8 des Folgenden aufgenommen. Der zweite Kondensator war dabei enger gebaut als der erste, so daß die Spannung in ihm etwa doppelt wirksam war und 200 Volt völlig genügten, alle Träger zu fangen.

Die so erhaltenen Kurven fallen mit der Idealkurve, d. h. derjenigen Kurve, welche in einem Zylinderkondensator mit rein radialem Feld (wie es der BECKER'sche angenähert ist) und ohne alle Feldvorwegnahme erhalten werden würde, im Prinzip nicht völlig zusammen. Sie verlaufen oberhalb der Idealkurve wegen der Deformation des Feldes bei Innenschaltung, während die mit dem BECKER'schen Kondensator in gewöhnlicher Schaltung gefundenen Kurven wegen der Feldvorwegnahme unterhalb der Idealkurve bleiben müssen. Wir konnten aber nachweisen, daß bei Luft und CO_2 , bis etwa $\frac{1}{2}$ der Maximalordinate, die Kurve der Innenschaltung und die Kurve der gewöhnlichen Schaltung des BECKER'schen Kondensators (mit Feldvorwegnahme) bis auf 1 pc. zusammenfallen. Hieraus folgt, daß wir unsere Kurven mit Innenschaltung nicht nur hinsichtlich des Maximalwertes, sondern auch für den ganzen Bereich des ersten Ansteigens wie Idealkurven verwenden dürfen.

Zur Ermittlung der Trägergrößen und Mengen aus den so aufgenommenen, einwandfreien Beweglichkeitskurven hat man Folgendes¹⁵⁾:

¹⁵⁾ Voraussetzung aller Größen- und Mengenbestimmungen mit dem Zylinderkondensator ist, daß die Rekombination der Träger während des Strömens durch den Kondensator vernachlässigt werden kann. Diese Voraussetzung ist hier mit genügender Annäherung erfüllt, da sonst der oben erwähnte Anschluß zwischen den Meßwerten am ersten und zweiten Kondensator unmöglich wäre. Die Rekombinationsgeschwindigkeit braucht des-

Die Größe der größten vorhandenen Träger wird ermittelt aus der Voltzahl desjenigen Punktes der Kurve (z. B. g, Fig. 2), von welchem ab sie horizontal verläuft, also ihren maximalen Wert erreicht hat; die Größe der kleinsten Träger wird ermittelt aus der Voltzahl desjenigen Punktes, in welchem der Anstieg aufhört, linear zu sein (z. B. k, Fig. 3). Über die zwischen diesen Extremen liegenden Trägergrößen läßt sich aus der Kurve ohne weiteres so viel schließen, daß ein stetig gekrümmter Anstieg, wie wir ihn meist beobachtet haben, das Vorhandensein aller Zwischenstufen in kontinuierlicher Folge beweist. Die Mengen der größten und kleinsten Träger, sowie überhaupt die Mengen von Trägern bestimmter Wanderungsgeschwindigkeit, lassen sich nicht unmittelbar aus der Kurve ersehen. Diese Mengen können aus der Kurve berechnet werden nach der von Herrn A. BECKER hierfür entwickelten Formel (l. c. Ann. 39, Formel 9).

Aus den Voltzahlen, zusammen mit der Strömungsgeschwindigkeit des Gases und den Kondensatordimensionen, berechnen sich zunächst nach bekannten Prinzipien¹⁶⁾ die Wanderungsgeschwindigkeiten der Träger, welche durch die betreffenden Voltzahlen eben völlig abgefangen werden, und aus den Wanderungsgeschwindigkeiten folgen wieder nach einer früher abgeleiteten Beziehung¹⁷⁾ die Trägergrößen. Wir geben zur Orientierung hierüber die folgende kleine Zusammenstellung (Tab. I), welche sich auf die von uns, wo nichts anderes bemerkt, überall benutzte Gasgeschwindigkeit von 1 Liter in 25 Sekunden bezieht¹⁸⁾; das elektrische Elementarquantum ist dabei gleich $4,7 \cdot 10^{-10}$ elektrostatischen CGS-Einheiten, der Molekülradius gleich $0,3 \cdot 10^{-6}$ mm gesetzt. Man wird hiernach überall, wo im folgenden nur Volt-

wegen aber noch nicht unendlich klein zu sein, wie die Versuche S. 12 u. 13 beweisen.

¹⁶⁾ Siehe die Formel für den hier benützten Kondensator bei A. BECKER, *Ann. d. Phys.* 31, p. 95, 1910.

¹⁷⁾ P. LENARD, *Annalen d. Phys.*, Bd. 3, S. 312ff., 1900.

¹⁸⁾ Bei Geschwindigkeiten von 1 l in 22—40 Sek. ist nach einer Untersuchung, die Herr NEHRU im hiesigen Institut ausgeführt hat, die Strömung im BECKER'schen Kondensator noch wirbelfrei; schnellere Strömung ergibt tumultuarische Bewegung, also unbrauchbare Messungen. Steigert man die Geschwindigkeit über 1 l in 10 Sek., so kann es wieder achsenparallele Strömungslinien im Kondensator, also wieder brauchbare Messungen geben (so z. B. bei den oberen Kurven von Fig. 2). Es ist nicht ersichtlich, inwiefern bei den in der Literatur bisher vorfindlichen Trägeruntersuchungen diese Verhältnisse genügend berücksichtigt worden sind.

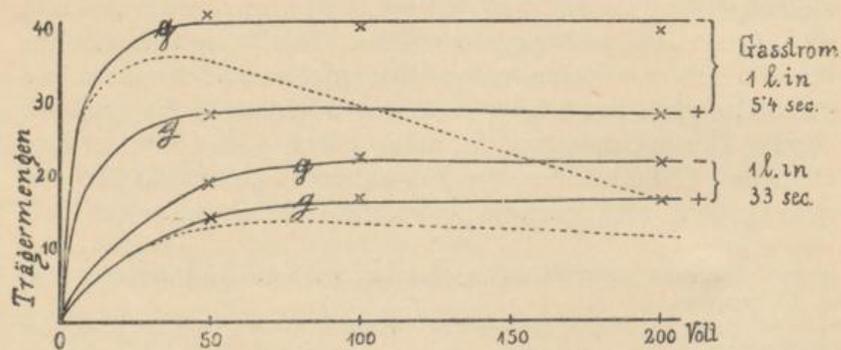
zahlen zu ersehen sind, leicht sich ein Urteil über die Trägergrößen bilden, um die es sich handelt.

Tabelle I.

Zur Ermittlung der Trägergrößen aus den Beweglichkeitskurven (Luft; BECKER'scher Kondensator).

Spannung (bei 1 l Luft in 25 sek.) Volt	Wanderungs- geschwindigkeit $\frac{\text{cm}}{\text{sek.}} / \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$	Trägerradius 10^{-6} mm
0.2	3.1	0.28
1	0.63	0.9
2	0.314	1.4
4	0.157	2.1
10	0.063	3.5
20	0.031	5.1
50	0.013	8.0
100	0.0063	12
200	0.0031	17 ¹⁹⁾

Trägerverluste. — Wir geben zunächst die Beweglichkeitskurven, Fig. 2, welche den Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit



Figur 2.

¹⁹⁾ Hier und bei noch größeren Trägern ist man an der Grenze der Gültigkeit der benutzten Formel, wie bereits Herr A. BECKER bemerkt hat (*Ann. d. Phys.* 31, p. 122, 1910). Auch sämtliche anderen, in der Literatur vorfindlichen Formeln über den Zusammenhang von Wanderungsgeschwindigkeit und Trägergröße versagen dann, indem die Träger dann schon zu groß sind (nicht mehr klein im Vergleich zur freien Weglänge der Moleküle im Gas), um die einfachen Überlegungen der kinetischen Gastheorie auf sie anwenden zu können, aber doch noch zu klein für das STOKES'sche Widerstandsgesetz.

keit des Gases auf die in den Kondensator gelangende Trägermenge zeigen. Man sieht aus diesen Kurven erstens, daß bei schnellerer Gasströmung sehr viel mehr Träger im Kondensator erhalten werden, daß also viel Träger schon im Bestrahlungsrohr und auf dem kurzen Wege zum Kondensator durch Rekombination und Diffusion an die Wände verloren gehen müssen und zwar um so mehr, je langsamer der Gasstrom ist. Dieser Verlust betrifft, wie man zweitens aus den Kurven sieht, viel mehr die kleineren als die größeren Träger, wie es auch zu erwarten war. Das starke Herabsinken der punktierten Kurven (mit gewöhnlicher Schaltung des Kondensators erhalten), zeigt die große Menge der kleinen Träger an, welche beim schnellen Gasstrom erhalten werden, beim langsameren aber verloren gehen. Außerdem zeigt aber drittens das verspätete Ansteigen der zwei unteren Kurven (Lagen des Punktes g), bei größeren Voltzahlen²⁰⁾, daß bei langsamem Gasstrom nicht nur kleine Träger verloren gegangen sind, sondern daß auch allergrößte Träger neu hinzugekommen sind. Dieses letztere kann nach der in der Einleitung vorausgeschickten Vorstellung über die Bildungsweise der sehr großen Träger so gedeutet werden, daß die durch das Licht erzeugten Nebelkerne durch allmähliche, nachträgliche Aneinanderlagerung in Vergrößerung begriffen sind, wozu beim langsamen Gasstrom mehr Zeit ist.²¹⁾ Es könnten aber auch während der Belichtung, durch die längere Dauer derselben beim langsamer strömenden Gase, schon größere Nebelkerne entstanden sein.²²⁾

Es war bei diesen Versuchen ein Bestrahlungsgefäß aus geschmolzenem Quarz mit der Flußspatlinse zum Lichteintritt benutzt worden. Man hat bei diesem Gefäß nur geringe lichtelektrische Wirkung auf die Wände, da diese infolge der guten Isolation des Quarzes alsbald durch eben diese Wirkung positiv sich aufladen und also die weitere Wirkung verhindern müssen. In der

²⁰⁾ Man müßte zu richtigem Vergleich der Kurven in bezug auf Trägergrößen die oberen Kurven (sechsmal schnellerer Gasstrom) auf $\frac{1}{6}$ ihres Abszissenmaßstabes zusammenschieben; der Unterschied in den Lagen von g wird dann noch viel größer, als er in der Figur schon erscheint.

²¹⁾ Nachträgliches Anwachsen bereits gebildeter Träger, wie hier angenommen, ist von Herrn A. BECKER in anderen Fällen in der Tat beobachtet und verfolgt worden, nämlich bei Quecksilberfällen (*Ann. d. Phys.* 31, p. 98, 1910) und bei Kathodenstrahlen (A. BECKER und H. BAERWALD, *Heidelb. Akad.* 1909, Abh. 4).

²²⁾ Versuche von Herrn C. T. R. WILSON (*Phil. Trans. A.* 192, p. 415, 1899) scheinen anzuzeigen, daß dem wirklich so sei.

Fig. 2 kommt dies Resultat in der Tat durch nur geringe Höhenunterschiede der positiven und negativen Kurven zum Ausdruck. Es sind also hier nicht nur sämtliche positiven Träger, sondern es ist auch der größere Teil der negativen Träger durch Lichtwirkung auf das Gas entstanden (vgl. Teil II, S. 19 u. ff.). Kleidete man die Innenwand des Gefäßes mit geerdetem Aluminiumblech oder auch mit Stanniol aus, so resultierte großer Überschuß von negativen Trägern, herrührend von der lichtelektrischen Wirkung auf die Metallwände, wie die Zahlen der Tab. II zeigen. Bemerkens-

Tabelle II.

Schnellerer Verlust der im Überschuß vorhandenen negativen Träger bei verlangsamtem Gasstrom. Filtr. Luft, Quarzgefäß mit Stanniolauskleidung.

Gasstrom in l l	Gesamtmenge ²³⁾ der	
	- Träger	+ Träger
7.0 sek.	71.8	8.9
13.8 „	39.8	7.4
27.2 „	22.3	6.7

wert ist dabei, daß, wie man sieht, bei Verlangsamung des Gasstromes die im Überschuß befindlichen negativen Träger in weit höherem Maße verloren gingen als die positiven Träger. Dies kann durch verstärkte Diffusion an die Wände infolge des elektrischen Eigenfeldes der im Überschuß vorhandenen Träger erklärt werden.²⁴⁾ Dieser schnelle Verlust der Unipolarität des Leitvermögens wurde auch bereits früher bemerkt.²⁵⁾

Der so mehrfach konstatierte große Verlust an kleinsten Trägern durch Rekombination und Diffusion an die Wände ist bei allen unseren Versuchen unvermeidlich gewesen, da wir auf das Auffangen der Träger im Bestrahlungsgefäße selbst verzichten mußten, indem es nicht gelang, einen genügend guten Leiter zu

²³⁾ In gleichen Einheiten wie in Fig. 2. Daß danach bei Stanniolwänden nicht nur mehr negative, sondern auch etwas mehr positive Träger erscheinen, als bei Quarzwänden, kann Folge des Verlustes von positiven Trägern durch elektrische Eigenfelder der isolierenden Quarzwände sein.

²⁴⁾ Auch Abtrennung freier Elementarquanten von den negativen Trägern (vgl. S. 16) kann mitwirken.

²⁵⁾ P. LENARD, *Ann. d. Phys.*, 1900, Bd. 3, p. 308, 309; vgl. auch Teil II, S. 9.

finden, der weder (wie die 1900 benutzte Seifenlösung) wenig lichtelektrische Wirkung zeigte, noch aber auch durch Verdampfung störend gewesen wäre.

Größte und kleinste Träger beiderlei Zeichens. — Schon aus dem Laufe der Kurven Fig. 2, wo sowohl die positiven als auch die Mehrzahl der negativen Träger der Gaswirkung entstammen, ist ersichtlich, daß diese beiden Trägersorten von nahe gleicher Größe sind.²⁶⁾

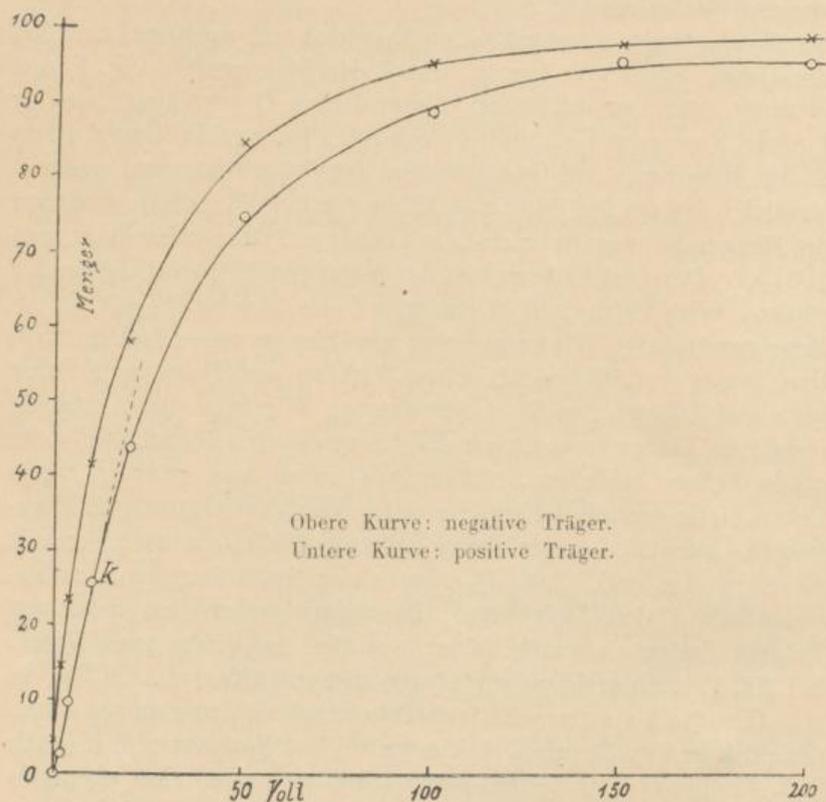
Einen feiner durchgeführten Vergleich der positiven und der negativen Träger gibt Fig. 3. Das Bestrahlungsgefäß, Fig. 1, aus Messing, war hier mit einer $\frac{1}{4}$ mm dicken Quarzplatte statt der Flußspatlinse zum Lichteintritt und einer inneren Luftstrecke von 12 cm versehen. Die Gesamtmenge der Träger ist zum besseren Vergleich bei beiden Sorten = 100 gesetzt; in Wirklichkeit waren die Mengen der negativen und der positiven Träger zueinander, wie 136:5,7. Der große Überschuß der negativen Träger ist Folge der starken lichtelektrischen Wirkung auf die hier stark bestrahlten Messingwände.²⁷⁾ Wir vergleichen also hier im wesentlichen negative Träger von lichtelektrischer Wirkung auf Messing mit den positiven Trägern aus der Luftwirkung. Wie man sieht, sind die negativen Träger beweglicher als die positiven. Jedoch sind sehr große Träger beiderlei Zeichens vorhanden und zwar in merklichen Mengen auch solche, die selbst bei 200 Volt noch nicht gefangen werden, entsprechend einem Radius von mehr als $17 \cdot 10^{-6}$ mm (vgl. Tab. I), also einer Anhäufung von außerordentlich vielen Molekülen. Besonders unter den positiven Trägern finden sich viele (4 pc., von den negativen nur 0,7 pc.: bei 200 V. noch nicht gefangen) von dieser Größe (vgl. die Fig. 3).

Was die kleinsten positiven Träger anlangt, so gehören ihnen (Punkt k in Fig. 3, vgl. S. 11), etwa 10 Volt Spannung, d. i. (nach Tab. I) etwa $4 \cdot 10^{-6}$ mm Radius zu. Sie sind also ebenfalls noch aus sehr vielen Molekülen zusammengesetzt. Noch kleinere positive Träger können vorhanden gewesen, durch Diffusion und Rekombination aber unterwegs verloren gegangen sein.

²⁶⁾ Auch bei den früheren Versuchen in geschlossenen Bestrahlungsgefäßen war dies schon hervorgetreten (*Ann. d. Phys.*, 1900, Bd. 3, 308, 309); über die Trägergrößen bei den damaligen Beobachtungen in feier Luft siehe Teil II, p. 10 Fußnote. Vgl. auch S. SACHS (l. c.).

²⁷⁾ Das Quarzgefäß mußte für feinere Versuche verlassen werden, da es, wohl infolge variabler Elektrisierungen der Wände, nicht völlig konstante Resultate gab.

Die kleinsten negativen Träger sind im Kondensator ohne Weiteres nicht feststellbar, da schon ohne angelegte Spannung eine merkliche Menge (4,5 pc.) gefangen wird. Dies zeigt jedenfalls an, daß die kleinsten negativen Träger noch kleiner sind als die kleinsten positiven. Dieser Unterschied, welcher übrigens bei kleinen Trägern fast jeden Ursprungs schon oft bemerkt worden ist, kann nicht von verschiedener Anlagerungsfähigkeit der beiden Träger-



Figur 3.

sorten kommen, denn das Vorhandensein sehr großer negativer Träger beweist, daß sie ganz ebenso wie die positiven der Anlagerung fähig sind. Wir können annehmen, der Unterschied beruhe in stetem Wiederfreiwerden der negativen Quanten von den negativen Trägern (wozu das Analoge bei den positiven Trägern nicht möglich ist), so daß stets eine Anzahl freier negativer Elementarquanten mit ihrer großen Beweglichkeit unter den Trägern

im Gase vorhanden ist und also die mittlere Beweglichkeit der kleinsten negativen Träger vergrößert erscheinen läßt.²⁸⁾

Einfluß der Lichtintensität, a) auf die Trägerzahl. — Die früheren Versuche über diesen Einfluß²⁹⁾ haben das Resultat ergeben, daß die Wirkung bei Luft, gemessen durch die Menge der negativen Träger, nicht proportional der Lichtintensität, sondern viel stärker als diese wächst. Dieses sehr bemerkenswerte Verhalten hat uns zu neuen Versuchen veranlaßt. Wir bedurften dieser Versuche außerdem zur Deutung der Lichtabsorptionsmessungen an Gasen und festen Körpern (s. Teil II, S. 21 u. f.), wo die Trägermenge als Maß der Lichtintensität benutzt wurde.

Es kam also darauf an, die bei verschiedenen, bekannten Lichtintensitäten erzeugten Trägermengen zu messen. Die Lichtintensitäten wurden dabei auch jetzt wieder durch Einschaltung von Schleiern oder Drahtnetzen zwischen Lichtquelle und Bestrahlungsrohr variiert. Letzteres (Fig. 1) war mit der $\frac{1}{4}$ mm dicken Quarzplatte zum Lichteintritt versehen; in einem Falle, bei Kohlensäure, war der in Teil II unter Fig. 2 beschriebene Apparat ohne festes Zwischenmedium benutzt worden; die näheren Angaben hierüber finden sich bei den tabellarischen und graphischen Zusammenstellungen der Resultate vermerkt (Tab. IV u. V und Fig. 4 u. 5). Unabgeschwächte Lichtintensität ist stets = 100 gesetzt, ebenso die dabei beobachteten Trägermengen = 100.

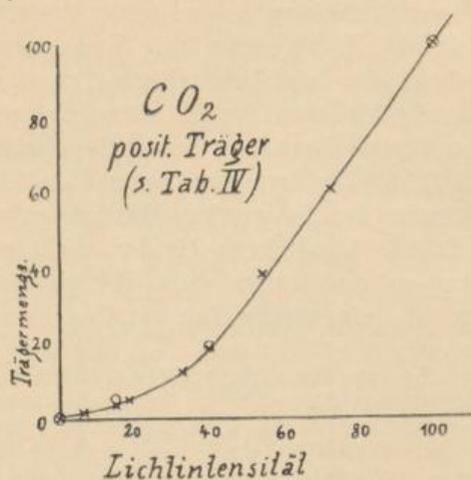
Die Lichtabschwächungen der benutzten Netze und Schleier wurden in besonderen Versuchen sorgfältig photometrisch bestimmt (s. Tab. III). Als Lichtquellen dienten dabei Hefnerlampen; zum Teil (Kolumnen 4 u. 5) wurden Milchgläser vorgeschaltet, deren in der Tabelle angegebene Größen nicht weit von der Größe der Funken entfernt waren; diese Milchgläserflächen funktionierten dann als eigentliche Lichtquellen bei den Photo-

²⁸⁾ Nach Versuchen von Herrn FRANCK (*Verh. d. Phys. Ges.*, IX.—XII. Jahrg., 1907—1910) würden die negativen Elementarquanten an den Molekülen verschiedener Gase verschieden stark festgehalten; an O_2 viel fester, als an N_2 . Nach unserer Annahme würden sie aber auch an O_2 -Molekülen nicht dauernd haften; es würde jedoch jedesmal, nachdem ein Quant das O_2 -Molekül verlassen hat, bei neuem Zusammentreffen mit einem O_2 -Molekül wieder für eine Zeitlang festgehalten werden, wie es der Absorption langsamer Kathodenstrahlen entspricht, für welche der gesamte Molekülquerschnitt absorbierender Querschnitt ist (P. LENARD, *Ann. d. Phys.* 12, p. 714, 1903). An N_2 - oder A-Molekülen würde nach Herrn FRANCK'S Resultaten die Zeit des Festgehaltenseins viel kürzer anzunehmen sein, als an O_2 -Molekülen.

²⁹⁾ P. LENARD, *Ann. d. Phys.* 3, p. 304 u. 305, 1900.

Tabelle III.
Photometrierungen der Lichtabschwächungsmittel.

Art der Abschwächungsmittel	Zahl der Abschwächungsmittel n	Durchgelassene Intensitäten; unabgeschwächte Intensität = 100 gesetzt.			Mittelwerte der durch- gelassenen Intensitäten J	Schwächungsfaktor pro Netz bzw. pro Schleier $\sqrt[n]{J/100}$
		Fettfleck- photometer, ohne Milch- gläser an der Lichtq.	Polarisationsphoto- meter ³⁰ . Größe der Milch- gläser an der Lichtq: 6×8 mm ² 12×16mm ²			
Netze	1	40·0	41·8		40·9	0·41
	2	15·4	17·3		16·4	0·41
	3	6·7	—		6·7	0·41
Schleier	1		72·9	71·4	72·2	0·72
	2		55·1	53·9	54·5	0·74
	4		33·6	32·1	32·9	0·76
	6				19·0 ³¹⁾	0·76
	12		3·6	3·9	3·8	0·76



Figur 4.

metrierungen, und es waren dabei auch sonst genau dieselben geometrischen Verhältnisse des Strahlenganges eingehalten wie

³⁰⁾ F. MARTENS, *Verh. d. Phys. Ges. I.*, p. 204, 1899.

³¹⁾ Interpoliert mit dem Schwächungsfaktor 0,76.

Tabelle IV.

Einfluß der Lichtintensität. Kohlensäure in 4 cm Schichtdicke, 1 l in 15 Sek. Abstand von der Lichtquelle 11 cm Positive Träger.

Lichtintensität		Trägermenge	
Netze	Schleier	App. ohne festes Zwischenmed. ³²⁾ Kurve Fig. 4 ○	App. mit 1/4 mm dicker Quarzplatte ³³⁾ Kurve Fig. 4 ×
100	100	100	100
	72.2		60.9
	55.5		38.2
40.0		19.3	18.3
	32.9		11.9
	19.0		4.4
15.4		5.0	3.7
6.7			1.0

Tabelle V.

Einfluß der Lichtintensität. Luft in 8 cm Schichtdicke, 1 l in 15 Sek. App. Fig. 1 mit Quarzfenster 1/4 mm dick; bei den positiven Trägern Hinterwand Quarzplatte, Abstand der Lichtquelle vom Fenster 5 cm; bei den negativen Trägern Hinterwand Messingplatte³⁴⁾, Abstand der Lichtquelle vom Fenster 11 cm.

Lichtintensität (Schleier)	Trägermenge	
	posit. (Wirkung auf die Luft) Kurve Fig. 5 +	negat. (Wirkung auf Messing) Kurve Fig. 5 ×
100	100	100
72.2	84.9	92.6
54.5	78.0	87.8
32.9	66.7	68.0
19.0		54.3
3.8	22.6	21.8

am Funkenapparat. Die sehr gute Übereinstimmung der pro Netz bzw. pro Schleier berechneten Schwächungsfaktoren (letzte Ko-

³²⁾ Teil II, Fig. 2.

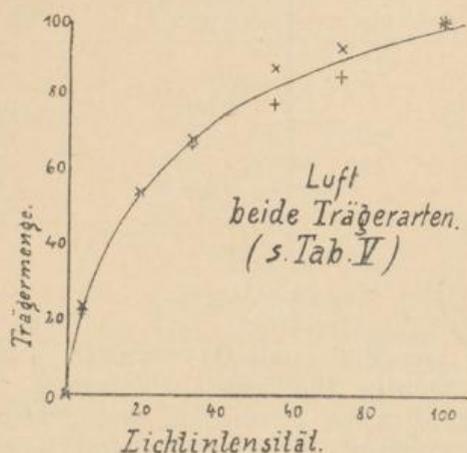
³³⁾ Sonst wie Fig. 1.

³⁴⁾ Statt der Quarzplatte Q in Fig. 1.

lumne der Tab. III) zeigt die Zuverlässigkeit der Photometrierungen an; außerdem zeigen Tab. IV und Kurve 4 Übereinstimmung der mit Netzen und Schleiern erhaltenen Resultate.

Betrachtet man die Resultate der Versuche über die Trägermengen, so ergibt sich folgendes (Tab. IV, V und Fig. 4, 5):

Bei Kohlensäure (Fig. 4) bestätigt sich, wie es die Kurve unmittelbar zeigt, daß die Wirkung viel stärker als proportional der Lichtintensität ansteigt, ganz wie es die früheren Versuche in Luft gezeigt hatten.



Figur 5.

Bei Luft dagegen scheinen die jetzigen Resultate (Fig. 5) in Widerspruch zu stehen mit den alten, denn sie zeigen kein beschleunigtes, sondern ein sehr verlangsames Ansteigen der Wirkung bei zunehmender Lichtintensität.³⁵⁾ Dieses verlangsamte Ansteigen kann indessen, wie man nach gegenwärtiger Kenntnis von der lichtelektrischen Wirkung auf feste Körper schließen muß, nur scheinbar sein; denn es zeigt sich auch bei den überwiegend der lichtelektrischen Wirkung auf die Messingwände entstammenden negativen Trägern (× in der Kurve), deren Menge, wenn keine Verluste stattfinden, nicht verlangsamt, sondern pro-

³⁵⁾ Dieser in Fig. 5 enthaltene Zusammenhang zwischen Trägermenge und Lichtintensität, wie er unter den obwaltenden Versuchsbedingungen wirklich statt hat, wurde im Teil II, Tab. V, zur Ermittlung der Zahlen a_1 und a_2 benutzt; auf denselben nahmen wir auch bereits im Teil I Bezug, wo es sich um die Vergleichung der Lichtintensitäten verschiedener Quellen handelte.

portional der Lichtintensität wachsen muß. Die Nichtübereinstimmung des früheren und des gegenwärtigen Resultates bei Luft muß danach durch einen mit zunehmender Lichtintensität prozentisch stark zunehmenden Trägerverlust bei den jetzigen Versuchen erklärt werden. Es ist in der Tat zwischen den jetzigen und den früheren Versuchen der zweifache Unterschied vorhanden, daß die letzteren bei Gegenwart befeuchteter Oberflächen, also in stark feuchter Luft, die ersteren in getrockneter Luft angestellt sind, und zweitens, daß früher die Träger unmittelbar aus der bestrahlten Luft, jetzt aber erst nach Überleitung der Luft in den Meßkondensator gesammelt wurden. Beide Unterschiede wirken dahin, daß jetzt viel mehr Träger verloren gehen mußten als früher.³⁶⁾ Danach mußten die früheren Versuche das richtigere, der unmittelbaren Wirkung in normaler Luft mehr entsprechende Bild ergeben haben.

Wir haben also bei Kohlensäure und bei Luft das Resultat, daß die Trägererzeugung durch das Licht stärker als proportional der Lichtintensität ansteigt.³⁷⁾ Dies sieht aus, als erzeugte das Licht im Gase ein Produkt, welches in irgendeiner Weise die Wirkung begünstigt. Man darf annehmen, daß die in beiden Gasen nachgewiesenen Nebelkerne die Rolle dieses Produktes spielen, nicht zwar durch eigene lichtelektrische Empfindlichkeit³⁸⁾, sondern durch konservierende, beschwerende Wirkung auf die Elektrizitätsträger. In der Tat haben wir bereits Eingangs erwähnt (S. 6), daß durch stärkeres Licht größere, also besser konservierende Nebelkerne erzeugt werden, als durch schwächeres, und dem entspricht es auch, daß, wie wir sogleich zeigen werden, bei schwachem Licht nur kleine Elektrizitätsträger gefunden werden,

³⁶⁾ Über den trägerkonservierenden Einfluß des Wasserdampfes siehe w. u., S. 26. Man kann danach das verlangsamte, fast einem Grenzwert zustrebende Anwachsen der Wirkung in getrockneter Luft so auffassen, daß alle Träger verloren gehen, zu deren Konservierung (Beschwerung) es an Kernen fehlt, die mangels Wasserdampfes (und auch anderer Dämpfe, welche in käuflicher CO_2 vorhanden sein dürften) sich nicht bilden konnten.

³⁷⁾ Dieses Verhalten erklärt es auch, warum bei zu schwachen Lichtquellen die Trägererzeugung leicht ganz unmerklich wird, wie es bei den Beobachtern der Fall gewesen zu sein scheint, welche unsere Versuche ohne Erfolg wiederholt haben. Es war dieses Verhalten bereits in der ersten Veröffentlichung (*Ann. d. Phys.*, Bd. 3, p. 304 u. f., 1900) hervorgehoben worden.

³⁸⁾ Wenn die Nebelkerne durch eigene lichtelektrische Empfindlichkeit wesentlich mitwirkten, so würden viel mehr große als kleine positive Träger resultieren, was nicht zutrifft.

welche sehr viel mehr Verlusten ausgesetzt sind, als die großen, welche bei starkem Licht entstehen, wenn die zur Bildung der beschwerenden Nebelkerne nötigen Dampfspuren vorhanden sind.

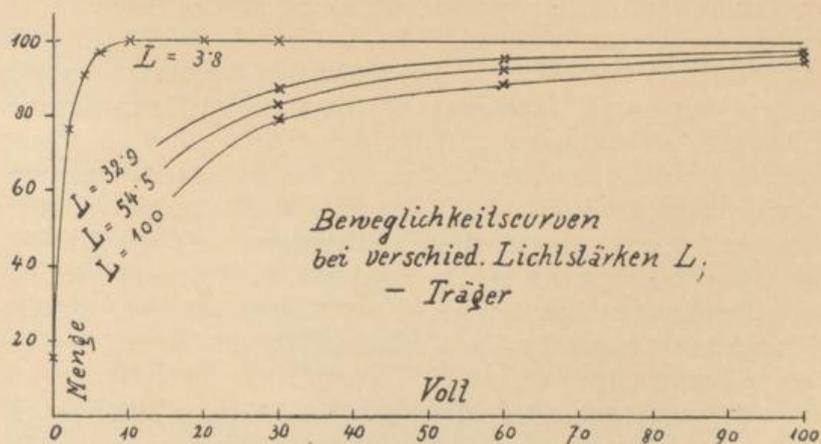
Einfluß der Lichtintensität, b) auf die Trägergröße. — Eine systematische Untersuchung der Trägergrößen bei variiertem Lichtintensität, unter Anwendung der ausphotometrierten Netze und Schleier, ergab das bemerkenswerte Resultat, daß schwaches Licht nur kleine Träger erzeugt, daß mit steigender Lichtintensität die Trägergrößen regelmäßig wachsen, und daß die ganz großen Träger, welche wir im vorhergehenden bereits wiederholt hervorhoben, nur bei voller, ungeschwächter Lichtintensität der Quelle zustandekommen. Wir geben die quantitativen Resultate in der folgenden Tabelle VI und deren graphische Darstellung Fig. 6

Tabelle VI.
Lichtstärke und Trägergrößen.

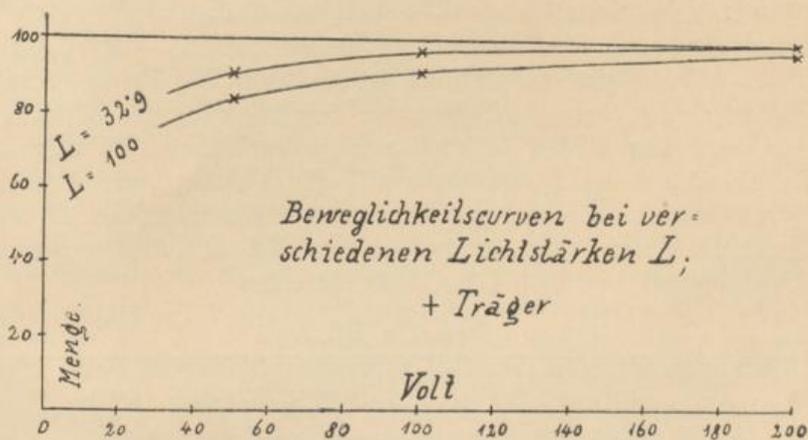
Anzahl der Netze:	0	2	4	12	
Lichtstärke (nach Tab. III):	100	54.5	32.9	3.8	
Spannung am ersten Condensator. Volt	Aufgefangen im ersten Condensator ³⁹⁾ (Gesamtmenge = 100)				
negative Träger	0			15.9	
	2			76.2	
	4			90.5	
	6			96.3	
	10			100	
	20			100	
	30	80.1	82.8	87.5	100
	60	88.1	92.4	95.5	—
100	94.8	96.4	97.8	—	
posit. Tr.	50	84.0		90.7	
	100	91.1		96.8	
	200	97.2		99.4	

und 7. Des besseren Vergleiches halber ist die Gesamtmenge der Träger bei jeder Lichtintensität = 100 gesetzt; die starke Variation der Trägergrößen mit der Lichtintensität wird dadurch aus den Kurven unmittelbar ersichtlich.

³⁹⁾ Vgl. S. 9 u. 10.



Figur 6.



Figur 7.

Kältgereinigte Luft; ungeglühte Filter mit großen Oberflächen geben Dämpfe ab; Asbestfilter. — Wir kehren jetzt zur Frage des Einflusses von Dämpfen zurück, welche uns bereits im II. Teil beschäftigte. Wir sahen, daß die Gegenwart äußerst geringer Spuren von Dämpfen die trägererzeugende Wirkung des Lichtes in der Versuchsluft um sehr bedeutende Beträge steigern kann (vgl. Tab. II u. IV und S. 17 u. ff. des II. Teils). Dies war auch der Grund, warum wir bei allen in diesem, sowie im II. Teil beschriebenen Versuchen die der freien Atmosphäre entnommene Luft unter besonderen Vorsichtsmaßregeln

weiter leiteten, um sie vor Verunreinigung durch Dämpfe zu bewahren. Wir erinnern daran, daß z. B. Kautschuckschläuche ganz ausgeschlossen waren. Auch auf Entfernung des Wasserdampfes hatten wir durch ausgiebige Bemessung der Phosphorsäure-Trockengefäße besonders Bedacht genommen. Dennoch konnte die Anwesenheit von Dampfspuren in der so entnommenen, getrockneten und zuletzt durch Watte filtrierte Luft nicht als völlig ausgeschlossen betrachtet werden. Denn man weiß aus den Versuchen von BUNSEN⁴⁰⁾, wie hartnäckig z. B. Wasserdämpfe und mit diesen zugleich andere Gase und Dämpfe selbst an blanken Glasflächen festgehalten und nachträglich fortdauernd wieder abgegeben werden.

Wir gingen daher dazu über, das beste bekannte Entfernungsmittel von Dampfspuren, nämlich starke Kühlung der Luft anzuwenden. Wir ließen dazu die filtrierte Luft unmittelbar vor dem Eintritt in das Bestrahlungsgefäß noch eine Glasspirale von vielen Windungen passieren, die in ein Kältebad von ca. -78° C. aus fester Kohlensäure und Alkohol gesetzt war. Der Erfolg dieser Kältereinigung war eine bedeutende Verminderung der Wirkung, wie die beiden ersten Zeilen der folgenden Tabelle VII zeigen. Es war dabei das Bestrahlungsgefäß Fig. 1 mit $\frac{1}{4}$ mm dickem Quarzfenster zum Lichteintritt und einer Luftschicht von 12 cm benutzt; Abstand der Lichtquelle war 7,5 cm, Strömungsgeschwindigkeit der Luft 1 Liter in 30 Sekunden.

Tabelle VII.

Luft geleitet über:	Gesamtmenge der		Überschuß der — Träger (Gefäß- wirkung)
	+ Träger (Luftwirkung)	— Träger	
CaCl ₂ , P ₂ O ₅ , Watte (gewöhnl. Filtrierg.)	1·0	9·85	8·85
Watte, Kälte	0·14	3·57	3·43
Watte, Kälte; CaCl ₂ , P ₂ O ₅ , Watte	0·91	8·46	7·55
„ „ ; P ₂ O ₅ , Watte	0·89		
„ „ ; CaCl ₂ , Watte	0·86		
„ „ ; Watte	0·83		

Betrachten wir nun, den früher gesammelten Erfahrungen entsprechend, diese Verminderung der Wirkung als eine Folge

⁴⁰⁾ R. W. BUNSEN, *Ann. d. Phys. u. Ch.* 24, p. 321, 1885.

der Hinwegnahme vorhanden gewesener Dämpfe durch die Kälte, und nehmen wir also Verstärkung der Wirkung als Kennzeichen des Hinzukommens von Dämpfen zur Luft, so können wir weiter das Folgende bemerken:

Der gewöhnliche in allen früheren Versuchen benutzte Filtrierungsweg der Luft (Chlorcalciumtürme, Phosphorsäuretürme, Wattefilter; s. Teil II, S. 17) muß selbst als Quelle von Dämpfen angesehen werden. Denn leitete man die Luft, nachdem sie die Kältespirale passiert hatte, über diesen Filtrierungsweg, so war die Wirkung der Kälte wieder aufgehoben; es ergab sich wieder die alte, größere Wirkung (Zeile 3, Tab. VII). Welcher Teil des Filtrierungsweges die Dämpfe abgab, war durch die Versuche der Zeilen 4, 5 und 6 zu erfahren. Man sieht aus den betr. Zahlen der Tabelle, daß das Wattefilter allein genügte, um den Effekt der Kältereinigung mindestens zum allergrößten Teile wieder aufzuheben.

Wir schließen daraus, daß das mit reiner, geruchloser Verbandwatte gefüllte Filter, obgleich dasselbe schon von vielen 100 Litern reiner, aus dem Freien angesaugter und dann filtrierter, getrockneter Luft durchströmt war, fortdauernd Dämpfe abgibt, welche die Wirkung erhöhen, und welche durch Kälte entfernt werden können. Diese Dämpfe müssen in allen unseren bisherigen Versuchen in der filtrierten Luft vorhanden gewesen sein. Wie andauernd, fast unerschöpflich erscheinend, diese Dampfabgabe aus der Watte ist, zeigte sich, als wir über Glaswolle staubfrei filtrierte und durch Kälte gereinigte Luft längere Zeit über das Wattefilter leiteten und die Wirkung in bestimmten Zeiträumen maßen. Die durch die Hinzufügung des Wattefilters von 0,78 auf 14 erhöhte Wirkung (Menge der positiven Träger) blieb andauernd erhöht; erst nach ca. 25 Minuten, nachdem 50 Liter Luft passiert waren, zeigte sich ein erster, kleiner Rückgang der Wirkung von 14 auf 12. Dieser kleine Rückgang kann als Beginn einer allmählichen Reinigung des Wattefilters durch die hindurchströmende kältgereinigte Luft erscheinen, deren Endresultat ein neuer Gleichgewichtszustand zwischen Dampfaufnahme und -abgabe durch die Watteoberfläche sein würde.

Wir haben in gleicher Weise, wie das Wattefilter, auch Filter untersucht, die mit reinem Filtrierpapier bzw. mit reiner Glaswolle beschickt waren. Beide verhielten sich anfänglich sehr nahe gleich dem Wattefilter; die Wirkungen waren bei Watte, Filtrier-

papier, Glaswolle, resp. 14, 12, 17. Das Filtrierpapier zeigte aber im Vergleich zum Wattefilter schnelleren Rückgang (von 17 auf 12 in 25 Minuten) und das Glaswollefilter noch schnelleren Rückgang (von 12 auf 3,5 in gleicher Zeit). Die der kältegetrockneten Luft ohne weitere Filtrierung zukommende geringe Wirkung (0,78) wurde in keinem Falle erreicht; offenbar waren die dampfabgebenden Filterflächen dazu viel zu groß. Wurde statt solcher Filter nur ein einfaches, kurzes, reines Glasrohr, das wie gewöhnlich an der Luft aufbewahrt gewesen war, in den Luftweg hinter die Kältespirale geschaltet, so erhöhte das auch sogleich die Wirkung von 0,78 auf 2,33; hier aber, bei der nur kleinen Innenfläche des Glasrohres, ging die Wirkung ersichtlich ganz allmählich zurück, und nach ca. 20 Minuten war die ursprüngliche geringe Wirkung (0,78) wieder erreicht. Dieser letzte Versuch, mit einer dampfabgebenden blanken Glasfläche von nur wenigen cm^2 , zeigt zugleich auch, wie außerordentlich geringe Dampfspuren hier in Betracht kommen.

Um der Frage näher zu kommen, welches die Dämpfe seien, die durch die Filter und durch blanke Glasflächen abgegeben werden und die Wirkung erhöhen, beobachteten wir die Wirkungen von Kombinationen mehrerer Filter, durch welche wir die kältegereinigte Luft in das Belichtungsgefäß strömen ließen. Es zeigte sich, daß Watte- und Papierfilter sowie auch Watte- und Glaswollefilter zusammen nur dasselbe Resultat ergaben, wie jedes dieser Filter allein. Es summieren sich also die Dämpfe der verschiedenen Filter nicht. War aber das Glaswollefilter, wie oben erwähnt, durch langes Überleiten von kältegereinigter Luft von Dämpfen teilweise befreit worden, so verminderte es die Wirkung der über Watte gekommenen Luft eine Zeit lang, bis es dann, offenbar wieder gesättigt mit den nun aus dem Wattefilter genommenen Dämpfen, wieder in den ursprünglichen Zustand der Dampfabgabe kam, und also nahe dieselbe Wirkung wie das Wattefilter allein gab.

Alles dies zeigt an, daß es ein und derselbe Dampf sei, welcher allen drei Filtern gemeinsam ist, und dies macht es wieder sehr wahrscheinlich, daß es sich um Dämpfe handelt, welche alle diese Substanzen, wie Watte, Glaswolle, Papier und auch die Wände einfacher Glasröhren, aus einer gemeinsamen Quelle, wohl also aus der atmosphärischen Luft, an welcher sie aufbewahrt waren, aufgenommen hatten. Hiernach kann es sich in

erster Linie um Wasserdampf handeln, von welchem unsere früheren Versuche (Teil II, Tab. II u. IV und S. 24) in der Tat auch gezeigt hatten, daß er die Wirkung erhöht, und von welchem aus den Versuchen von BUNSEN auch bekannt ist, daß er z. B. von Glasoberflächen stark aufgenommen, hartnäckig festgehalten, unter veränderten Umständen aber allmählich wieder abgegeben wird.

Daß es aber nicht Wasserdampf allein sei, welcher von den Filtern abgegeben wurde und wirksam war, wird durch Versuche angezeigt, in welchen wir durch das Wattefilter geleitete Luft das eine Mal durch Chlorcalcium und Phosphorsäure von Wasserdampf, das andere Mal durch die Kältespirale von allen bei -78° C kondensierbaren Dämpfen befreien. Die Wirkungen (Mengen der positiven Träger) waren 1,6 bzw. 0,76 (gegen 5,0 bei der gewöhnlichen Filtrierung), also bei der Kältereinigung wesentlich geringer als bei bloßer Trocknung. Dasselbe Resultat ergab auch das Glaswollefilter an Stelle des Wattefilters.

Wir kommen also zum Schlusse, daß die getrocknete und filtrierte Luft unserer sämtlichen bisherigen Versuche nicht nur Spuren von Wasserdampf, sondern auch von anderen Dämpfen, aus dem Wattefilter stammend, enthalten hat, welche die elektrische Wirkung wesentlich erhöhen. Es zeigt sich aber als wahrscheinlich, daß das Wattefilter, sowie die andern genannten Filtersubstanzen, nicht nur den Wasserdampf, sondern auch die andern Dämpfe, welche mitwirkten, aus gemeinsamer Quelle, nämlich aus der atmosphärischen Luft aufgenommen hatten; denn Oberflächen so verschiedener Körper, wie Watte, Glas, Papier, verhielten sich gleich in bezug auf die Dampfabgabe. Insofern also, als die Dämpfe, welche trotz aller angewandten Vorsicht in außerordentlich kleinen Spuren in unseren Versuchen mitgewirkt haben, regelmäßige Bestandteile der atmosphärischen Luft zu sein scheinen, benimmt ihr Vorhandensein unseren bisherigen Resultaten nicht das Interesse, daß sie die Wirkung des Lichtes auf normal zusammengesetzte Luft behandeln, und da wir bereits von Anfang an den Einfluß von Dampfspuren erkannt und berücksichtigt hatten, so bleiben auch alle Schlüsse bestehen, welche wir in diesem und im vorhergehenden II. Teil gezogen haben.

Bei der Frage, welches die Dämpfe seien, die außer Wasserdampf in der Atmosphäre vorhanden und wirksam sind, bietet die außerordentliche Kleinheit der Mengen eine zunächst nicht

leicht überwindliche Schwierigkeit.⁴¹⁾ Man würde die Dämpfe durch Kälte kondensieren und so aus größeren Luftmengen zur Untersuchung sammeln können. Wir haben indessen für jetzt zwei andere Wege beschritten. Erstens haben wir versucht, die dampfabgebenden Flächen im Gasleitungsweg ganz zu vermeiden. Da Filtrierung zur Wegnahme des atmosphärischen Staubes (und auch des Wasserstaubes unserer Ansaugvorrichtung) unumgänglich ist, und die Filteroberflächen notwendigerweise groß sein müssen, wählten wir dazu eine Filtersubstanz, welche durch Ausglühen von den Dämpfen, die sie aus der Luft kondensiert hat, leicht befreit werden kann. Vorgeglühte Asbestwolle in Röhren aus schwer schmelzbarem Glas zeigte sich geeignet. Hat ein solches Asbestfilter beim Gebrauche Dämpfe aufgenommen, so kann es durch Glühen im Gebläse, während es von kältgereinigter Luft durchströmt wird, immer wieder gereinigt werden. Auf die Verwendung dieser Filter kommen wir im IV. Teil zurück.

Zweitens zeigen wir im hier noch folgenden, daß die Vermehrung der Wirkung durch die Dämpfe zum Teil jedenfalls nur scheinbar ist, indem die Dämpfe unter dem Einflusse des Lichts eine konservierende Wirkung auf die Elektrizitätsträger haben, so daß die letzteren bei Anwesenheit von Dämpfen weniger Verlusten ausgesetzt sind und also aus diesem Grunde in größerer Zahl zur Beobachtung gelangen, als ohne die Mitwirkung der Dämpfe. Es ergibt sich dies zunächst schon daraus, daß bei Anwesenheit von Dämpfen nicht nur die Luftwirkung, sondern auch die vom Gas in erster Linie unabhängige lichtelektrische Wirkung auf die Gefäßwände (Überschuß der negativen Träger, s. Teil II, S. 19) vermehrt erscheint. Man sieht z. B. beim Vergleich der 2. und 1. Zeile in Tab. VII, daß beim Hinzukommen der aus der Watte stammenden Dämpfe die Steigerung der Luftwirkung im Verhältnis von $0,14 : 1 = 1 : 7,1$ verbunden ist mit einer Steigerung der Gefäßwirkung im Verhältnis von $3,43 : 8,85 = 1 : 2,6$. Ganz ähn-

⁴¹⁾ Um Kohlensäure, welche regelmäßiger Bestandteil der Luft ist, und welche an Glas und anderen Oberflächen in der Tat kondensiert wird (vgl. BUNSEN l. c.), und die wir auch als wirksam gefunden hatten (Teil II, p. 24), kann es sich dabei nicht handeln. Denn dieselbe wird durch die angewandte Kühlung (-78° C) nicht entfernt, da ihre Dampfspannung bei dieser Temperatur noch immer ca. 1000 mm Quecks. beträgt (die Dampfspannung des Wassers beträgt bei derselben Temperatur nur ca. 0,001 mm). Ammoniak dagegen, ebenfalls spurenweiser, regelmäßiger Bestandteil der Luft, kommt jedenfalls in Betracht; wir werden im IV. Teil zeigen, daß es bei der Nebelkernbildung durch Licht in Luft tatsächlich besonders wirksam ist.

liches zeigte sich auch bereits im Teil II, wo es sich um Wasserdämpfe bzw. Kautschukdämpfe handelte (man vgl. die Zeilen 1, 2, 3 der dortigen Tabelle IV), und es wurde dort (S. 24) auch bereits der Schluß auf die jedenfalls zum Teil nur konservierende Wirkung der Dämpfe gezogen.⁴²⁾

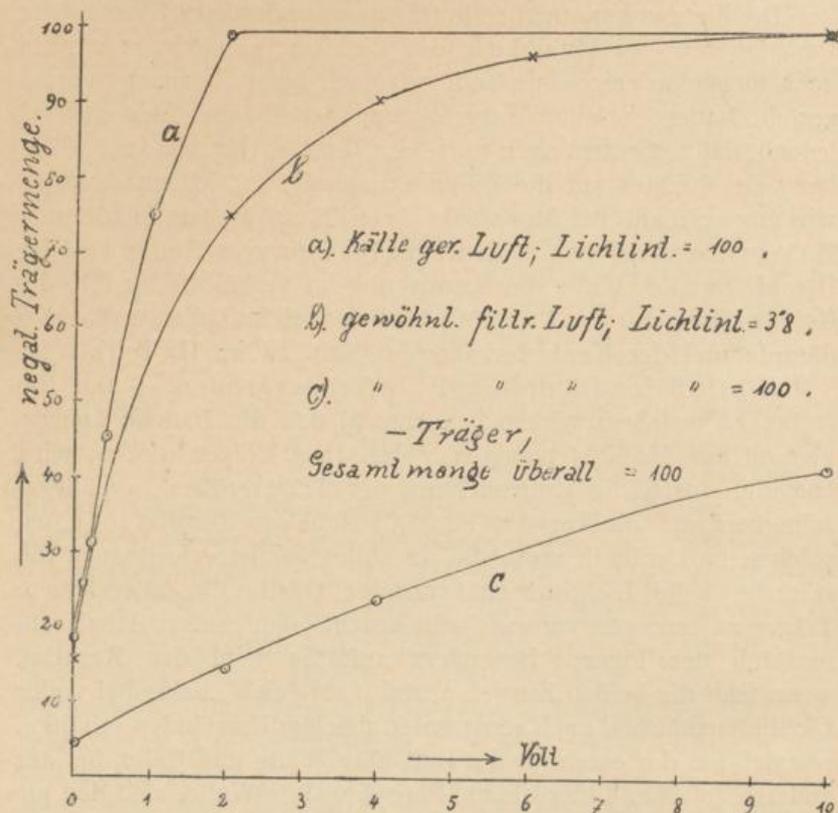
Die hieraus hervorgehende trägerkonservierende Wirkung der Dampfspuren (bei Mitwirkung des Lichtes) besteht, wie wir im noch folgenden zeigen, und wie wir auch bereits eingangs vorangestellt hatten, in einer Vergrößerung der Träger. Bemerkt sei jedoch, daß außerdem auch noch eine direkte, trägerbildende Wirkung des Lichtes auf die Dämpfe angezeigt ist. Denn die Gaswirkung erscheint bei Anwesenheit von Dämpfen stets in höherem Maße vermehrt als die Gefäßwirkung; so im vorerwähnten Fall der Dämpfe aus der Watte die Gaswirkung im Verhältnis 1 : 7,1, die Gefäßwirkung nur wie 1 : 2,6⁴³⁾; ähnlich auch im Falle der Wasserdämpfe und der Kautschukdämpfe (Tab. IV im II. Teil).

Einfluß der Dämpfe auf die Trägergrößen. — Das Resultat, zu welchem wir soeben kamen, daß die Dämpfe konservierend auf die lichterzeugten elektrischen Träger wirken, wird bestätigt durch die Untersuchung der Trägergrößen in kältegereinigter Luft. Die Kurve a (Fig. 8), welche das Resultat für einen solchen Fall enthält, zeigt, daß in kältegereinigter Luft auch die stärkste, volle Lichtintensität unserer Quelle nur aller kleinste Träger zu erzeugen vermag (man beachte den großen Abszissenmaßstab der Figur). Besonders auffällig wird das Resultat, wenn man die beiden Kurven a und c vergleicht, beide bei voller Lichtintensität und auch sonst unter gleichen Umständen erhalten, nur daß bei der einen (a) die Luft über Watte und Kälte, bei der anderen (c) über Chlorcalcium-Phosphorsäure-Watte, also den gewöhnlichen Filtrierungsweg, geleitet war. Beide Kurven (und auch

⁴²⁾ Beobachtet man die lichtelektrische Wirkung, wie im vorhergehenden, als Leitfähigkeit der abströmenden Luft, so muß alles, was die Elektrizitätsträger vergrößert, die Wirkung durch Trägerkonservierung vermehrt erscheinen lassen. Beobachtet man aber direkt den Elektrizitätsverlust der belichteten Platte, wie es gewöhnlich geschieht, so kann die Bildung sehr großer Träger die Wirkung umgekehrt, durch langsame Wanderung, vermindert erscheinen lassen. Hierauf könnten gewisse sogenannte Ermüdungserscheinungen der lichtelektrischen Wirkung beruhen.

⁴³⁾ Verminderung der Gefäßwirkung durch Absorption von Licht in den Dämpfen kann in diesem Falle nicht mitgewirkt haben, da die Dampfspuren aus der Watte, die auch in Teil II, Tab. IV vorhanden waren, dort keine merkliche Absorption gezeigt hatten.

die Kurve b) sind zum besseren Vergleich auf die gleiche Ordinatenhöhe 100 für die Gesamtmenge der Träger reduziert; die eine (c) gibt ebenso sehr das charakteristische Bild ungleicher, darunter sehr großer Träger im Gemisch, wie die andere (a) das Bild allerkleinster und fast einheitlicher Träger. Von diesen



Figur 8.

letzteren gehen fast 20 pc. bereits von selber, ohne Feld, an die Innenelektrode des Kondensators, und nur 2 Volt Spannung bringen schon über 99 pc. sämtlicher Träger dahin. Die erste Krümmung zeigt diese Kurve bei 0,5 Volt mit ca. 50 pc. Ordinatenhöhe, was anzeigt, daß ein großer Teil der Träger eine 0,5 Volt entsprechende Größe hat (Radius $0'6 \cdot 10^{-4}$ mm nach Tab. I.). Man wird jedoch, wie bereits früher erörtert (s. S. 16), auch freie negative Elementarquanten unter diesen kleinen negativen Trägern annehmen müssen.

Die zum Vergleich in gleichem Maßstabe noch hinzugefügte Kurve b zeigt, daß selbst bei der geringen Lichtintensität 3,8 (durch Netze bewirkt) die Träger noch immer größer bleiben, wenn Dämpfe vorhanden sind, als bei voller Lichtintensität ohne die Dämpfe: Bestrahlungsgefäß war für alle drei Kurven das Gefäß, Fig. 1, mit $\frac{1}{4}$ mm dicker Quarzplatte und 12 cm Tiefe; der Abstand der Lichtquelle war 7,5 cm, der Luftstrom 1 Liter in 30 Sekunden.

Noch ein Vergleichsversuch sei erwähnt zwischen kältegereinigter und gewöhnlich filtrierter Luft, bei welchem die Gesamtmenge der im Kondensator aufgefangenen⁴⁴⁾ negativen Träger nicht wie in Fig. 8 durch Proportionalrechnung, sondern durch Variation der Lichtintensität auf gleiche Größe gebracht wurde. Die hierzu nötige Abschwächung im Falle der gewöhnlich filtrierten Luft wurde durch vier Schleier und Vergrößerung des Abstandes der Lichtquelle vom Quarzfenster des Bestrahlungsrohres von 7,5 cm auf 9,5 cm bewirkt. Tab. VIII zeigt das Wesentliche der Resultate. Man sieht wieder die außerordentliche Kleinheit der Träger in der kältegereinigten Luft.

Tabelle VIII.

	Kälteger. Luft.	Gewöhnlich filtrierte Luft.
Gesamtmenge der — Träger	100	100
davon { noch nicht gefangen bei 2 Volt	1·4	12·6
" " " " 12 "	0·2	2·6
Gesamtmenge der + Träger	10·1	17·8

⁴⁴⁾ Im Bestrahlungsrohr selber müssen dann im Falle der kältegereinigten Luft sehr viel mehr positive und negative Träger vorhanden gewesen sein, da sie, als so viel kleiner, sehr viel mehr Verlusten auf dem Wege nach dem Kondensator ausgesetzt sind, als die größeren Träger der dampfhaltigen Luft.



C. F. Wintersche Buchdruckerei.

384