

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Die Bildung der Erdalkaliperoxyde**

**Engler, Carl**

**Heidelberg, 1910**

II. Teil Wenig absorbierbares und doch auf Luft wirkendes Ultraviolett

[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. 31. Abhandlung. ====

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

II. Teil

Wenig absorbierbares und doch  
auf Luft wirkendes Ultraviolet

[Philipp] Von [Carl]  
P. Lenard und C. Ramsauer

(Aus dem radiologischen Institut der Universität Heidelberg)

Mit zwei Abbildungen

Eingegangen am 5. November 1910



Heidelberg 1910  
Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags-Nr. 525.

Blitzschlag  
der Hildesheimer Akademie der Wissenschaften  
Mitteltages-Unterweltschule  
Hildesheim, den 1. März 1890

Über die Wirkung sehr kurzwelligen  
ultravioletten Lichtes auf Gas und über  
eine sehr reiche Quelle dieses Lichtes

Wenig abgelesenes und doch  
auf fast wirrendes Ultraviolet

P. Lohmeyer  
Hildesheim, den 1. März 1890  
Hildesheim, den 1. März 1890  
Hildesheim, den 1. März 1890



Hildesheim 1890  
Der Verlag des Hildesheimer Anzeigers

Indem wir hier mit der Mitteilung der Versuche beginnen, welche wir mit der im I. Teil des Vorliegenden beschriebenen Lichtquelle ausgeführt haben, stellen wir zunächst, als Ausgangspunkt, kurz die bereits bekannten Tatsachen des Gebietes voran, wobei wir auf frühere Untersuchungen des einen von uns zurückzugehen haben.<sup>1)</sup>

Wir nehmen dabei auch Bezug auf inzwischen hinzugekommene Resultate anderer Beobachter, welche teils Erweiterungen und Anwendungen unserer früheren Resultate, teils aber auch Zweifel über dieselben gebracht haben. Die Zweifel betrafen einestheils das Vorhandensein der von uns beobachteten Wirkungen des Lichtes, andernteils die Frage, ob diese Wirkungen in der Tat den gasförmigen Körpern zugehören, auf welche wir sie bezogen haben, und nicht vielmehr in den Gasen suspendiertem, festem Staube. Wir zeigen, daß keiner dieser Zweifel berechtigt war.

Dagegen taucht im Verlauf der mitzuteilenden Versuche eine neue Frage auf, deren Behandlung besondere Hilfsmittel erfordert, und welche uns hier und in noch folgenden Mitteilungen beschäftigen wird, die Frage nämlich, inwiefern minimale, gasförmige Nebenbestandteile der angewandten Gase an den beobachteten Wirkungen beteiligt sind, Nebenbestandteile, welche wohl bisher bei kaum einer Untersuchung über reine Gase vollkommen ausgeschlossen waren, welche aber dem sehr kurzwelligen Licht gegenüber großen Einfluß gewinnen.

## 1. Bisherige Untersuchungen.

a) Ozonerzeugung; chemische Wirkungen. — Der Nachweis, daß ultraviolettes Licht Sauerstoff in Ozon ver-

<sup>1)</sup> P. LENARD, *Annalen d. Physik*, Bd. 1, p. 486, 1900, und Bd. 3, p. 298, 1900; im folgenden kurz als 1900 Bd. 1 bzw. 1900 Bd. 3 bezeichnet.

wandelt (1900, Bd. 1)<sup>2)</sup>, ist bereits in mehrfacher Hinsicht nutzbar geworden. Herr E. GOLDSTEIN hat, ausgehend davon, alsbald eine Methode ausgearbeitet<sup>3)</sup>, nach welcher eine gegebene Sauerstoffmenge gänzlich in Ozon übergeführt werden kann, was durch keines der früheren Verfahren möglich war. Herr E. WARBURG hat es sehr wahrscheinlich gemacht, daß auch das älteste Ozonisierungsverfahren, durch die sogenannten stillen Entladungen, ebenfalls nur auf die Wirkung des ultravioletten Lichtes dieser Entladungen zurückzuführen sei.<sup>4)</sup> Von Wichtigkeit war dabei auch der Nachweis, daß das Licht nicht nur ozonerzeugend, sondern auch umgekehrt ozonerstörend wirkt<sup>5)</sup>, so daß sich bei der Bestrahlung von Sauerstoff ein Gleichgewichtszustand mit einem gewissen Maximalozongehalt einstellt.<sup>6)</sup> Dieses wird in der Tat bei Herrn GOLDSTEIN'S Ozonisierungsmethode benutzt, indem das bereits gebildete Ozon durch Abkühlung und Verflüssigung fortgeschafft und also vor Wiederzersetzung bewahrt wird.

Neben diesen Bestätigungen der Ozonbildung durch Licht würde das negative Resultat der Herren BORDIER und NOGIER<sup>7)</sup>, denen der Ozonnachweis mißlang, ohne Aufdeckung eines objektiven Grundes dieses Mißlingens<sup>8)</sup> wohl nicht zu erwähnen sein, wenn nicht diese Autoren eine neue Hypothese einführten, welche von vornherein beachtenswert erscheinen muß, die Hypothese nämlich, daß der Ozongeruch, welcher in der Nähe

<sup>2)</sup> Die schon früher in der Literatur sich vorfindende Angabe, daß ultraviolettes Licht Ozonpapier bläue, kann nicht als Nachweis von Ozonerzeugung durch das Licht angesehen werden, denn es ist die naheliegende Annahme einer direkten Wirkung des Lichtes auf das präparierte Papier nicht ausgeschlossen.

<sup>3)</sup> E. GOLDSTEIN, *Ber. d. deutsch. Chem. Ges.* 36, p. 3042, 1903.

<sup>4)</sup> E. WARBURG, *Berl. Akad.*, Nov. 1903.

<sup>5)</sup> E. WARBURG und E. REGENER, *Berl. Akad.*, Juli 1904. Daß auch bei der Ozonerzeugung durch die Spitzenentladung dieselbe umkehrbare Wirkung vorliegt, in Übereinstimmung mit der Annahme, daß auch diese Ozonerzeugung Wirkung des Lichtes der Spitzenentladung sei, war von Herrn E. WARBURG bereits früher nachgewiesen worden (*Berl. Akad.*, Juli 1900).

<sup>6)</sup> Die Höhe des Maximalgehaltes wäre abhängig zu erwarten von der Wellenlänge des Lichtes, wenn auf Sauerstoff sowohl, wie auf Ozon nur Licht wirkt, welches absorbiert wird; denn die Absorptionsspektren beider Gase sind verschieden.

<sup>7)</sup> H. BORDIER u. T. NOGIER, *Comptes Rend.*, 147, p. 354, 1908.

<sup>8)</sup> Nach den Resultaten von Herrn E. VAN AUBEL (*Comptes Rend.* 149, p. 983, 1909), welche eine ausführliche Bestätigung und Vervollständigung unserer Beobachtungen von 1900 über Ozonerzeugung bilden, scheint ein objektiver Grund des Mißlingens nicht vorhanden gewesen zu sein.

ultravioletter Lichtquellen (und auch in anderen Fällen) sich zeigt (zum Teil, wie wir jedenfalls sagen müssen), den Elektrizitätsträgern zugehören könnte, welche durch das ultraviolette Licht (und auch in anderen Fällen gleichzeitig mit dem Geruch) entstehen. Wir haben uns indessen überzeugt, daß der Ozongeruch durchaus nicht weniger wird, wenn man die belichtete Luft durch ein elektrisches Feld strömen läßt, welches alle Elektrizitätsträger entfernt. Kohlensäure, von welcher die genannten Autoren angeben, daß sie ebenfalls einen eigentümlichen Geruch durch ultraviolette Bestrahlung annehme, welcher in diesem Falle überhaupt nicht von Ozon stammen könnte, zeigt diesen Geruch, wie wir finden, nur, wenn sie nicht völlig sauerstofffrei ist; er gehört also auch hier wieder nur dem Ozon zu. Es liegt danach bis jetzt keine einwandfreie Beobachtung vor, welche jene Hypothese stützte.

Auch auf andere Gase wurden die Versuche über chemische Wirkungen kurzwelligsten Lichtes bereits mit Erfolg ausgedehnt. Es zeigten sich Zersetzungen bei Ammoniakgas, Stickoxyd, Stickoxydul<sup>9)</sup>, und es finden sich seither in der chemischen Literatur fortdauernd weitere Beispiele solcher Wirkungen.<sup>10)</sup> Es wird dabei meist die Quarzlampe als Lichtquelle benutzt; es ist aber nicht zu bezweifeln, daß eine nach den im I. Teil angegebenen Prinzipien konstruierte Lichtquelle, welche bei Ausschaltung des so wenig durchlässigen geschmolzenen Quarzes erst recht das Vordringen zu kürzeren Wellen ermöglicht, nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ ganz

<sup>9)</sup> E. WARBURG u. E. REGENER, Berl. Akad., Juli 1904. Auch hier sind die Wirkungen der bloßen ultravioletten Belichtung gleich den Wirkungen von elektrischen Entladungen im Gas, so daß wieder, wie bei der Ozonerzeugung, die Entladung in erster Linie, wenn nicht ganz, durch ihr Licht zu wirken scheint. Was Ammoniak anlangt, so steht — ganz ähnlich wie bei Ozon — der Ammoniakzersetzung durch die Funken, bzw. durch deren Licht, auch eine Ammoniakbildung aus den Elementen durch dieselben Faktoren gegenüber; vgl. BRINER u. METTLER, *Comptes Rend.* 144, p. 694, 1907, woselbst auch ältere hierhergehörige Arbeiten erwähnt sind.

<sup>10)</sup> Z. B. M. BERTHELOT, *Comptes Rend.* 142, p. 1367, 1906; A. COEHN u. H. BECKER, *Z. f. Phys. Chemie* 70, p. 88, 1909; D. BERTHELOT u. H. GAUDÉCHOR, *Comptes Rend.* 150, p. 1327 u. 1517, 1910. Aus den *Ber. d. deutsch. Chem. Ges.* ist uns bekannt geworden: A. COEHN u. A. WASSILJEWA, 42, p. 3183, 1909; A. COEHN u. H. BECKER, 43, p. 130, 1910. — Auch die physiologischen Wirkungen des ultravioletten Lichtes, welche in letzter Zeit viel, aber meist vom rein praktischen Standpunkt aus, studiert wurden, müssen als chemische Wirkungen verfolgbar sein.

neue Resultate ergeben kann. Stellt man die Lichtquelle direkt in das zu behandelnde Gas, so ist jedes absorbierende Zwischenmedium ausgeschaltet, und es können Resultate erwartet werden, die fast unmittelbar praktische Verwertung zulassen.<sup>11)</sup>

Besonders bemerkenswert ist die Vielseitigkeit der Wirkungen des kurzwelligen Lichtes. Schon die Ozonbildung zeigt diese Vielseitigkeit; denn dieselbe setzt sowohl einerseits Zerlegung des Sauerstoffmoleküls voraus, als auch andererseits Aufbau neuer Komplexe aus vorhandenen Teilen. Zu den zerlegenden Wirkungen des Lichtes gehört auch die Bildung von Elektrizitätsträgern in Gasen, denn dieselbe erfordert Abspaltung von Elektronen aus neutralen Molekülen. Zu den aufbauenden Wirkungen gehört auch die Nebelkernbildung, auf welche wir jetzt eingehen.

b) Nebelkernbildung, Polymerisierungen. — Diese Wirkung des ultravioletten Lichtes in gewöhnlicher Luft war am frühesten zur Beobachtung gelangt.<sup>12)</sup> Daß aber die damals beobachteten Nebelkerne in der Luft selber gebildet wurden und nicht Resultat von Zerstäubung vorhandener fester Körper sind, haben erst spätere Versuche gezeigt (1900, Bd. 1).<sup>13)</sup> Die Nebelkerne, um welche es sich hier handelt, sind nicht identisch mit den gleichzeitig entstehenden Elektrizitätsträgern; denn sie sind unelektrisch (1900, Bd. 3, p. 318). Da sie sich außerdem lange im Gase erhalten (1900, Bd. 1, p. 499), kann man sie von den Elektrizitätsträgern vollkommen trennen, indem man das belichtete Gas durch ein genügend starkes elektrisches Feld leitet.

Eine hierauf gegründete Untersuchung dieser Nebelkerne ist von Herrn S. SACHS im hiesigen Institut angeführt worden.<sup>14)</sup>

<sup>11)</sup> Man hat dann allerdings neben der Lichtwirkung auch noch die Wirkung der hohen Temperatur der Lichtquelle zu erwarten. Die getrennte Untersuchung beider Wirkungen (z. B. auch im Falle der Salpetersäuregewinnung aus Luftstickstoff mit Hilfe des elektrischen Funkens oder Bogens) stößt auf die Schwierigkeit, daß man kein festes Medium kennt, welches für das kurzwelligste Licht genügend durchlässig wäre.

<sup>12)</sup> P. LENARD u. M. WOLF, *Annalen d. Physik* 37, p. 443, 1889.

<sup>13)</sup> Auch C. T. R. WILSON, *Phil. Trans.* 129, p. 412, u. 193, p. 289, 1899.

<sup>14)</sup> S. SACHS, Dissert. Heidelberg, Juni 1910. Da die Nebelkernbildung auch bei schwächerem Ultraviolett schon sehr merklich ist, und da die neue intensive Lichtquelle bisher nur in einem Exemplar zur Verfügung stand, hat Herr SACHS die Funken eines gewöhnlichen Induktoriums zur Lichterzeugung

Er findet dabei, daß die Nebelkerne, welche bei gewöhnlicher Temperatur noch eine Stunde nach der Belichtung nachweisbar waren, durch Erhitzen über  $180^{\circ}\text{C}$  schnell zerstört werden, während Kälte ( $-70^{\circ}\text{C}$ ) sie nicht beeinflußt. Die Durchmesser der Kerne, nach der Dampfkondensationsmethode gemessen, ergaben sich in Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure und Luft etwa gleich dem 25fachen Molekulardurchmesser, bei stärkerem Licht etwas größer, bei schwächerem kleiner. Hiernach sind die Kerne aus sehr vielen Molekülen zusammengehäuft, und insofern sie keine besonderen chemischen Eigenschaften zeigen, scheint ihr Aufbau — im Gegensatz zur Ozonbildung — ohne vorherige Spaltungen oder Umlagerungen der betreffenden Moleküle stattzufinden. Es wurden bei diesen Kernmessungen außer Wasserdampf auch noch die Dämpfe von Benzol, Chloroform und Salzsäure benutzt; dabei ergab Wasserdampf in allen vier Gasen viel größere Kerndurchmesser (rund  $14 \cdot 10^{-6}$  mm) als die anderen Dämpfe ( $8 \cdot 10^{-6}$  mm). Dies scheint anzuzeigen, daß Wassermoleküle sich viel leichter an die Kerne lagern als andere Moleküle. Die Gelegenheit zur Anlagerung vor der Messung ergab sich bei den Versuchen dadurch, daß das belichtete Gas zuerst über die betreffende Flüssigkeit geleitet werden mußte, um sich mit deren Dampf zu sättigen, ehe es in die Expansionskammer trat, wo die Kerne gemessen wurden. Es war jedoch gesättigter Wasserdampf nötig, um die Kerne bis auf  $14 \cdot 10^{-6}$  mm anwachsen zu lassen; fünfprozentige Salzsäure, welche ungesättigten Wasserdampf entwickelt, ergab, an Stelle des Wassers benutzt, nur kleinere Kerne.

Wir haben auch in unseren eigenen Versuchen Anlaß gefunden, die Rolle des Wasserdampfes bei der Nebelkernbildung durch das Licht eingehend zu untersuchen; wir gehen darauf in den weiter folgenden Teilen ein, möchten jedoch gleich bemerken, daß der bisherige Ausfall der Versuche uns zur Annahme bringt, daß Wassermoleküle schon bei der Erzeugung der Nebelkerne durch das Licht wesentlich mitwirken.

Da die atmosphärische Luft stets Wasserdampf enthält, kann die Nebelkernbildung in ihr durch das Sonnenlicht auch meteorologisch nicht ohne Bedeutung sein. Man hat in letzter Zeit fast ausschließlich die Elektrizitätsträger in der Atmosphäre als benutzt, also im wesentlichen dieselbe Lichtquelle, welche auch zu unseren früheren Versuchen (1900) gedient hatte.

die Kerne der Dampfkondensation in ihr ins Auge gefaßt; die durch das Licht entstehenden Nebelkerne sind aber nach unseren Erfahrungen mit dem Dampfstrahl weit wirksamer bei der Wasserdampfkondensation als die Elektrizitätsträger<sup>15)</sup>, und das Licht der Sonne muß solche Kerne in den oberen Schichten der Erdatmosphäre fortdauernd erzeugen, da die Wirkung, wie unsere Versuche zeigten (1900, Bd. 1, p. 495ff.), schon bei  $\lambda = 190 \mu\mu$  beginnt, wo die Absorption in Luft eben erst anfängt, sehr stark zu werden.

In chemischem Sinne wird die Zusammenhäufung gleichartiger Moleküle zu einem größeren Molekül Polymerisation genannt, und die eben behandelten Nebelkerne könnten in diesem Sinne Polymerisationsprodukte des Lichtes sein. Lichtpolymerisationen sind an einer Reihe von anderen Gasen neuerdings von dem Herrn D. BERTHELOT und H. GAUDECHON beobachtet worden.<sup>16)</sup> Es wird zu versuchen sein, ob die kürzeren Wellen der neuen Lichtquelle nicht auch hier in geeigneten Fällen Vorteile bieten.

c) Elektrische Wirkung; Trägererzeugung; sehr große Träger. — Die Versuche, in welchen die Erzeugung von Elektrizitätsträgern durch ultraviolettes Licht in der Luft zuerst nachgewiesen war (1900, Bd. 1 und 3), benutzten meist die freie Luft des Zimmers. Denn Einschließung der Luft in Gefäße hat unvermeidlich die Mitbestrahlung der festen Wände zur Folge, und es erschien schwer, die gewöhnliche HERTZ-HALLWACHS'sche lichtelektrische Wirkung auf diese Wände mit Sicherheit auszuschließen; außerdem bot die freie Luft viel günstigere Variationsmöglichkeiten für die Versuche, was für das erste Vordringen von Wichtigkeit schien. Es wurde dabei die Mitbestrahlung des Staubes, welcher in Zimmerluft stets suspendiert ist, in Kauf genommen. Besondere Versuche zeigten aber (1900, Bd. 3, p. 317), daß die Wirkung des Lichtes auf den Staub allein nicht genügt zur Erklärung der beobachteten Tatsachen, daß also noch eine andere, neue Wirkung des Lichtes auf die Luft selbst vorliege.

<sup>15)</sup> So wirkt z. B. Luft, die von RÖNTGEN'sche Strahlen sehr reich mit Elektrizitätsträgern versehen ist, nur sehr schwach auf einen Dampfstrahl im Vergleich mit ultraviolett bestrahlter und durch ein elektrisches Feld von Trägern befreiter Luft.

<sup>16)</sup> D. BERTHELOT u. H. GAUDECHON, *Comptes Rend.* 150, p. 1169, 1910.

Wir hatten aber außerdem auch Versuche mit staubfrei<sup>17)</sup> filtrierter Luft in geschlossenen Bestrahlungsgefäßen ausgeführt, und zwar in zweierlei Weise. Bei der einen Anordnung (1900, Bd. 1, S. 501) war das Bestrahlungsgefäß aus Glas, mit 0,5 mm dickem Quarzverschluß zum Lichteintritt, und die Gase strömten nach der Bestrahlung in einen Zylinderkondensator, wo ihre Leitfähigkeit untersucht wurde. Es zeigte sich, daß nicht nur positive, sondern auch negative Ladungen der Kondensatorbeläge entladen wurden und zwar bei Entfernungen bis zu 10 cm zwischen Lichtquelle und Bestrahlungsgefäß. Dieser Versuch war zwar wegen der mitbestrahlten festen Wände damals nicht sogleich beweisend, er wurde es aber sehr bald später, als über den Mechanismus der lichtelektrischen Wirkung auf feste Körper Aufklärung erhalten war.<sup>18)</sup> Man konnte danach unmittelbar schließen, daß die beobachtete Entladung negativer Elektrizität durch das bestrahlte Gas nicht Folge von lichtelektrischen Wirkungen auf die festen Wände sein könne; denn durch letztere Wirkung entstehen ohne äußere elektrische Kräfte nur negative Träger in dem Gas, keine positiven.<sup>19)</sup> Hätte also das Licht nur auf die festen Wände gewirkt, so hätte das Gas unipolar leitend sein müssen, und der Kondensator hätte nur positive Ladungen verlieren können. In Wirklichkeit verlor er aber Ladungen beiderlei Zeichens sogar gleich schnell, was also mit Recht als Wirkung des Lichtes auf das Gas zu deuten war. Die Wirkung auf die festen Wände konnte nur zur Folge haben, daß den im Gase selbst erzeugten Trägern beiderlei Zeichens noch ein Überschuß von negativen Trägern, herrührend von den Wänden, beigemischt wurde, und dies zeigte sich in der Tat dann, wenn das Gas genügend schnell strömte (1900, Bd. 3, S. 308 und 309); es wurden dann positive Ladungen des Meßkondensators schneller entladen als negative.<sup>20)</sup>

Bei der zweiten Art der Ausführung wurde die Leitfähig-

<sup>17)</sup> Dies muß von Denjenigen übersehen worden sein, welche glaubten, die von uns beobachtete Wirkung dem Staub der Zimmerluft zuschreiben zu sollen.

<sup>18)</sup> P. LENARD, Wiener Akad. 1899 und *Annalen d. Physik* 8, 1902.

<sup>19)</sup> Man wird es durch w. u. folgende Versuche bestätigt finden, daß durch Belichtung fester Metalle keine hier irgendwie in Betracht kommende Menge positiver Träger im Gas entsteht.

<sup>20)</sup> Bei langsamer Strömung hat der Überschuß von negativen Trägern Zeit, an die Wände der Rohrleitung zwischen Bestrahlungsgefäß und Kondensator zu gehen.

keit der bestrahlten Luft in dem Bestrahlungsgefäß selbst geprüft (1900, Bd. 3, S. 308), wobei dessen Wände durch Beseifung lichtelektrisch ganz oder nahezu unwirksam gemacht wurden; auch hier zeigte sich gleich schnelle Entladung von positiver und negativer Elektrizität, was wieder — nach damaliger wie nach heutiger Kenntnis — als Wirkung auf die Luft selbst zu deuten war. Die dabei beobachtete minutenlange Nachwirkung zeigte an, daß auch große, langsam wandernde Elektrizitätsträger, und zwar beiderlei Zeichens, durch das Licht in der Luft entstanden.<sup>21)</sup> Besonders zu bemerken ist, daß bei diesen Versuchen in geschlossenen Gefäßen die staubfrei filtrierte Luft sich nahe gleich der unfiltrierten Zimmerluft verhielt (1900, Bd. 1, S. 501), was wieder anzeigte, daß auch bei den in freier Luft ausgeführten Versuchen der Staub der Zimmerluft jedenfalls nicht die ganze beobachtete Wirkung hervorgebracht haben konnte. Er konnte nur die Einseitigkeit der in freier Zimmerluft beobachteten Wirkungen — schnellere Entladung positiv geladener als negativ geladener Körper — hervorgebracht haben, oder einen Teil dieser Einseitigkeit.<sup>22)</sup>

Wir finden dementsprechend auch mit der neuen Lichtquelle das Entstehen der damals (1900, Bd. 3) beobachteten, sehr langsam wandernden Elektrizitätsträger beiderlei Zeichens in staubfreier

<sup>21)</sup> Es wurde damals, wie l. c. angegeben, von dem Verfolg dieser Art von Versuchen deshalb abgesehen, weil die Beseifung der Innenwände des Gefäßes und damit die Reinheit der Versuche nur unvollkommen kontrollierbar war. Es geht jedoch aus Obigem hervor — was einige unserer Leser überssehen zu haben scheinen — daß etwaige Unreinheit dieser Versuche nur deren quantitative Resultate berühren konnte, nicht das qualitative Resultat, daß das Licht auf das Gas selbst gewirkt und dieses mit Elektrizitätsträgern versehen habe.

<sup>22)</sup> Was den großen Unterschied zwischen den damals (1900, Bd. 3) in freier Luft gemessenen Wanderungsgeschwindigkeiten der positiven und der negativen Träger anlangt, so ist auch zu bemerken, daß dieselben nach verschiedenen Methoden bestimmt waren. Bei den positiven Trägern war Gewicht darauf gelegt, die langsamste, beobachtete Wanderung in Betracht zu ziehen, da so große und doch im Gase entstandene Träger als etwas Besonderes, Neues erschienen; bei den negativen Trägern dagegen wurde eine Methode benützt, welche nur die schnellsten, vorhandenen Träger zu berücksichtigen erlaubte.

Was die variable Mitwirkung von Staub bei den Versuchen in freier Zimmerluft anlangt, so war auf dieselbe bereits durch die damals mitgeteilten Versuche mit absichtlich in die Zimmerluft gebrachtem Rauch hingewiesen (1900, Bd. 3, S. 316, Fußnote), und es wurde auch berichtet (Bd. 3, S. 305, Fußnote) und besonders hervorgehoben (1900, Bd. 3, S. 315), daß die in freier Zimmerluft zu beobachtende Einseitigkeit variabel und manchmal fast verschwunden war.

Luft bestätigt.<sup>23)</sup> Wir beschreiben die diesbezüglichen Versuche im III. Teil des Vorliegenden.

Es ist wahrscheinlich, daß diese großen Elektrizitätsträger durch Anlagerung gewöhnlicher, molekularer, durch das Licht erzeugter Träger an die Nebelkerne entstehen, welche letztere ebenfalls durch das Licht in der Luft erzeugt werden (siehe b); die Größenordnung der Durchmesser ist nämlich bei diesen Trägern und den Kernen die gleiche.

Die von Herrn LANGEVIN später in der freien Atmosphäre gefundenen großen Träger<sup>24)</sup> könnten ihrer Entstehung nach zum Teil identisch sein mit den eben betrachteten lichterzeugten Trägern. Im allgemeinen werden große Träger stets dort zu erwarten sein, wo aus vielen Molekülen zusammengehäufte Partikel irgendwelchen Ursprungs im Gase suspendiert sind, an welche kleinere Elektrizitätsträger sich anlagern können, die ihrem Ursprunge nach in den allermeisten Fällen einzelne Moleküle sind.

Nachfolgenden Beobachtern dieser Lichtwirkung auf Luft gelang es zum Teil nicht, unsere Versuche zu wiederholen, oder es gelang ihnen nur unvollkommen<sup>25)</sup>, indem sie die Wirkung auf das Gas, welche wir, wie eben erwähnt, in staubfreier Luft bis in 10 cm Entfernungen von der Lichtquelle noch nachgewiesen hatten, nur ganz nahe an der Lichtquelle selbst auffinden konnten. Diese Beobachter haben aber, soweit wir sehen, nicht den naheliegenden Schluß gezogen, daß ihre Lichtquelle zu schwach, oder die benutzten Verschlusswände zu absorbierend waren, so daß

<sup>23)</sup> Vgl. auch S. SACHS, Dissert. Heidelberg, Juni 1910, p. 11. Die Entstehung so großer Elektrizitätsträger aus Molekülen im Gaszustand war damals (1900) neu und mußte überraschend erscheinen. Daher wohl auch die — zu Unrecht — von einigen Autoren gemachte Annahme, daß nur unfiltrierte Luft benutzt worden sei.

<sup>24)</sup> LANGEVIN, *Comptes Rend.* 140, p. 232, 1905.

<sup>25)</sup> J. J. THOMSON, *Cambridge Philos. Soc.* XIV, p. 417, 1907; E. BLOCH, *Comptes Rend.* 146, p. 892, 1908. — Wiederholungen unserer Versuche liegen auch vor von F. PALMER, *Nature* 77, p. 582, 1908. Letzterer Autor scheint unsere Veröffentlichungen, von welchen er ausging, besonders unvollkommen gelesen zu haben; er bringt nur Bekanntes (vgl. unsere Feststellung, daß Luft die wirksamen Strahlen absorbiert, 1900, Bd. 3, p. 316, und unsere Wellenlängenbestimmungen, 1900, Bd. 1, p. 494 ff.). Wir haben überhaupt keine Veröffentlichung gefunden, welche über unsere Mitteilungen von 1900 in bezug auf die elektrischen Wirkungen des Lichtes auf Gase irgendwie hinausgeht, ausgenommen die Versuche von Herrn STEUBING, welche zeigen, daß die Wirkung auch bei Quecksilberdampf besteht (*Phys. Zeitschr.* 10, p. 787, 1909).

das äußere Ultraviolett, von dem wir gezeigt hatten (1900, Bd. 3, p. 315, Abs. 44), daß es wesentlich in Betracht kommt, fehlte. Das längerwellige Ultraviolett wirkt nicht auf die Luft; es wirkt dagegen auf feste Körper, so daß beim Fehlen des äußeren Ultraviolett in der Tat, wie es jene Beobachter fanden, nur Wirkung auf etwa vorhandenen Staub konstatierbar sein muß. Aufmerksame Leser unserer früheren Mitteilungen werden auch bemerkt haben, daß die elektrische Wirkung des Lichtes auf Luft besonders große Lichtintensitäten erfordert, indem die Wirkung bei steigender Lichtintensität anfänglich sehr langsam und erst dann schneller als proportional der Lichtintensität wächst (1900, Bd. 3, p. 304 und 305).

## 2. Versuche mit der neuen Lichtquelle.

Sämtliche Versuche des Folgenden beziehen sich auf die elektrische Wirkung, welche wir zuerst in Untersuchung genommen haben. Die Gase befanden sich dabei in Bestrahlungsgefäßen, die wir weiter unten beschreiben.

Es zeigte sich bald, als wir die Wirkung auf Luft in wachsenden Abständen von der Lichtquelle messend verfolgten, daß wirksame Strahlen vorhanden sind, welche auf weite Strecken die Luft durchdringen, und zwar ohne merklich in ihr absorbiert zu werden. Wir geben hierüber zunächst die Tabelle I, welche teils ohne weiteres, teils aus dem alsbald Folgenden verständlich sein wird.<sup>26)</sup>

Tabelle I.

Abstand des Bestrahlungsgefäßes (Linse) von der Lichtquelle.	Menge der + Träger (Wirkung auf die Luft).	Menge der - Träger.	Überschuß der — Träger (lichtelektr. Wirkung auf die Gefäßwände).
cm	Skalenteile am Elektrometer in 10 Sekunden.		
4	35.1	226	191
8	11.7	100	88
16	3.5	37.6	34.1
26	1.7	20.9	19.2

<sup>26)</sup> Mehr als 26 cm Abstand von der Lichtquelle erlaubte unsere Aufstellung vorläufig nicht.

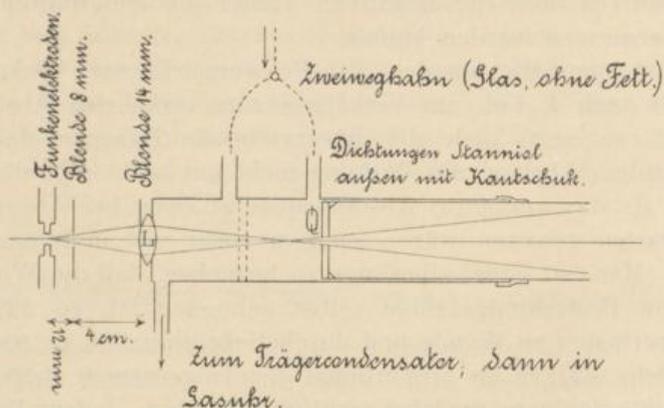
Das Bestrahlungsgefäß bestand hier aus geblasenem Quarz mit einer Linse aus Flußpat als Verschuß zum Lichteintritt; es war von filtrierter Luft (s. w. u.) durchströmt, welche danach in den Trägerkondensator gelangte, wo die gebildeten Elektrizitätsträger gefangen wurden, so daß nach Belieben die Gesamtmenge der positiven oder der negativen Träger am Quadrantelektrometer gemessen werden konnte.

Setzt man die in der Tabelle verzeichneten Wirkungen (2. oder auch 4. Col.) im Verhältnis zum verkehrten Abstandsquadrat, so zeigt sich die überraschende Tatsache, daß mit wachsendem Abstand die Wirkung nicht nur nicht schneller abnimmt als das verkehrte Abstandsquadrat (was bei Absorption zu erwarten gewesen wäre), sondern sogar viel langsamer als dieses. Man hat dabei allerdings zu bedenken, daß die Wirkung nicht im Bestrahlungsgefäße selbst gemessen ist, so daß mit Trägerverlusten an Wände und durch Rekombination zu rechnen ist, welche stärker als proportional der Trägermenge steigen, so daß exakte Schlüsse zunächst nicht möglich sind. Jedenfalls aber zeigt der Ausfall, daß Strahlen vorhanden sind, welche in den Luftstrecken von der Quelle bis zum Gefäß nur ganz geringe Absorption erfahren und welche dennoch auf die Luft im Gefäße wirken.

Es schien uns von besonderem Interesse, zunächst die Wirkungen dieser Strahlen für sich zu untersuchen. Denn eines-teils muß die Wirkung so wenig absorbierbarer Strahlen überraschen, und bedarf besonderer Aufklärung, andernteils könnten Strahlen dieser Art, wenn im Sonnenlichte vorhanden, eine nicht unwesentliche Rolle in der Erdatmosphäre spielen, indem sie zu tiefern Luftschichten herabdringen und dort die Wirkungen ausüben müßten, welche eben den Gegenstand unserer Versuche bilden.

Es wird daher bei sämtlichen hier weiter folgenden Versuchen die Lichtquelle in mindestens 4 cm Abstand vom Bestrahlungsgefäß sich befinden, so daß stets diese Luftstrecke vorgeschaltet ist, welche alle stark in Luft absorbierbaren Strahlen fortschaffen und nur die wenig absorbierbaren übrig lassen muß. Als Elektrodenmetall der Lichtquelle haben wir dabei stets Aluminium beibehalten, da schon die früheren Versuche gezeigt hatten (1900, Bd. 1, p. 492 und Bd. 3, p. 300), daß Aluminiumfunken die Wirkung auf größte Distanzen in Luft ergeben.

Bestrahlungsgefäße. — Das soeben erwähnte Quarzgefäß hatte den Vorteil, äußerste Reinlichkeit zu ermöglichen; es gab aber nicht völlig konstante Resultate, vermutlich wegen variabler Elektrisierungen seiner isolierenden Innenwände. Wir



Figur 1.

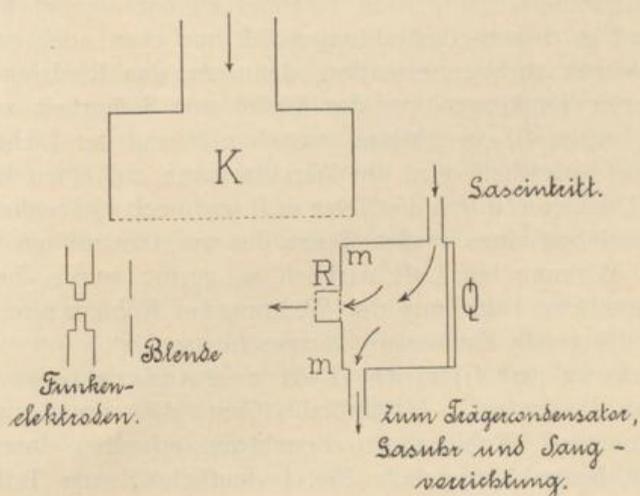
haben daher für die weiteren Versuche Metallgefäße benutzt und zwar von zweierlei Einrichtung.

Der eine Apparat, Fig. 1, bestand aus einem Messingrohr von 5 cm Durchmesser, dessen Vorderwand die Flußspatlinse L zum Lichteinlaß trug und dessen hinterer Abschluß durch eine Platte Q aus geschliffenem Quarzkristall gebildet wurde. Das Licht durchsetzt diesen Raum in einem konzentrierten Strahlenbündel<sup>27)</sup> und tritt durch die hintere Quarzwand wieder heraus, ohne weiter ein reflektierendes Hindernis zu treffen. Die Flußspatlinse, von ungewöhnlicher Durchlässigkeit, war hier und in allen Versuchen dieser Mitteilung dieselbe, welche schon zu den älteren Versuchen (1900) gedient hatte. Bei manchen Versuchen war die Flußspatlinse durch eine Quarzplatte von  $\frac{1}{4}$  mm Dicke ersetzt. Die durchstrahlte Gasstrecke konnte hierbei durch Verschiebung der Quarzwand Q von 4 auf 8 cm, bei einzelnen Versuchen auch auf 12 und 16 cm geändert werden. Die Quarz-

<sup>27)</sup> Die Fig. 1 gibt den Gang der in Luft wirksamsten Strahlen nach der weiter unten (S. 33) mitzuteilenden Brennweitebestimmung an; die äußersten violetten, sichtbaren Strahlen bilden danach ein nahezu paralleles Bündel. Weitere Einzelheiten s. in der Figur sowie weiter unten.

wand war dazu am Ende eines zweiten Messingrohres befestigt, welches im ersten gleiten konnte. Für jede Stellung der Quarzwand war ein besonderes Einströmungsrohr für das Gas vorhanden (in der Figur sind deren 2 gezeichnet); die Ausströmung erfolgte stets dicht an der Lichteintrittsstelle.

Beim zweiten Apparat, Fig. 2, konnte das Licht, ohne irgendeine feste Substanz, wie Flußpat oder Quarz, durchsetzen zu



Figur 2 (Maßstab 1:3).

müssen, von der Quelle in das Bestrahlungsgefäß treten. Dieses ist hinten durch eine Quarzwand *Q*, vorn durch eine Messingwand *m* abgeschlossen. In der Mitte der letzteren befindet sich ein Rohr-ansatz *R* zum Lichteintritt, der offen ist, aber zur Vermeidung des Hineinwirbelns von äußerer Luft vorn und hinten durch feine Drahtnetze begrenzt wird. Die Pfeile zeigen den Weg des Versuchsgases, der sich im Bestrahlungsgefäß entzwei teilt. Ein Teil entweicht durch *R*, der andere Teil geht in den Trägerkondensator. Letzterer Zweigstrom ist durch Anbringung einer Saugvorrichtung von 1,5 cm Wasserunterdruck verstärkt, da sonst fast alles Gas den widerstandsfreieren Weg über *R* benutzen würde. *K* ist ein mit einem Drahtnetz bedeckter Kasten, aus welchem ständig frische Luft in den Raum zwischen Lichtquelle und *R* geblasen wird, um die Ansammlung von Versuchs-

gas und von Funkgasen zu verhindern. Diese Vorsichtsmaßregel wurde übrigens ganz allgemein (und auch schon 1900) benutzt, um die Absorptionsverhältnisse des Zwischenraumes konstant zu erhalten.

Dieser Apparat wurde am meisten mit Kohlensäure als Versuchsgas benutzt, um die Absorption des wirksamen Lichtes in festen Medien zu untersuchen, welche in den Lichtweg gestellt werden konnten (s. w. u.). Mit filtrierter Luft als Versuchsgas war die Elektrometerwirkung rund 1000mal kleiner als mit Kohlensäure und in diesem Bestrahlungsgefäß nur eben noch meßbar. Letzteres war auch zu erwarten, denn um das Eindringen geschleuderter Funkgase in das Gefäß mit Sicherheit zu verhindern, waren 10 cm Abstand zwischen R und der Lichtquelle nötig, und außerdem wird die Wirkung noch auf einen kleinen Bruchteil reduziert durch die Netze in R und noch viel mehr durch das Entweichen eines großen Teiles des meistbestrahlten Gases. Daß die Wirkung bei Luft wirklich so gering wurde, beweist, daß wesentliche Fälschung der Wirkung bei Kohlensäure durch in R eindringende Funkgase ausgeschlossen ist.

Wirkung auf filtrierte Luft und andere Gase; Einfluß von Dämpfen. — Sämtliche Gase, die wir versuchten, Luft, Sauerstoff, Kohlensäure, Leuchtgas, erhielten durch das Licht im Bestrahlungsgefäße Fig. 1 deutliches, zum Teil sehr großes elektrisches Leitvermögen. Es zeigte sich aber auch, daß minimale Verunreinigungen der Gase durch fremde Dämpfe oft von größtem Einfluß sind, so daß es eine nicht ohne weiteres zu beantwortende Frage ist, ob die beobachtete Wirkung jedesmal wirklich dem angewandten Gase zugehöre. Den Verdacht großen Einflusses von spurenweisen Verunreinigungen erweckten schon unsere früheren Versuche.<sup>28)</sup> Wir haben daher jetzt von vornherein auf Ausschließung unkontrollierbarer Dampfspuren Bedacht genommen und sind darin allmählich immer weiter vorgeschritten. So war das Innere der Bestrahlungsrohre und der

<sup>28)</sup> Nicht nur auf die Wirkung, sondern auch auf die Absorption der Strahlen in Gasen scheinen geringe Verunreinigungen großen Einfluß zu haben. So haben wir bei Wiederholung der 1900, Bd. 3, p. 315 u. 316 mitgeteilten Absorptionsversuche mit Wasserstoff dieses Gas nicht immer wieder in gleicher Durchlässigkeit wie damals erhalten können. Auch die Herren SCHUMANN und LYMAN machen bei ihren spektralphotographischen Absorptionsversuchen in Gasen auf die Wahrscheinlichkeit solcher Einflüsse aufmerksam (vgl. z. B. LYMAN, *Amer. Acad.* 13, p. 136, 1906.

gläsernen Gasleitungen stets sorgfältig gereinigt; Kautschukschläuche haben wir ganz verlassen müssen; die Verbindungen von Glasröhren wurden übergreifend oder dicht aneinanderstoßend gemacht, durch Staniolumwicklung oder übergeschobenes Messingrohr und darüber erst mit Kautschuk gedichtet; als Befestigungsmittel der Flußspatlinse am Bestrahlungsgefäß diente reiner Gips. Sonst kamen die Gase nur noch mit den gleich anzugebenden Trockenmitteln, der Watte des Staubfilters und mit neuen Korken in Berührung.

Zu allen Versuchen mit Luft wurde dieselbe mittels eines Wasserstrahlgebläses zuerst durch zwei große Chlorkalziumtürme, dann durch zwei Phosphorsäuretürme getrieben, welche letztere mit abwechselnden Schichten von Glasscherben und Phosphorpentoxyd beschickt waren. Nach dieser intensiven Trocknung hatte die Luft ein großes Filter aus reiner, geruchloser Verbandwatte zu passieren, worauf sie in das Bestrahlungsgefäß gelangte.

Wurde die Luft dem Zimmer entnommen oder auch vom Korridor angesaugt, so war die Elektrometerwirkung am Trägerkondensator fortwährend schwankend um mehr als das Zehnfache, in ganz unkontrollierbarer Weise. Erst als wir die Luft durch eine weite Glasleitung aus dem Freien<sup>29)</sup> dem Gebläse zuführten, erhielten wir konstante, wenn auch verhältnismäßig kleine Wirkung.

Die so entnommene und über die genannten Stoffe geleitete Luft, auf welche die meisten folgenden Versuche sich beziehen, bezeichnen wir kurz als „filtrierte Luft“. Die Wirkung in dieser filtrierten Luft, herrührend von den durch das Licht im Bestrahlungsrohr Fig. 1 erzeugten und im alsdann durchströmten Kondensator gesammelten positiven Trägern, werden wir in den Tabellen meist zur Einheit nehmen. Dieselbe betrug absolut, in runder Zahl, 10 mm Ausschlag in 10 Sekunden bei Belichtung einer Luftsäule von 4 cm Länge und einer Strömungsgeschwindigkeit von 1 Liter in 15 Sekunden, einer Kapazität von 80 cm und einer Elektrometerempfindlichkeit von 1500 mm pro Volt; sie verlief proportional der Belichtungszeit. Diese Wirkung

<sup>29)</sup> Das Versuchszimmer lag zwei Treppen hoch nach Süden; vor dem Institut liegt ein mit Bäumen bepflanzter Anlageplatz, so daß die Entfernung bis zum nächsten, gegenüberliegenden Hause etwa 60 m beträgt.

haben wir von Tag zu Tag durch mehr als drei Wochen sehr nahe konstant erhalten.

Daß die starken Schwankungen der Wirkung bei Zimmerluft, welche auch in den früheren Versuchen (1900) immer hervortraten, in der Tat kleinen Verunreinigungen der Luft zugeschrieben werden dürfen, kann folgende Zusammenstellung von Versuchen zeigen, in welchen die filtrierte Luft vor dem Eintritt in das Bestrahlungsgefäß absichtlichen Verunreinigungen unterworfen war:

Tabelle II.

Art der Verunreinigung der filtrierten Luft.	Wirkung (Menge der + Träger).	
1. Keine.	1·00	
2. Die Luft strömt in weitem Gefäße vorbei an einigen cm <sup>2</sup> großen Oberflächen von:	a. Paraffin.	1·12
	b. Siegellack.	1·20
	c. Picein. <sup>30)</sup>	1·0
	d. Schwerflüchtiges Pumpenöl.	1·85
	e. Kautschuk.	1·30
	f. Wasser.	1·70
3. Wasserdampf; 60 pc relat. Feuchtigkeit bei 16·5° C.	14	
4. Die Luft strömt an der Außenwand von 50 cm schwarzem Kautschukschlauch vorbei.	3·0	
5. Derselbe Schlauch, verwandt für 4 Verbindungsstellen der Luftleitung, so kurz wie möglich.	6·0	
6. Luft aus Stahlbombe von 100 Atm.	15	

Man sieht z. B. aus 5, daß die Verwendung von Kautschukschläuchen, welche sonst bei Untersuchungen an Gasen für ganz unbedenklich gilt, hier zu gänzlicher Veränderung der Resultate führen würde. Es scheint übrigens mehr die Innenwand der Schläuche zu sein, als die Außenwand, welche Dämpfe abgibt (vgl. 4 und 5), und man könnte außerdem schließen (vgl. 2e mit 4 und 5, oder auch 2f mit 3), daß das Vorbeileiten der Luft an dampfabgebenden Flächen in weiten Räumen nicht entfernt Sättigung mit den Dämpfen ergibt.

<sup>30)</sup> Dieser seit einiger Zeit im Handel befindliche Kitt scheint von ähnlicher Zusammensetzung zu sein, wie der in *Wied. Ann.* 51, p. 228, 1894, für Vakuumdichtungen vorgeschlagene, nur etwas schwerer schmelzbar und, dem Geruch nach zu urteilen, auch schwerer flüchtig als letzterer.

Sehr bemerkenswert ist der Einfluß des Wasserdampfes, indem 60 pc Sättigung der Luft eine Erhöhung der Wirkung auf das 14fache ergibt (3).

Die starke Wirksamkeit der Luft aus Stahlbomben (6) wird man ebenfalls Verunreinigungen zuschreiben dürfen, obgleich der benutzte metallene Druckreduzierhahn sorgfältig von Fettspuren gereinigt und, nach Angabe der Fabrik, als Schmiermittel für die Kompressionspumpen nur reines Glyzerin zur Anwendung kam.

Nach diesen Erfahrungen mußten wir unser Augenmerk vor allem auf den Einfluß von Dämpfen richten, in erster Linie auf den soeben gefundenen Einfluß des Wasserdampfes, welcher in Spuren auch in unserer filtrierten Luft vorhanden sein konnte und welcher jedenfalls in der freien Erdatmosphäre stets vorhanden ist. Wir kommen hierauf im folgenden und auch in den späteren Teilen zurück (s. S. 24 u. Tab. IV; auch S. 7 oben), nachdem hier erst die Prüfung der Methode erledigt und die Frage nach dem Wellenlängengebiete der benützten Strahlen soweit behandelt ist, als es durch Absorptionsversuche geschehen konnte.

Wirkung der Gefäßwände. — Da es sich um die Trägererzeugung durch das Licht im Gasraume handelt, ist die Wirkung des Lichts auf die festen Wände des Bestrahlungsgefäßes besonders zu berücksichtigen. Diese letztere Wirkung besteht aber nach der von dem einen von uns früher entwickelten Theorie der lichtelektrischen Wirkung<sup>31)</sup> nur in der Erzeugung von negativen Trägern im umgebenden Gas; bei seiner direkten Wirkung auf das Gas muß aber das Licht gleiche Mengen negativer und positiver Träger erzeugen. Danach hat man in der beobachteten Gesamtwirkung die positiven Träger als Maß für die Wirkung auf das Gas zu nehmen, den Überschuß der negativen Träger über die positiven aber als Maß der lichtelektrischen Wirkung auf die Wände. Diese Auffassung haben wir einer Prüfung unterzogen und sie hat sich dabei bestätigt. Die Prüfung wurde in dem Bestrahlungsrohr, Fig. 1, vorgenommen durch sukzessive Verlängerung der bestrahlten Luftstrecke von 4 bis auf 16 cm. Die Gaswirkung muß dabei wachsen, weil sukzessive mehr Gas durchstrahlt wird, die lichtelektrische Wirkung auf die Wände muß aber dem Strahlengange nach (s. die Fig. 1) nahe konstant bleiben, denn sie besteht in der Hauptsache aus der Wirkung auf die

<sup>31)</sup> LENARD, *Wiener Akad.* 19. Okt. 1899, und *Annalen d. Physik* 8, p. 149, 1902.

Hinterfläche der Flußspatlinse und auf die Vorderfläche des hinteren Quarzabschlusses; das Messingrohr wird stets nur von geringem diffusen Licht getroffen, herrührend von geringen Trübungen (vielleicht auch von Fluoreszenz) der Linse. Es war zu erwarten, daß der von solchem diffusen Licht herrührende geringe Zuwachs, welchen die Gefäßwirkung durch Bestrahlung von mehr Messing bei den großen Luftstrecken erleiden konnte, nahe kompensiert würde durch die geringe Abnahme der Wirkung auf den hinteren Quarzabschluß infolge von Absorption des Lichts in der Luft. Demnach war Konstanz der negativen Überschüsse zu erwarten, was man in der letzten Kolonne der folgenden Tabelle III auch bestätigt findet.<sup>32)</sup>

Tabelle III.

Länge der Luftsäule.	Positive Träger (Wirkung auf die Luft).		Negat. Träger.	Überschuß der negat. Träger (Lichtel. W. auf die Wände).
cm.	Also Wirkung auf die			
4	5.9	ersten 4 cm Luft . . . 5.9	23.6	17.7
8	10.9	zweiten 4 " . . . 5.0	31.7	20.8
12	14.4	dritten 4 " . . . 3.5	34.0	19.6
16	17.8	vierten 4 " . . . 3.4	39.2	21.4

Die Menge der positiven Träger (2. Kolonne der Tab. III; Wirkung auf die Luft) ist dagegen regelmäßig gewachsen mit Verlängerung der Luftsäule, jedoch nicht dieser proportional. Berechnet man, wie es in der Tabelle geschehen, durch Differenzenbildung die Wirkung auf die einzelnen Teile der Luftsäule, so findet man sie in den hinteren Teilen geringer als in den vorderen. Dies entspricht der Absorption des wirksamen Lichtes im Gase selbst. Man sieht, daß diese Absorption im vorliegenden Falle in der Tat nicht groß war, ganz wie es die zu Anfang mitgeteilten Abstandsversuche (Tab. I) erwarten ließen.

Vergleicht man die zweite und die letzte Kolonne der Tab. III, so sieht man, daß die Wirkung auf das Gas und die auf die Wände,

<sup>32)</sup> Die in diesen Versuchen benutzte Luft war noch durch einige kurze Schlauchverbindungen verunreinigt, was aber der Beweiskraft der Versuche keinerlei Eintrag tut. Ganz dieselbe nahe Konstanz der Überschüsse der negativen Träger bei Änderungen der Gasstrecke findet man auch in der späteren Tabelle IV bei filtrierter Luft und bei feuchter Luft im selben Apparat bestätigt.

namentlich bei den längeren Luftsäulen, von gleicher Größenordnung waren. Nimmt man stärker wirksame Gase, wie Kohlensäure oder Leuchtgas, die dann auch mehr Licht absorbieren (vgl. S. 24), also weniger an die Wände kommen lassen, so tritt der Überschuß der negativen Träger (lichtelektrische Wirkung auf die Wände) ganz zurück gegenüber der Menge der positiven Träger (Gaswirkung), wie dies aus der weiter unten folgenden Tab. IV ersichtlich wird.<sup>33)</sup> Auch dies entspricht ganz der angenommenen Deutung. In solchen Fällen ist dann so gut wie die ganze beobachtete Wirkung reine Gaswirkung; es kann dann sogar vorkommen, daß weniger negative Träger gefunden werden als positive. Dies ist aber nur als scheinbar aufzufassen und durch den bekannten stärkeren Diffusionsverlust der negativen Träger auf dem Wege vom Bestrahlungsrohr in den Kondensator zu erklären, was auch die im III. Teil mitzuteilende Untersuchung über die Trägergrößen bestätigt. Solcher starke Diffusionsverlust muß besonders im Wasserstoff, und daher auch im Leuchtgas eine Rolle spielen (vgl. Tab. IV).

Natürlich geben diese Versuche keinen exakten Nachweis über völliges Fehlen von positiven Trägern bei der lichtelektrischen Wirkung auf feste Körper in Gasen — eine Frage, auf welche wir später zurückkommen; sie genügen aber zur Überzeugung, daß die angenommene Eliminationsart der Gefäßwirkung in erster Annäherung richtig ist.

Es erklärt sich in dieser Weise auch, daß beim Vergleich verschiedener Lichtquellen (siehe die Tabelle im I. Teil), sowie auch beim Vergleich verschiedener (selektiv) absorbierender fester Medien (Tab. V u. VI) der Überschuß der negativen Träger stets in ganz anderer Weise variiert als die Menge der positiven Träger, indem die lichtelektrische Wirkung auf die Gefäßwände, bzw. die Gaswirkung ihren Schwerpunkt im allgemeinen in ganz verschiedenen Wellenlängengebieten haben.

Trägerbildung und Absorption des Lichtes in den Gasen. — Nachdem schon die zuerst erwähnten Abstandsversuche überraschenderweise gezeigt hatten, daß die neue Lichtquelle viel auf Luft wirkende und doch von ihr nicht stark absorbierte Strahlung enthält, suchten wir quantitative Daten

<sup>33)</sup> Dasselbe ist der Fall, wenn die Gefäßwände durch Mangel an Leitvermögen nicht viel lichtelektrische Wirkung zulassen, wie bei einigen Versuchen mit dem Bestrahlungsgefäß aus Quarz sich zeigte.

über die Absorption dieser Strahlen in Luft und auch in anderen Gasen zu erhalten. Der Apparat, Fig. 1, erlaubte in der Tat in einfacher Weise zugleich die Absorption und die Wirkung in den Gasen zu messen, und zwar beide, Absorption und Wirkung, in einer und derselben Gasmasse, worauf es ankam, um zu sehen, ob nicht die geringe Absorption in der Zimmerluft und die doch vorhandene Wirkung auf die Versuchsluft in einem Unterschied der Zusammensetzung beider ihren Grund habe.<sup>34)</sup> Verlängert man in diesem Apparat die durchstrahlte Gasstrecke von 4 cm auf 8 cm, so muß die Wirkung am Elektrometer auf das Doppelte wachsen, wenn keine Absorption des Lichts stattgefunden hat, sie muß dagegen unverändert bleiben, wenn alles wirksame Licht bereits in den ersten 4 cm Gas absorbiert worden ist. Berechnet man also den Zuwachs an Gaswirkung (Menge der positiven Träger) beim Übergang von 4 auf 8 cm in Prozenten, so würden 100 pc vollständige Durchlässigkeit, 0 pc vollständige Absorption in der Gasstrecke von 4 cm bedeuten. Diese prozentischen Durchlässigkeitszahlen findet man in der vorletzten Kolumne der folgenden Tab. IV eingetragen, während die absolute Menge der positiven Träger, welche das Maß für die trägerbildende Wirkung des Lichts in dem Gase sind, in der 2. Kolumne sich finden. Zu bemerken ist, daß die Durchlässigkeitszahlen nicht als exakt quantitativ im optischen Sinne zu nehmen sind, denn die Elektrometerwirkung ist nicht exakt proportional der Lichtintensität, sondern hängt in komplizierterer Weise mit derselben zusammen, worüber wir besondere Versuche im III. Teil bringen. Immerhin berechtigen aber die Zahlen der Tabelle, wie wir glauben, zu den folgenden Bemerkungen.

Vor allem ist die jetzt quantitativ festgestellte große Durchlässigkeit der filtrierten Luft, 95—100 pc, erstaunlich. Sie zeigt einesteils, daß wir es hier keinesfalls mit Wellenlängen aus dem SCHUMANN'schen Gebiet zu tun haben, andernteils aber auch, daß nur relativ wenig Moleküle der ganzen Luft an der Absorption (und auch an der hier beobachteten Wirkung) beteiligt sein konnten. Es ist nicht ausgeschlossen, daß dies Sauerstoff- oder Stickstoffmoleküle sind, welche aber dann diesen Wellenlängen gegenüber, um welche es sich hier handelt, stets nur vereinzelt

<sup>34)</sup> Da somit hier aus der auffallenden Gesamtstrahlung bei jedem Gase nur der auf dasselbe Gas wirksame Teil bei der Absorptionsmessung in Betracht kommt, müssen die Absorptionszahlen, die wir hier ermitteln, maximale sein.

Tabelle IV. Wirkung und Absorption in Gasen.

Gas.	Schicht 4 cm		Schicht 8 cm		Prozentische Vermehrung der + Tr. (Durchlässigkeit des Gases).	Bemerkung.		
	+ Träger (Gaswirkung).	- Träger.	Überschuß der - Tr. (Gefäßwirkung).	+ Träger (Gaswirkung).			- Träger.	Überschuß der - Tr. (Gefäßwirkung).
Filterierte Luft. 1 l in 14.4 sek.	1.0	15.5	14.5	2.0	20.2	18.2	100	Da die Wirkung auf die Luft nur klein ist, so ist 100 pc. nicht exakt zu nehmen; 95-100 pc. wären innerhalb der Fehlergrenzen möglich.
Ebensolche Luft, jedoch durch einige kurze Schlauchstücke verunreinigt. 1 l in 6.8 sek.	5.9	23.6	17.7	10.9	31.7	20.8	85	(Vgl. auch Tabelle II.)
Filterierte Luft, durch Leiten über Wasser mit 59 pc relat. Feuchtigkeit versehen (16.5° C). 1 l in 8.6 sek.	14.3	69.4	55.1	23.1	80.3	57.2	61.5	Die Luft ist durch ein besonderes Wattefilter zuletzt von etwaigen Wassertropfchen befreit. Der Feuchtigkeitsgehalt ist aus dem verdampften Wassergewicht berechnet.
Sauerstoff, käuflich, aus Bombe; getrocknet und filtriert wie die Luft. 1 l in 15.0 sek.	75.8	-	-	88.5	-	-	16.8	Metallener Reduzierhahn durch Äther, Alkohol, Wasser entfettet. Als Schmiermittel der Kompressorumpen ist von der Fabrik Glycerin angegeben.
Kohlensäure, käuflich, aus Bombe; behandelt wie die Luft. 1 l in 16.5 sek.	9.90	10.20	-	13.20	13.00	-	33	Reduzierhahn und Kompressor schmiere wie ob. Der Überschuß der - Träger (Gefäßwirkung) verschwindet hier gegenüber der absoluten Menge der Träger (Gaswirkung). (Vgl. S. 21.)
Leuchtgas, behandelt wie die Luft. 1 l in 15.5 sek.	1.92	1.85	(negat.)	2.18	2.08	(negat.)	13.5	Das Überwiegen der + Träger erklärt sich aus schnellerer Diffusion der - Träger im wasserstoffhaltigen Gase und aus dem Fehlen von Gefäßwirkung infolge starker Absorption des Lichtes im Gase. (Vgl. S. 21.)

reaktionsfähig sein müßten; es wird aber doch zunächst die Aufmerksamkeit nur noch mehr auf die geringfügigen Bestandteile der Luft gelenkt. Daß Hinzufügung geringfügiger Spuren fremder Dämpfe, welche die Wirkung in der Luft erhöhen, auch die Absorption entsprechend beeinflussen, zeigt die 2. Zeile der Tabelle.

Nach der 3. Zeile ist auch Wasserdampf ziemlich absorbierend; er könnte danach auch ziemlich wirksam sein und die 2. Kolumne scheint dies ebenso zu bestätigen, wie es auch schon aus Tab. II zu ersehen war. Man bemerkt aber (4. und 7. Kolumne), daß auch die lichtelektrische Wirkung auf die Gefäßwände in der feuchten Luft erhöht ist, und dies letztere kann nur scheinbar sein und zeigt an, daß hier besondere Verhältnisse vorliegen. Wir zeigen im III. Teile, daß mindestens ein Teil der Wirkung des Wasserdampfes, und auch anderer Dämpfe, darin besteht, die durch Licht im Gase, sowie an den Wänden gebildeten Elektrizitätsträger zu konservieren, nämlich vor Verlust durch Rekombination und Diffusion an die Wände zu bewahren, wodurch sie in größerer Zahl zur Messung gelangen können (vgl. auch oben S. 7 und S. 11).

Die stärkere Wirkung (und Absorption) im käuflichen Sauerstoff mahnt wieder, wie oben die gleiche Beobachtung an komprimierter Luft in Tab. II, zur Vorsicht gegenüber den Bombengasen. Wäre dieser Sauerstoff so rein gewesen wie unsere filtrierte Luft, so wäre von ihm nicht die 75fache, sondern etwa die 5fache Wirkung der Luft zu erwarten gewesen.

Daß dagegen Kohlensäure zu den stark wirksamen Gasen gehört gegenüber den hier in Betracht kommenden Wellenlängen, ist nach den betreffenden Zahlen der Tabelle ohne besondere Gründe wohl nicht zu bezweifeln, obgleich die Kohlensäure käuflich war. Die Wirkung ist rund 1000mal so stark wie die auf filtrierte Luft.

Das Beispiel des Leuchtgases (letzte Zeile der Tabelle) zeigt, beim Vergleich mit Kohlensäure, daß starke Absorption nicht immer mit entsprechend starker Trägerbildung verknüpft sein muß; es können auch andere Verwendungen der absorbierten Energie statthaben, z. B. bloße Erwärmung. In bezug auf die Nebelkernbildung und Absorption in Leuchtgas findet sich dieselbe Erfahrung mit demselben Schluß schon in unserer älteren Arbeit (1900, Bd. 1, S. 498).

Vergleicht man die gegenwärtigen Resultate über Trägerbildung und Absorption in den Gasen mit den entsprechenden früheren Resultaten (1900), so fällt in bezug auf die Trägerbildung vor allem auf (s. 1900, Bd. 1, S. 502), daß damals die Luft zu den stärkst wirksamen Gasen gehörte — sie war fast ebenso stark wirksam wie Kohlensäure —, während sie jetzt 1000mal schwächer wirkte als die Kohlensäure. Ganz entsprechend ist auch in bezug auf Absorption (1900, Bd. 3, S. 316) der Hauptunterschied vorhanden, daß damals Luft (verglichen mit Wasserstoffgas) als stark absorbierend sich zeigte und jetzt als fast gar nicht absorbierend. Nun ist zwar zwischen den früheren und den jetzigen Versuchsbedingungen der Unterschied vorhanden, daß früher die Gase von störenden Dämpfen nicht so frei gehalten wurden als jetzt, daß z. B. zu allen Gasleitungen Kautschukschläuche benützt wurden; jedoch diese Verunreinigungen dürften die verschiedenen Gase schwerlich in so sehr verschiedener Weise getroffen haben, daß daraus so enorme Unterschiede in der gegenseitigen Stellung verschiedener Gase ohne weiteres erklärlich würden. Vielmehr müssen die Unterschiede wohl in erster Linie darauf zurückgeführt werden, daß es sich früher und jetzt um verschiedene Wellenlängengebiete gehandelt hat. Ganz dasselbe zeigt auch der zweite Unterschied an, den man zwischen den früheren und den jetzigen Resultaten findet, die Lichtabsorption in der Kohlensäure betreffend. In allen früheren Versuchen zeigte sich nämlich Kohlensäure deutlich durchlässiger als Luft (in bezug auf Nebelkernbildungen 1900, Bd. 1, S. 498<sup>35</sup>), in bezug auf Trägerbildung 1900, Bd. 3, S. 316), während sie jetzt undurchlässiger ist selbst als Luft, die Kautschukdämpfe oder viel Wasserdampf enthält, und es wurde dabei in allen Fällen käufliche Kohlensäure benutzt. Die Verschiedenheit der Wellenlängengebiete entspricht der bei den jetzigen Versuchen stets eingehaltenen Vorschaltung von mindestens 4 cm Luftstrecke, während bei den früheren Vergleichsversuchen zwischen den verschiedenen Gasen die Luftstrecken zwischen der Lichtquelle und den Apparaten so kurz wie nur möglich gehalten, meist auf wenige Millimeter reduziert wurden. Es konnten daher früher in Luft stark absorbierbare und also auf dieselbe auch stark wirkende Wellenlängen (SCHUMANN'sches Gebiet) mit zur Geltung kommen,

<sup>35</sup>) In der Veröffentlichung ist angegeben: „nicht undurchlässiger als Luft“; in den Versuchsprotokollen findet sich auch: „fast so durchlässig wie Wasserstoff“.

Tabelle V. Absorption in festen Medien (Wirkung auf Luft).

No.	Material.	Dicke d mm.	Durchgelassen in pc.		Bemerkungen.
			Überschuß der — Träger (Lichtel. Wirkung auf Aluminium.)	+ Träger (Wirkung auf die Luft)	
1	Quarz- Kristall ⊥ Axe	1 Platte	Abs.-Verm. a <sub>1</sub>	Abs.-Verm. a <sub>2</sub>	Die Absorptionsmessungen von Herrn S. Sachs (l. c.), wobei ohne Korrektion proportional der Elektrometerwirkung ge- rechnet wurde, ergaben für Quarzkristall den nahe übereinstimmenden Wert a <sub>1</sub> = 0.08 mm <sup>-1</sup> (für amorph. Quarz dagegen a = 0.97 mm <sup>-1</sup> ).
2		2 Platten	0.03	0.24	
3		3 Platten	0.10	0.35	
4	1 Platte 1 Platte	3.9 + 1.0 = 4.9 + 5.0 = 9.9	1	0.24	
5		15	71 43	56 40	
6	Steinsalz, natürliches Spalt- stück	6 bis 7	103	65	Im Quarzspektralapp. bei 185 µm noch gut durchlässig.
7	Steinsalz, natürl. Spaltstück		74*	80*	*Bei Vorschaltung von noch 21 cm Luftstrecke.
8	Gips, Spaltstück	0.5 bis 1	87	74	Im Quarzspektralapp. bei 185 µm noch gut durchlässig.
9	" "	8	11	4	Die Durchlässigkeit ist an versch. Stellen der Platte sehr verschieden.
10	" " geschliffene Platte	1.5	52	45	
11	Kalkspat, Rhomboeder	26	14	3	Im Quarzspektralapp. bei 206 µm noch durchlässig; bei 202 µm undurchlässig.
12	Kalkspat, ⊥ zur Axe ge- schliffene Platte	3	18	3	Völlig farblose, gut klare Platte, jedoch auch im Quarzspektralapp. schon von 254 µm an merklich absorbierend, also offenbar ultraviolett-schlecht <sup>39)</sup> .
13	Flußspat ⊥ Axe, geschlif- fene Platte	3	7	10	Das Ultraviolett-Kron absorbiert im Quarzspektralapp. von 290 µm an.
14	Ultraviolett-Kron	2	< 1	< 1	
15	Aluminiumfolie	0.004	< 1	< 1	

<sup>39)</sup> Vgl. die andern Platten, Tab. VI, Nr. 11 und 12.

Tabelle VI. Absorption in festen Medien (Wirkung auf Kohlensäure).

No.	Material.	Dicke mm	Durchgelassen in pc + Träger (Gaswirkung)	Bemerkungen.
1	Quarzkristall, $\perp$ Axe.	0.25	76	Häufig verwandt als Verschlussplatte.
2	}	}	67	Wenn die Flußspatplatte No. 12 vorgeschaltet war (durch diese gegangene Wirkung = 100 gesetzt). Wenn die Steinsalzplatte No. 5 vorgeschaltet war (wie vor. gerechnet).
3			65	
4			48	
5	Steinsalz, natürlich. Spaltstück (= Nr. 6, Tab. V).	6 bis 7	65	Wenn die Flußspatplatte No. 12 vorgeschaltet war (gerechnet wie vor.). Variabel an verschiedenen Stellen (wie Tabelle V).
6			58	
7	Gips, Spaltstück (= Nr. 8, Tab. V).	0.5 bis 1	38	
8	} geschliffene Platte.	1.5	10	Wenn die Flußspatplatte No. 12 vorgeschaltet war (gerechnet wie vor.).
9			11	
10	Kalkspat, $\perp$ Axe geschliffene Platte (= Nr. 12, Tab. V).	3	2	
11	Flußspat, geschliff. Platte.	3	57	Grünlich, mit sichtbaren Trübungen und Kristallsprünge; selbes Material wie die häufig benutzte Linse.
12	" " "	3	64	Farblos, klar.

während sie jetzt ausgeschlossen waren. Dies erklärt in der Tat auch sämtliche beobachtete Unterschiede. Was die Luft anlangt, so zeigen in dieser Beziehung unsere früheren Versuche (1900, Bd. 3, S. 316), daß das in Luft erheblich absorbierbare Ultraviolett der damaligen Aluminiumfunken durch 1 cm Luft und insgesamt 1,5 mm Quarzkristall noch merklich durchdrang, indem es dahinter (und hinter 6,5 cm Wasserstoff) noch merklich auf Luft trägerbildend wirkte. Wurden die 6,5 cm Wasserstoff durch Luft ersetzt, so sank die Wirkung auf die Hälfte herab, was jetzt dadurch erklärlich wird, daß dann nur mehr die in Luft weniger absorbierbaren und doch wirkenden Wellenlängen übrig blieben, welche eben der Gegenstand der jetzigen Versuche sind.

Was die Kohlensäure anlangt, so entspricht ihre früher gefundene relativ große Durchlässigkeit ganz den neueren spektral-photographischen Absorptionsbeobachtungen von Herrn LYMAN<sup>37)</sup>, wonach in der Tat im SCHUMANN'schen Gebiet Kohlensäure durchlässiger ist als Luft (nämlich viel durchlässiger als Sauerstoff, während Stickstoff für das gleiche Gebiet auch schon stark absorbierend gefunden wurde); unsere jetzigen Versuche zeigen aber, daß in dem jetzt benutzten Wellenlängengebiet das Entgegengesetzte der Fall ist.<sup>38)</sup>

Absorption in festen Medien. Wir haben die betreffenden Medien in Plattenform zwischen Lichtquelle und Bestrahlungsrohr gestellt. Die dann noch übrig bleibende Elektrometerwirkung in Prozenten der ursprünglichen findet sich in den Tabellen V u. VI (v. S.) als durchgelassen angegeben, zum Teil in besonderer Kolumne auch für die lichtelektrische Wirkung auf die Gefäßwände (Aluminium) zum Vergleich mit der Gaswirkung. Zu den Versuchen mit Wirkung auf Luft (Tab. V) war ein Rohr wie Fig. 1 benutzt, das mit Aluminiumblech ausgekleidet war, da es von Interesse schien, die bekanntlich dem langwelligen Ultraviolett zugehörige Wirkung auf dieses Metall mit in Vergleich zu ziehen. Die Entfernung der Lichtquelle von der Fluß-

<sup>37)</sup> LYMAN, *Astrophys. Journ.* 27, p. 87, 1908.

<sup>38)</sup> Genau genommen zeigen unsere Versuche an, daß von den durch 5,2 cm Luft und die 7 mm dicke Flußspatlinse gegangenen Strahlen der Lichtquelle der auf Kohlensäure wirkende Teil in der Kohlensäure stärker absorbiert wird als der auf die filtrierte Luft wirkende Teil in dieser Luft. Diese Aussage fällt mit der obigen zusammen, sobald man annimmt, daß für beide Gase dieselben Wellenlängen in Betracht kommen.

spatlinse war (ausgenommen bei Nr. 7) 4 cm, der Luftraum war 13 cm tief. Zu den Versuchen mit Kohlensäure (Tab. VI) war das Rohr, Fig. 2, ohne jeden festen Abschluß benutzt; der Abstand der Lichtquelle war 10 cm.

Auch hier, wie bei der Absorption in Gasen, dürfen die Durchlässigkeitszahlen nicht als exakt quantitativ im optischen Sinne genommen werden, wegen des nicht linearen Zusammenhangs zwischen Elektrometerwirkung und Lichtintensität (vgl. d. III. Teil); es müssen danach die angegebenen Durchlässigkeitszahlen bei Luft zu groß, bei Kohlensäure zu klein sein. In einigen Fällen (Tab. V, Nr. 1—5 bei Quarz) haben wir mit Hilfe der Kurve, welche wir im III. Teil geben (Trägermenge und Lichtintens. bei Luft), Reduktion auf Lichtintensitäten vorgenommen und danach die Absorptionsvermögen  $a$  berechnet (durchgelassene Intensität =  $100 e^{-ad}$ ). Man muß übrigens bei der Abhängigkeit des erwähnten nicht linearen Zusammenhangs vom Gasstrom die Durchlässigkeitszahlen der Tabelle als um einige Prozent ihres Wertes schwankend ansehen.

Es lassen sich an diese Zahlen folgende Bemerkungen knüpfen:

Für die lichtelektrische Wirkung auf Aluminium ist Alles (innerhalb der Genauigkeitsgrenzen) durchlässiger als für die Gaswirkung, was sich daraus erklärt, daß auf Aluminium auch das gewöhnliche langwellige Ultraviolett mitwirkt, für welches sämtliche benutzten Medien sehr durchlässig sind. Daß dennoch die Kalkspatplatte, Tab. V, Nr. 12, welche im Ultraviolettspektralapparat mit dem Fluoreszenzschirm geprüft bis  $\lambda = 215 \mu$  noch gut durchlässig war, auch für die Aluminiumwirkung nur 18 pc Durchlässigkeit ergibt, zeigt dabei an, daß die ultraviolette Emission unserer Lichtquelle ganz überwiegend unter  $\lambda = 215 \mu$  liegen muß.

Auffallend ist danach die relativ große Durchlässigkeit des kristallisierten Quarzes, welcher in Schichten von 20—30 mm nach Herrn SCHUMANN<sup>39)</sup> schon bei  $\lambda = 363 \mu$  merklich zu absorbieren beginnt und bei  $\lambda = 180 \mu$  nahezu vollständig absorbiert. Diese gute, Steinsalz und Flußspat nahe gleichkommende Durchlässigkeit des Quarzes für die Luftwirkung nimmt noch zu, wenn dickere Quarzplatten benutzt werden (vgl. die Werte von  $a_2$  Nr. 1—5 Tab. V); man kommt bei den dicken Schichten

<sup>39)</sup> V. SCHUMANN, *Wien. Ber.*, Bd. 102, p. 456 u. 671, 1893.

(15 mm) nahezu zur gleichen Durchlässigkeit für die Luftwirkung wie für die Aluminiumwirkung. Dies ist wohl so zu deuten, daß durch die ersten Schichten der dickeren Quarzplatten der kurzwelligste Teil des auf die Luft wirkenden Ultraviolets unserer Lichtquelle (immer bei Vorschaltung der vorhandenen Luftstrecke aufgefaßt) bereits fortabsorbiert ist, so daß dann nur mehr das in Quarz weniger absorbierbare, auf Luft und Aluminium nahe gleich wirkende Ultraviolett übrig bleibt. Das erstere, in Quarz stärkst absorbierbare Ultraviolett läge nach der Dispersions-theorie<sup>40)</sup> bei ca.  $\lambda = 100 \mu$ .

Zu bemerken ist auch (vgl. die Zahlen  $a_2$ ), daß Kombinationen mehrerer Quarzplatten besonders starke Schwächung der Wirkung ergeben und zwar nur der Luftwirkung, nicht der Aluminiumwirkung. Dies zeigt starke Abspaltung von Strahlungsenergie an den Oberflächen an. Gewöhnliche, regelmäßige Reflexion ist das aber nicht, denn wir konnten keine deutliche Luftwirkung in dem von einer Quarzplatte gespiegelten Lichte unserer Quelle nachweisen, wogegen ein Stahlspiegel sehr gut wirkte. Die beobachtete Energieabspaltung könnte diffuse Reflexion, aber etwa auch eine besondere Oberflächenabsorption sein.

Von besonderem Interesse sind die Versuche mit Kombinationen verschiedener Medien, insofern sie zeigen, daß das auf Luft und auch das auf Kohlensäure wirksame Spektralgebiet jedenfalls nicht einheitlich, eng begrenzt sein kann. Schon die Verschiedenheit des Absorptionsvermögens bei verschiedener Dicke von Quarz zeigte dies an. Man beachte ebenso (Tab. V, Nr. 6 u. 7), daß Steinsalz für die Luftwirkung (nicht für die Aluminiumwirkung) sehr viel durchlässiger wird, wenn mehr Luft vorgeschaltet ist. Luft und Steinsalz absorbieren danach die bei der Luftwirkung in Betracht kommenden Strahlen beide selektiv, und zwar in ähnlicher Spektralverteilung. Das Entgegengesetzte ist der Fall bei Quarz und Steinsalz; Quarz wird undurchlässiger gefunden, wenn bereits Steinsalz vorgeschaltet ist (Tab. VI, Nr. 4). Diese beiden Medien absorbieren danach im betreffenden Spektralgebiet selektiv und ungefähr komplementär. Daß die Vorschaltung der Flußspatplatte die Absorption der Steinsalz-, Quarz-, Gipsplatte nicht wesentlich änderte (Tab. VI, Nr. 3, 6, 9), zeigt an, daß mindestens eine dieser vier

<sup>40)</sup> MARTENS, *Annalen d. Physik* 6, p. 629, 1901.

Platten, also nach dem vorherigen wahrscheinlich die Flußspatplatte (vielleicht die Gipsplatte), in dem hier in Betracht kommenden Wellenlängengebiet nahe gleichmäßig absorbiert.

In Vergleich mit den Absorptionsresultaten unserer früheren Versuche (1900, Band 1, p. 489), wo das SCHUMANN'sche Wellenlängengebiet vorwiegend in Betracht kam, ist besonders zu bemerken, daß damals Flußspat, und zwar dieselbe Platte wie Tab. VI, Nr. 11, sich durchlässiger zeigte als Luft, während sie jetzt undurchlässiger ist.

Über die in den gegenwärtigen Versuchen wirksamen Wellenlängen. — Stellt man hiernach die Frage nach den Wellenlängen der hier benutzten Strahlen unserer Lichtquelle, welche hinter vier und mehr cm Luft noch übrig bleiben und welche auf die filtrierte Luft und die Kohlensäure wirken<sup>41)</sup>, so ist folgendes zu sagen. Zwischen 120 und 178  $\mu\mu$  (SCHUMANN'sches Gebiet) können dieselben nicht liegen nach ihrer in Tab. IV festgestellten geringen Absorption in Luft.<sup>42)</sup> Die Grenze 178  $\mu\mu$  entnehmen wir dabei dem Resultate Herrn LYMAN's, der bei dieser Wellenlänge noch erhebliche Absorption hinter 0,91 cm Sauerstoff von Atmosphärendruck nachwies, was der von uns in Tab. IV angewandten Luftstrecke von 4 cm nahe entspricht, selbst wenn man von der Absorption des Stickstoffs ganz absieht.<sup>43)</sup> Es könnten also Wellenlängen diesseits und jenseits dieses Gebietes sein. Länger als 215  $\mu\mu$  können die Wellen aber keinesfalls sein, denn sie wurden in einer für diese Wellenlängen noch sehr durchlässigen Kalkspatplatte stark absorbiert (Tab. V, Nr. 12). Die relativ starke Absorption in Kohlensäure (Tab. IV) schließt sogar Wellenlängen größer als etwa 186  $\mu\mu$  aus, von welchen nach Herrn KREUSLER's Versuchen (l. c.) in 4 cm Kohlensäure nur 3 pc absorbiert werden (gegen 67 pc in Tab. IV).<sup>44)</sup>

<sup>41)</sup> Es ist wahrscheinlich, daß auf die beiden Gase verschiedene Wellenlängen wirkten; wir können aber hier zunächst nur die Frage nach der Gesamtheit des in beiden Fällen in Betracht kommenden Spektralgebietes stellen.

<sup>42)</sup> Die Ausschaltung dieses Gebietes haben wir bereits oben (S. 25f.) den vorgeschalteten Luftschichten zugeschrieben.

<sup>43)</sup> LYMAN, l. c. Dieser Lage der Grenzen der starken Luftabsorption entspricht es auch, daß Herr SCHUMANN (l. c., p. 667) für  $\lambda = 170$  völlige Undurchlässigkeit von 2 cm Luft angibt, während Herr KREUSLER (*Ann. d. Phys.* 6, p. 412, 1901) für  $\lambda = 186$  nur mehr 8,8 pc. Absorption in 20 cm Luft (also 1,8 pc. in 4 cm) findet.

<sup>44)</sup> In gleichem Sinne sprechen auch die von uns an den Dampfspuren

Es bleibt also die Möglichkeit, daß die Wellenlängen ganz in dem engen Gebiete zwischen ca. 185—178  $\mu\mu$  liegen, was aber die relativ gute Durchlässigkeit des kristallisierten Quarzes und die relativ geringe Durchlässigkeit des Flußspats (Tab. V u. VI), sowie die S. 30 beobachtete Oberflächenwirkung nicht sehr wahrscheinlich machen, oder aber, daß auch außerordentlich kurze, bisher noch nicht zur Untersuchung gelangte Wellenlängen jenseits der bekannten starken Absorptionen der Luft, des Flußspats<sup>45)</sup> und des kristallisierten Quarzes<sup>45)</sup> wesentlich mitgewirkt haben, also Wellenlängen kleiner als etwa 90  $\mu\mu$ .

Die Absorptionen von Kombinationen verschiedener fester Medien (S. 30) sprechen auch in letzterem Sinne; sie erscheinen kaum vereinbar mit der Wirkung eines so eng begrenzten Spektralbezirkes wie 185—178  $\mu\mu$ , zeigen vielmehr das Zusammenwirken verschiedener ultravioletter Wellenlängengebiete an.

Für die Mitwirkung noch unbekannter Strahlung sprechen endlich auch Versuche, welche wir mit Hilfe spektraler Zerlegung in Flußspat ausgeführt haben, und welche mit ausschließlicher Wirkung des Gebietes von 185—178  $\mu\mu$  ebenfalls nicht vereinbar erscheinen. Bei diesen Versuchen haben wir statt der Zerlegung im Prisma die chromatische Aberration in einer Flußspatlinse benutzt, ganz wie es schon früher (1900, Bd. 1, p. 494) mit Erfolg geschehen war. Da wir dieses Versuchsverfahren bereits damals ausführlich beschrieben hatten, beschränken wir uns hier auf kürzere Angaben.

Die benutzte Linse war dieselbe wie früher; sie war auf 24 mm abgeblendet. Da die Funken unserer jetzigen Versuche zu groß und unscharf begrenzt waren, um selbst als abzubildendes Objekt zu dienen, beleuchteten sie ein Glimmerdiaphragma von 10 mm Durchmesser im Abstand von 10 mm, und dieses wurde durch die Linse auf ein zweites Diaphragma, aus Blei, von konjugierter Größe abgebildet. Durch dieses zweite Diaphragma trat dann das Licht unmittelbar in das Bestrahlungsgefäß Fig. 1,

---

gemachten Erfahrungen; denn starke Absorptionen durch solche Dämpfe, z. B. in Gasen, welche durch Kautschukschläuche geleitet wurden, sind weder in den Messungen von Herrn KREUSLER ( $\lambda \lesssim 185 \mu\mu$  l. c.), noch auch in Herrn LYMANN'S Spektralphotographien im Gebiete  $\lambda > 180 \mu\mu$ , aufgetreten.

<sup>45)</sup> Über diese, aus der Dispersionstheorie geschlossenen ultravioletten Absorptionen dieser Kristalle vgl. MARTENS, l. c.

dessen Verschuß dabei die  $\frac{1}{4}$  mm dicke Quarzplatte war und dessen Tiefe auf 8 cm gestellt wurde. Es wurde filtrierte Luft benutzt. Bei Auffangung der negativen Träger wurde die als hinterer Abschluß dienende Quarzplatte Q (Fig. 1) durch eine Messingplatte ersetzt, so daß das Licht nach Durchstrahlung der Luft überall Messing traf und also in der Menge der negativen Träger überwiegend lichtelektrische Wirkung auf Messing gemessen wurde. Es waren sowohl die Linse als auch das Bestrahlungsgefäß auf Schlitten verschiebbar, letzteres ohne Änderung der Wege des Luftstromes, so daß die Mengen der positiven und der negativen Träger gemessen werden konnten, welche durch die vorzugsweise Wirkung der einzelnen Strahlenarten entstanden, denen verschiedene Brennweiten der Linse, also verschiedene Brechungsexponenten im Flußspat zugehörten. Die Brennweiten, welche den einzelnen Versuchen entsprachen, wurden aus den Objekt- und Bildweiten (Abständen der beiden Diaphragmen von der Linse) unter Berücksichtigung der Linsendicke, wie früher, berechnet. Der größte benutzte Abstand vom Objekt bis zum Bild betrug 30 cm, der kleinste 8 cm; direkt miteinander verglichen wurden jedoch nur Luftwege, die nicht sehr verschieden lang waren, und die so resultierenden drei Versuchsgruppen wurden durch proportionale Umrechnung einander angeschlossen. Es ergab sich so folgende Zusammenstellung:

Tabelle VII.

Brennweite in mm.	20.5	24.6	27.7	33.6	37.1	44.4	49.2
Gaswirkung (+ Träger)	1.0	1.79	2.00	2.00	1.50	1.04	0.73
Gefäßwirkung (- Träger)	1.0	1.45	1.59	1.75	1.69	1.34	1.08

Trägt man dieselbe graphisch auf, so ergibt sich das Maximum der Luftwirkung bei einer Brennweite von 31 mm, das der Messingwirkung bei 33 mm. Diesen Brennweiten entsprechen Brechungsexponenten im Flußspat von 1.649 bzw. 1.611. Sie liegen beide außerhalb des Gebietes vorhandener Brechungsmessungen; die von Herrn MARTENS besonders auch für Flußspat entwickelte Dispersionstheorie ergibt aber<sup>46)</sup> für jene

<sup>46)</sup> In guter Übereinstimmung mit den von dem einen von uns schon früher, Sitzungsberichte der Heidelb. Akademie, math.-naturw. Kl. 1910. 31. Abb. 3

Brechungsexponenten die Wellenlängen: für die Luftwirkung  $135 \mu\mu$  und für die Aluminiumwirkung  $142 \mu\mu$ .

Diese Wellenlängen liegen beide im Gebiete starker Luftabsorption, konnten also in Wirklichkeit in unseren Versuchen nicht die maximal wirksamen gewesen sein<sup>47)</sup>; es mußten also sowohl mehr als weniger in Flußspat brechbare Wellenlängen zusammengewirkt haben. Die weniger brechbaren können in dem oben genannten Gebiet von  $\lambda = 185$  bis  $178 \mu\mu$  gelegen haben, wo der Brechungsexponent des Flußspats =  $1.51$  wäre. Wellenlängen mit größeren Brechungsexponenten als  $1.649$  im Flußspat können, wenn sie außerhalb der bekannten starken Luftabsorption und der nach Herrn LYMAN unmittelbar sich anschließenden<sup>48)</sup> Absorption des Flußspats liegen sollen, nur jenseits der letzteren ( $90 \mu\mu$ ) gesucht werden. Es müßte, wenn solche Berechnungsexponenten jenseits  $90 \mu\mu$  sich finden sollten, der Flußspat noch weitere starke Absorption im noch kurzwelligeren Ultraviolett besitzen. Dies wird in der Tat von Herrn MARTENS (l. c.) schon nach bisherigen Dispersionsmessungen als wahrscheinlich angegeben.

Sämtliche bis jetzt gewonnene Kenntnis führt also zum wahrscheinlichen Resultate der Mitwirkung von Wellenlängen kleiner als  $90 \mu\mu$  bei unseren Versuchen.<sup>49)</sup>

Da weiteres Vordringen in dieser Frage mit Hilfe spektraler Zerlegung, auch mit dem Gitter, ausgeschlossen erscheint, werden wir die Anfangsgeschwindigkeiten der lichtelektrischen Kathodenstrahlen zu weiterer Entscheidung benutzen. Um dies ohne Unterbrechung der übrigen Versuche zu ermöglichen, ist ein zweites Exemplar der Lichtquelle beschafft und aufgestellt

1900, Bd. 1, p. 496, nach der HELMHOLTZ'schen Dispersionstheorie angegebenen, angenäherten Zahlen; ebenso, soweit zu sehen, mit den neueren Untersuchungen der Herren SCHUMANN (Smithson. Contrib. 1413, 1903) und LYMAN (Americ. Acad. 13, p. 143, 1906).

<sup>47)</sup> Man bemerkt, daß alle diese Schlüsse auf der Annahme lückenlos starker Absorption einer Luftschicht von 4 cm Dicke längs des ganzen SCHUMANN'schen Gebietes beruht, entsprechend den bisherigen spektralphotographischen Resultaten der Herren SCHUMANN und LYMAN.

<sup>48)</sup> Das Absorptionsminimum des Sauerstoffs ( $128 \mu\mu$ ), welches hier in Betracht käme, fällt mit starker Absorption des Stickstoffs zusammen, soweit die Untersuchungen von Herrn LYMAN sehen lassen.

<sup>49)</sup> Nicht ausgeschlossen ist die Mitwirkung noch anderer unbekannter Vorgänge; doch ist aller Anlaß vorhanden, zunächst noch weiter an Lichtwellen zu denken.

worden. Es wird sich dabei auch zeigen können, wie weit ins Ultraviolett hinein die Emissionen der einzelnen, als Elektroden zu benutzenden Metalle reichen.

#### Anhang: Übersicht über die Ultraviolettgebiete.

Wellenlängen- gebiet $\mu\mu$	Bezeichnung (bzw. gekürzte Bezeichnung)	Bemerkungen über Eigenschaften und Quellen.
500—440	Blau	Sichtbar.
440—380	Violett	Sichtbar.
380—340	Glas- ultraviolett (Glasviolett)	Von gewöhnlichem Glas in nicht zu dicker Schicht noch durchgelassen; reichlich vom elektr. Kohlebogen ausgehend.
340—300	Jenaglasultra- violett (Jenaglasviolett)	Von Jenaer Ultraviolett-kron noch durchgelassen; von Uviolquecksilberlampen stark emittiert.
300—220	Quarzglasultra- violett (Quarzglas- violett)	Von geschmolzenem Quarz (auch Kalkspat) in nicht zu dicker Schicht noch durchgelassen; letzter Teil der Emission von Quarzquecksilber- und Quarzamalgalampen.
220—180	Quarzkristall- ultraviolett (Kristallviolett)	Von kristallisiertem Quarz (auch Gips, Steinsalz) in nicht zu dicker Schicht noch durchgelassen; zerlegbar in Quarzspektrographen.
180—120	Flußspatviolett (Schumann- violett)	Von gutem Flußspat noch durchgelassen, aber schon von kurzen Luftstrecken völlig absorbiert; in Vacuumspektralapparaten mit Flußspatmedien zerlegbar.
120—90(?)	Reflexultra- violett (Reflexviolett)	Nach der Dispersionstheorie stark metallisch reflektiert von allen vorgenannten festen Medien; nur bei Ausschluß aller dieser Medien zu untersuchen; zerlegbar mit dem Reflexionsgitter (LYMAN).
noch kürzere Wellen	Transreflex- violett	

Bezeichnungen größerer Teile des Ultraviolett werden durch die Silben intra- bzw. trans- erhalten; so z. B. intrakristallviolett für Wellen länger als 180  $\mu\mu$  (alles durch Quarzkristall gehende Ultraviolett), transkristallviolett für Wellen kürzer als 180  $\mu\mu$ .

Das gesamte Gebiet auch nur des bis jetzt verfügbaren Ultravioletts ist, wie auch das eben Vorhergehende zeigte, sehr

groß, und es finden sich darin Teile, welche in ihren Eigenschaften sehr viel mehr voneinander verschieden sind, als z. B. sichtbares Licht von dem nächstangrenzenden Ultraviolett. Dennoch werden alle diese Teile des ultravioletten Spektrums bis jetzt fast stets als Ultraviolett schlechthin bezeichnet und, namentlich in der chemischen Literatur, zusammengeworfen, wobei oft in der Tat die stillschweigende Annahme zugrunde liegt, daß alles ultraviolette Licht sich gleich verhalte, so daß Untersuchungen an Ultraviolett von gewissen Wellenlängen meist ohne weiteres auf Ultraviolett überhaupt bezogen werden, was natürlich zu Widersprüchen führen muß. Der Mangel liegt ohne Zweifel in dem Fehlen kurzer Namen der verschiedenen Teile des Ultraviolett, durch welche man dieselben auch dann genügend eindeutig bezeichnen könnte, wenn Wellenlängenmessungen nicht vorliegen, so wie man die verschiedenen Teile des sichtbaren Spektrums durch die Farben leicht und für viele Zwecke ganz genügend bezeichnet. Die hier anhangsweise gegebene Übersicht der Ultraviolettgebiete enthält einen Vorschlag in dieser Beziehung, den wir auch selbst künftig zu benutzen denken.

