

**3. Das Entwicklungsgesetz
des Hittorfschen Kathodendunkelraumes;
von H. Ebert und P. Ewers.**

Die vorliegende Arbeit bildet die Fortsetzung und den Schluß einer in diesen Annalen schon vor drei Jahren (1899) von einem von uns veröffentlichten ersten Untersuchung¹⁾ über den genannten Gegenstand. Sie bringt das Belegmaterial für die Gültigkeit der früher (p. 212) aufgestellten einfachen gesetzmäßigen Beziehung zwischen dem Gasdrucke p und der Dicke d des Dunkelraumes

$$(I) \quad d \cdot p^m = d_0 = \text{konst.}$$

auch für andere Gase als Sauerstoff, für den schon früher zwei Messungsreihen in extenso mitgeteilt worden waren, sowie eine Prüfung für verschiedene Formen der Kathode. Bemerkt sei schon im voraus, daß sich das genannte Gesetz seither in allen Fällen durchaus bewährt hat.²⁾ Unterdessen sind auch von den Hrn. N. Hehl³⁾ und O. Lehmann⁴⁾ diesbezügliche Messungen angestellt worden.

Herr Lehmann spricht seinen Messungen wegen einer Unvollkommenheit in der Druckmessung nur den Charakter von Vorversuchen zu; sie ergaben indessen bei genügender Stromstärke Zahlenwerte, welche sich dem genannten Gesetze ein-

1) H. Ebert, Wied. Ann. **69**. p. 200. 1899.

2) Eine vorläufige Mitteilung über eine Reihe der im folgenden wiedergegebenen Messungsergebnisse findet sich in den Verhandl. d. Deutschen Physik. Gesellsch. **2**. p. 99. 1900.

3) N. Hehl, Sitzungsber. d. phys.-med. Soc. Erlangen **33**. p. 170. 1901; auch als Inaug.-Diss. Erlangen 1901 erschienen; ein Auszug der Arbeit: Phys. Zeitschr. **3**. p. 547. 1902.

4) O. Lehmann, Verhandl. d. naturwissensch. Ver. zu Karlsruhe, **15**. 1902.

ordnen lassen; große Abweichungen zeigten sich dagegen bei sehr geringen Stromstärken (l. c. p. 12).

Was den letzteren Punkt anbelangt, so wurde schon im ersten Teile der vorliegenden Arbeit (p. 202) hervorgehoben, daß sich die Dicke des dunklen Raumes mit der Stromdichte an der Kathode ändert, und zwar in *dem* Sinne, daß bei tieferen Drucken der Dunkelraum mit abnehmender Stromstärke stark wächst und mit zunehmender Stromesintensität sich auf ein ganz bestimmtes, nur noch vom Gasdrucke und der Gasnatur abhängiges *Minimum* zusammenzieht. Diese Verhältnisse sind unterdessen von Hrn. O. Lehmann selbst l. c. auch quantitativ genauer verfolgt worden. Die von ihm in Fig. 1 und 2 p. 15 und 16 gegebenen Curven lassen diese Abhängigkeit deutlich erkennen. Um bei unseren Messungen möglichst einfache Verhältnisse zu haben und um von diesem Einfluß der Stromstärke frei zu werden, haben wir, wie schon früher (vorige Arbeit p. 203), immer mit verhältnismäßig hohen Stromstärken gearbeitet und ferner den benutzten Gleichstrom-Wechselstromumformer so einreguliert, daß er bei der zur Unterhaltung der Entladungen notwendigen effektiven Spannung immer fast die gleiche Stromstärke im Hochspannungswechselstromkreise lieferte. Die verwendeten Stromstärken liegen alle zwischen 12 und 17 Milliampères. Da wir ferner mit den Drucken fast nie auf 0,10 mm herabgegangen sind, so liegen die für unsere Versuche geltenden Kurven für den Zusammenhang zwischen Stromstärke und Dunkelraumdicke alle weit unterhalb der von Hrn. O. Lehmann in den genannten Figuren dargestellten, welche diesen Zusammenhang für Drucke zwischen 0,01 und 0,05 mm darstellen. Greift man hier das zwischen $i = 12$ und $i = 17$ Milliampère liegende Kurvenstück heraus, so sieht man, daß es selbst für $p = 0,05$ völlig geradlinig ist, d. h. daß die Änderungen von d mit i bei unseren Versuchen in der Tat eliminiert waren. Dazu kommt noch, daß die von Hrn. O. Lehmann als Elektrode verwendete Kugel 7 cm, die unsrige nur 1 cm Durchmesser besaß, das von ihm verwendete ebene Drahtnetz 32 cm, die von uns benutzten Platten aber nur 1,4 bis 2,8 cm Durchmesser hatten, sodaß hier die Stromdichten, auf die es dabei ankommt, sehr erheblich viel größere waren. Somit wird durch die wertvollen Untersuchungen des Hrn. O. Lehmann über

diesen Punkt die von uns gemachte Voraussetzung wiederum bestätigt, daß es bei unserer Versuchsanordnung gelungen war, den Einfluß der Stromstärke ganz zu eliminieren.

Hr. Hehl erhebt gegen die Verwendung des Wechselstromes das Bedenken (p. 172 u. 195), daß die den zu verschiedenen Zeiten vorhandenen verschiedenen Stromstärken entsprechenden Dunkelraumdicken sich übereinander lagern müßten, der dunkle Raum also während einer Stromperiode von einer maximalen Ausdehnung allmählich zur minimalen erst abnehmen und dann steigen müßte. Wäre dies der Fall, so müßten die Grenzen zwischen den einzelnen Kathodenschichten bei Anwendung von hochfrequentem Wechselstrom oder allgemein von elektrischen Schwingungen unscharf und verwaschen erscheinen; aber gerade der außerordentliche Glanz der leuchtenden Schichten und ihre überaus scharfe Abgrenzung gegen die dunkle, zweite Schicht war es, die uns diese Stromform wählen und beibehalten ließ. Der Grund dafür, daß die genannte Änderung der Dunkelraumdicke mit der Stromstärke hierbei nicht von störendem Einflusse sein kann, ist ein sehr einfacher; die Entladung setzt ja nicht ein von dem Momente an, in welchem sich Spannung und Stromstärke eben von ihrem Nullwerte erheben, sondern erst nachdem die Spannung einen Wert von einigen Hundert Volt erreicht hat. Der eine von uns hat bei früherer Gelegenheit eingehender untersucht ¹⁾, welche Phasendifferenzen zwischen Spannung und Strom bei verschiedenen Entladungsröhren eintreten können und wovon dieselben abhängen, und an einer anderen Stelle gezeigt ²⁾, wie man sich mittels der Braunschen Kathodenröhre von dem zeitlichen Verlaufe von Stromstärke und Spannung zugleich Rechenschaft geben kann. Diese Methode auf den vorliegenden Fall angewendet zeigt, daß in der Tat die Stromstärke kaum variiert während der kurzen Zeit, während der die Spannung oberhalb des Wertes liegt, der nötig ist, um die Entladung durch das Gas hindurch zu treiben. Damit wird das genannte Bedenken gegenstandslos; in der Tat findet ja Hr. Hehl mit der Hochspannungsbatterie das eingangs erwähnte Gesetz auch bei nicht ganz bedeckter Kathode vollkommen bestätigt (p. 193 u. 202).

1) H. Ebert, Wied. Ann. 65. p. 787. 1898.

2) H. Ebert, Wied. Ann. 64. p. 240. 1898.

Um auch sonst immer unter möglichst vergleichbaren Bedingungen zu arbeiten, wurde das Druckintervall, über welches die Beobachtungsreihen ausgedehnt wurden, nicht zu weit, namentlich nicht zu den allertiefsten Drucken hin erweitert; denn bei diesen liefert bekanntlich das Druckmanometer unzuverlässige Werte, außerdem wurde bei tiefen Drucken für alle Gase durch die Spannungs- sowie die Dickenwerte eine während der Entladung selbst fortschreitende Veränderung des Gasinhaltes angezeigt. Ebenso war die obere Grenze der zu verwendenden Drucke durch den Moment festzulegen, in welchem sich die Kathodenoberfläche eben ganz mit den drei Kathodenschichten vollkommen bedeckt hatte; vorher wachsen die Dicken der zweiten, dunklen Schicht unverhältnismäßig rasch mit abnehmendem Drucke; ein *allseitiges* gleichmäßiges Sichabheben aller Schichten von der Elektrodenoberfläche findet erst von dem genannten Momente an statt. Hierdurch wird freilich der durch die Messungen garantierte Gültigkeitsbereich des Gesetzes etwas enger umgrenzt; aber auf eine gesetzmäßige Beziehung zwischen zwei Größen p und d kann überhaupt doch nur so lange gerechnet werden, als der Körper, auf den sie sich bezieht, in seinen wesentlichen Eigenschaften identisch mit sich selber bleibt.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde zur Erregung der Entladung derselbe hochfrequente und hochgespannte Wechselstrom wie früher gewählt. Als wesentlichen Vorteil dieser Erregungsart müssen wir die außerordentliche *Konstanz* dieser Elektrizitätsquelle, sowie die *genaue Meßbarkeit* aller den Entladungsvorgang begleitenden Erscheinungen hervorheben. Denn nicht nur läßt sich die effektive Stromstärke, die effektive Spannung, die konsumierte Energie, die Zahl der einzelnen Entladungen pro Sekunde mit völliger Sicherheit messen, sondern es läßt sich auch der *zeitliche Verlauf* der ganzen Erscheinung, und mittels der Braunschen Röhre die Form des Stromverlaufes, das Ansteigen der Spannung etc. auf das genaueste analysieren; wie dies im einzelnen geschieht und mit welchen Meßinstrumenten ist bei früheren Gelegenheiten eingehend erörtert worden.¹⁾

1) In seinem vor kurzem erschienenen Buche „Die Elektrizität in Gasen“ beurteilt Hr. J. Stark (p. 7) die von uns angewendete Methode

Einen Nachteil hat die Wechselstrommethode scheinbar, nämlich, daß sich bei ihr an derselben Elektrode für das Auge Anoden- und Kathodenerscheinung übereinanderlagern. Dies könnte zu Verwechselungen Veranlassung geben bei Gasen, bei denen, wie z. B. bei Stickstoff, das Licht der ersten Kathodenschicht, das sog. Kanalstrahlenlicht, in der Farbennuance dem Anodenlichte sehr nahe kommt. In diesen Fällen wurde durch einen, durch einen kleinen Elektromotor getriebenen Rotierspiegel (der gelegentlich auch direkt auf die Achse des zur Erzeugung der Gasentladungen benutzten Gleichstrom-Wechselstromumformers aufgesetzt wurde) die ganze Erscheinung auseinander gelegt; die Tourenzahl konnte durch Widerstände so einreguliert werden, daß bei völligem Synchronismus die Erscheinung völlig still stand. Dann konnte genau festgestellt werden, welches Lichtgebilde zur Anoden-, welches zur Kathodenerscheinung gehöre. Bei den meisten Gasen tritt schon bei verhältnismäßig hohen Drucken die Anodenerscheinung fast ganz zurück, jedenfalls bedeckt das Anodenlicht fast nie die ganze Platte, sondern sitzt auf einem Punkte derselben auf, sodaß eine Verwechselung mit der die ganze Platte bedeckenden ersten Kathodenschicht bei einiger Aufmerksamkeit ausgeschlossen ist.¹⁾

Als Elektroden wurden bei den folgenden Messungen verwendet:

1. Die schon früher benutzte *kleine Aluminiumplatte* von 1,0 cm Radius und 0,052 cm Dicke.

des hochgespannten Wechselstromes in sehr abfälliger Weise. Er weist zunächst darauf hin, daß das *Induktorium* für reine und messende Versuche durchaus ungeeignet ist, worin wir ihm vollkommen beipflichten, fährt dann aber unmittelbar fort: „Was für das Induktorium gilt, das gilt in der Hauptsache auch von dem Transformer für hochgespannten Wechselstrom“, und zitiert in diesem Zusammenhang den einen von uns (Ebert). Hr. Stark hat sich augenscheinlich nicht die Mühe genommen, die von ihm in dieser Weise kritisierte Methode selbst zu prüfen. *Wir müssen auf Grund unserer mehrjährigen Erfahrungen mit diesem Hilfsmittel eine derartige, durch nichts begründete Kritik entschieden zurückweisen.*

1) Bemerkenswert ist, daß die Schichtung des Kathodenlichtes eine nicht unbeträchtliche Zeit zu ihrer Ausbildung braucht, vgl. auch O. Lehmann, l. c. p. 37.

2. An dem gleichen dicken Stiele eine größere Platte von 1,40 cm Radius, d. h. nahezu doppelt so großer Fläche ($13,0 \text{ cm}^2$) und derselben Dicke.

3. Eine Platte von 0,69 cm Radius und 0,05 cm Dicke, deren gesamte Oberfläche von $3,2 \text{ cm}^2$ gerade so groß war, wie die folgende Kugel; sie war, wie diese, an einer sehr dünnen Zuleitung befestigt; Platte 2 war also die *größte*, Platte 3 die *kleinste* der verwendeten Plattenelektroden; das Verhältnis der Oberflächen ist nahezu das von 4 : 1.

4. Die massive Aluminiumkugel *K* Fig. 1 von 0,506 cm Radius; sie war an einem dünnen Aluminiumdrahte *d* von 0,1 cm Dicke befestigt, der oben in der Mitte des dicken als Stromzuleitung dienenden Messingstabes (*b* in Fig. 1 des ersten Teiles p. 204) eingelassen war. Um den Draht war ein dünnes Schutzrohr *rr* aus Glas gelegt, welches unten dünn ausgezogen war, sodaß nur ein äußerst kleiner Teil ($0,025 \text{ cm}^2$) der gesamten Kugeloberfläche bedeckt war. Bei der Berechnung der Volumina der Dunkelräume ist das diesem Querschnitt und der jeweiligen Dicke des Dunkelraumes entsprechende kleine Zylindervolumen in Abzug gebracht. Die andere Elektrode bildete wie früher der an einem dicken Messingstiele, der gleichfalls von einem Glasrohre umschlossen ist, getragene Ring *f* aus Aluminiumblech.

So konnten die Dunkelraumdicken an plattenförmigen Elektroden von dreierlei verschiedenen Größen, sowie an verschiedenartig gestalteten Elektroden (Kugel und Platte), aber von gleicher Oberfläche, für dieselben Drucke bei den einzelnen Gasen miteinander verglichen werden (wobei die Wände des Entladungsraumes immer sehr weit bei allen Elektrodenformen entfernt waren); ebenso war der Einfluß dickerer oder dünnerer Zuleitungen kontrollierbar.

Befestigt man die Platten an dem dicken Stiele, wie er früher benutzt wurde, so erhält die Elektrode zwei ein-

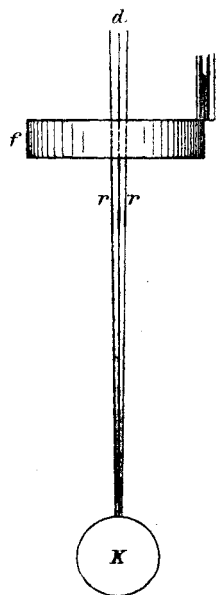


Fig. 1.

springende Winkel. In diesen ist die Dicke des Dunkelraumes geringer, worauf Hr. O. Lehmann schon früher hinwies.¹⁾ Die angeführten Messungen zeigen, daß dabei auch diejenigen Teile dieses Raumes eine Dickenverminderung erfahren, welche entfernteren Stellen der Elektrodenplatte anliegen. Erst bei größeren Dicken, von dem Momente an, in welchem das Einspringen des Glimmlichtes unmerklich wird, hört dieser vermindernde Einfluß auf und die Dicken wachsen rascher und zwar in einem Maße, als ob diese Störungsquelle nicht vorhanden wäre. In der Tat setzen die Reihen mit der dünnen Zuleitung die Messungswerte, welche bei niedrigen Drucken mit der dicken Zuleitung gewonnen wurden, fast ohne jede Diskontinuität nach der Seite der höheren Drucke hin fort.

Für die Messungen sind die plattenförmigen Elektroden, die hochkant betrachtet werden, vorteilhafter, weil sich hier die leuchtenden Teilchen in größerer Tiefe hintereinander lagern, die Schichten sich also deutlicher gegeneinander abheben. Bei der Kugel ist dies nicht in dem Grade der Fall und daher verschwimmen die Grenzen, namentlich die äußere Grenze der innersten Schicht, schon bei verhältnismäßig hohen Drucken. Den verschiedenen Graden der Deutlichkeit der Schichtung des Kathodenlichtes entsprechend empfiehlt es sich nicht, immer mit derselben Vergrößerung des auf der Teilmaschine montierten Fernrohres (vgl. frühere Arbeit p. 207) zu beobachten. Die Messungen wurden daher nur bei den höheren Drucken mit dem schon früher benutzten Fernrohre von 15facher Vergrößerung ausgeführt. Neben diesem war ein zweites, nur 2,7fach vergrößerndes, sehr lichtstarkes Fernrohr auf dem Schlitten der Teilmaschine befestigt, und endlich wurde bei den tiefsten hier benutzten Drucken mit einer einfachen Diopterröhrung, die dicht an die Flasche herangebracht wurde, mit bloßem Auge beobachtet.

Außer der Dicke d der Dunkelräume war auch das Wachsen der *Volumina* derselben mit abnehmendem Gasdrucke von Interesse.

Zur numerischen Berechnung der kreisscheiben-

1) O. Lehmann, Wied. Ann. 56. p. 327. 1895.

förmigen Platten umgebenden Dunkelraumvolumina ist die Formel

$$R = d[A + B(a_1 + a_3) + C(a_1^2 + a_1 a_3 + a_3^2)]$$

am bequemsten, in der a_1 und a_3 die in Millimeter umgerechneten Einstellungsdifferenzen in Bezug auf die erste und dritte Schicht bedeuten und

$$d = \frac{1}{2}(a_3 - a_1), \quad A = 2\pi\left(r^2 - \frac{\varrho^2}{2}\right), \quad B = \frac{\pi^2}{2}r, \quad C = \frac{\pi}{3}$$

ist; (r Plattenhalbmesser, ϱ halbe Dicke des den Plattenstiel umhüllenden Glasrohres).

Das Volumen des Dunkelraumes ist in den folgenden Tabellen unter R in Kubikmillimetern angegeben. Das Produkt $R \cdot p$ ist in absolutem Maße, d. h. auf *Erg* umgerechnet, aufgeführt (die Drucke wurden durch Quecksilbersäulen von rund 20° C. Temperatur gemessen, sodaß 1 mm der p -Werte in den Tabellen einem Druck von $0,1 \cdot 13,55 \text{ g/cm}^2$ oder $0,1 \cdot 13,55 \cdot 981 = 1329 \text{ Dyne/cm}^2$ entspricht; dies mit den Volumen R in Kubikcentimetern multipliziert gibt $\text{cm} \cdot \text{cm g sec}^{-2}$ oder *Erg*).

Um das Spektrum der Gasfüllung fortwährend überwachen zu können, wurde ein Querschnittsbild der an der Elektrode sich ausbildenden Lichtfigur A (Fig. 2 von oben gesehen) mittels eines Fernrohrobjektives F und eines großen totalreflektierenden Prismas P auf den Spalt S eines Merz'schen Spektralapparates entworfen. Die den rechten Teil der Fig. 2 bildenden Bestandteile der Anordnung sind unter sich verbunden und können samt dem Spektralapparat in einer Schlittenführung, parallel mit sich selbst, durch eine Mikrometerschraube hin und her bewegt werden. Dadurch kann man das Spektrum der einzelnen Schichten gesondert betrachten. Besonders bei den *Elektrodenplatten* ist die Tiefe, aus der das Licht kommt, auch bei der inneren Schicht so groß, daß der Anteil, welchen die äußere umhüllende Schicht hinzufügt, gegen denjenigen der inneren vollkommen zurücktritt. Die Verschiedenheiten und die Änderungen, welche sich in den Spektren der beiden leuchtenden Kathodenschichten mit abnehmendem Gasdrucke einstellen und die gerade bei Wechselstrom überaus markant sind, verdienen eine besondere Aufmerksamkeit.

Eine Hauptstörung bei allen genaueren quantitativen Untersuchungen über Gasentladungen bilden die von der Pumpe herüberkommenden Quecksilberdämpfe. Um das Eindringen derselben nach Möglichkeit zu verhindern, war zwischen dem Beobachtungsraum und allen übrigen Teilen (Pumpe und Druckmeßapparat) ein U-Rohr eingeschaltet, in dem eine größere Anzahl von Blattgoldpfropfen zwischen lockeren Glaswollstopfen übereinander geschichtet waren. Dieses Mittel hatte einen guten Erfolg, solange die Goldfüllung frisch war.

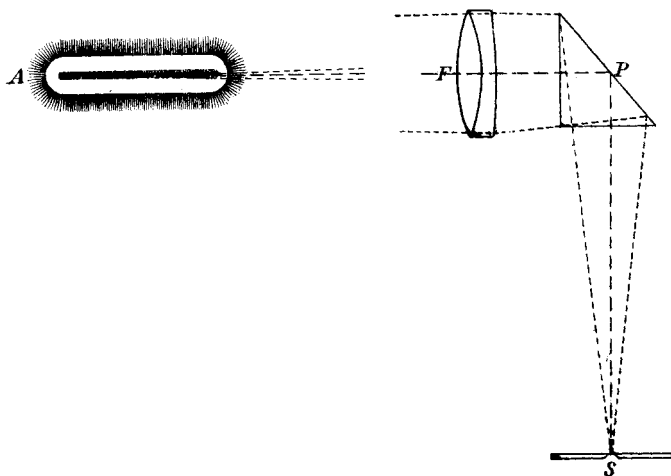


Fig. 2.

Nicht minder sorgsam musste jede Spur von Wasserdampf fern gehalten werden. Das übliche Trockenmittel, Phosphor-pentoxyd, ist nur dann zu verwenden, wenn es absolut rein ist, was bei den käuflichen Proben durchaus nicht der Fall ist. Wir haben uns verschiedentlich das P_2O_5 durch Verbrennen reinsten, elektrisch gewonnenen Phosphors im trockenen Luftstrome selbst hergestellt, das Präparat dann aber im getrockneten Sauerstoffstrome über glühendem Platinschwamme nach dem Vorgange der Herren Shenstone und Beck¹⁾ noch einmal sublimiert und unmittelbar darauf in die Trocken-gefäße gebracht. Aber auch dann ist dieses Trockenmittel nach längerem Gebrauche verdorben, was sich durch einen

1) W. A. Shenstone u. C. R. Beck, Chem. Soc. 63. p. 475. 1893.

stechenden Geruch beim Öffnen der Entladungsgefäße bemerklich macht. Nach sehr vielen Bemühungen, bei denen wir uns der gütigen Unterstützung verschiedener chemischer Kollegen zu erfreuen hatten, fanden wir reinste, konzentrierte Schwefelsäure, von der unmittelbar vor dem Gebrauche alle flüchtigen Bestandteile durch Erhitzen auf 338° abdestillirt waren, in verschiedenen Trockenflaschen vorgeschaltet, am wirksamsten und saubersten. Bei Sauerstoff und Stickstoff wurden die Gase erst *verflüssigt*; sodann ließ man sie langsam direkt in das Entladungsgefäß hineindampfen, wodurch selbst Spuren von Feuchtigkeit am sichersten zurückgehalten wurden, da der Dampfdruck des Eises bei diesen niedrigen Temperaturen verschwindend klein ist.

In den folgenden Tabellen haben die über den einzelnen Kolumnen stehenden Überschriften dieselbe Bedeutung wie in der früheren Arbeit; bemerkt sei nur noch, daß bei den hier mitgetheilten definitiven Messungsreihen sowohl auf die äußeren Begrenzungen der inneren, ersten Kathodenschicht wie auf die inneren Grenzen der äußeren, dritten Schicht auf beiden Seiten der Elektrode eingestellt wurde, und als Dicke d die Differenz der Dicken von dritter und erster Schicht aufgeführt ist, also in der That die Dicke des Raumes, der durch seine fast völlige Lichtlosigkeit das Interesse vornehmlich in Anspruch nimmt (gewöhnlich wird die Dicke des Dunkelraumes direkt von der Elektrodenoberfläche an gerechnet, was freilich immer dann erlaubt ist, wenn die Dicke der innersten Schicht verschwindend klein ist, was bei einigen Gasen innerhalb gewisser Drucke in der That der Fall ist).

Wir halten es für dringend notwendig, bei derartigen Messungen *alle* die Entladung bestimmenden Faktoren zu messen und mitzuteilen und nicht etwa nur die Stromstärkewerte ohne die Spannungen oder umgekehrt; wie viele der älteren und gelegentlich auch neueren Beobachtungen entziehen sich dadurch der Vergleichbarkeit, daß eine wesentliche Größe bei ihnen nicht mit bestimmt ist.

Zu unserer Orientierung haben wir eine viel größere Anzahl von Beobachtungsreihen angestellt, als im folgenden mitgeteilt sind; die Nummern derselben, sowie die in der ersten Kolumne stehenden Ziffern beziehen sich auf das Beobachtungsjournal.

I. Sauerstoff.

Derselbe wurde in den meisten Fällen aus chlorsaurem Kalium ohne weiteren Zusatz bereitet, durch Kalilauge und Jodkaliumlösung gereinigt und sodann direkt verflüssigt, indem man das Gas in ein Kondensationsgefäß leitete, welches in eine mit flüssiger Luft angefüllte Dewarflasche tauchte. Durch die Verflüssigung erreichte man vor allem, daß man ein vollkommen trockenes Gas erhielt, da alle Feuchtigkeit in festem Zustande in der Flüssigkeit zurückgehalten wurde. Um das Entladungsgefäß mit Sauerstoff zu füllen, ließ man direkt den flüssigen Sauerstoff aus dem Kondensationsgefäß in das Entladungsgefäß, welches möglichst weit evakuiert war, hinein verdampfen. Sodann wurde noch zweimal sorgfältig gespült, indem dazwischen alle Teile wieder unter fortwährendem Stromdurchgange evakuiert wurden, und mit der vierten Füllung die Messung angestellt.

Bei Sauerstoff war früher eine eigentümliche Diskontinuität bei dem Drucke $p = 0,70$ mm aufgetreten, derart, daß dort die Konstanten m und d_0 der Formel (I) plötzlich ihre Werte wechselten. Dieser Druck ist der nämliche, bei dem Hr. C. Bohr eine Abweichung vom Boyle-Mariotteschen Gesetz für Sauerstoff gefunden zu haben glaubte. Daß die Diskontinuität in dem Verlaufe der $p d$ -Kurven mit dem Entladungsvorgange selbst zusammenhängt und nicht in Abweichungen von den Gasgesetzen ihren Grund habe, wurde sofort erkannt, als die Entladungsbedingungen gewechselt wurden, wodurch sich die Knickstelle der sonst völlig geradlinigen Kurven, die man erhält, wenn man die $\log p$ als Abszissen, die $\log d$ als Ordinaten aufträgt, verschiebt. Auf einen Grund, der diese Diskontinuität bedingt, wurde oben p. 78 schon hingewiesen. Ein anderer liegt darin, daß bei einigen Gasen die Dicke d' der innersten, ersten Kathodenschicht plötzlich sehr schnell zu wachsen beginnt, wobei gleichzeitig die dritte Schicht um entsprechende Beträge hinausgeschoben wird. Zieht man also diese Dicke d' von den d -Werten nicht ab, so müssen diese von einem bestimmten Drucke an schneller wachsen, als dem eingangs erwähnten Gesetze $d \cdot p^m = d_0$ entspricht. So wurde z. B. für die Plattenelektroden erhalten:

$p = 4,98$	4,22	3,55	2,99	2,75	2,32	1,94
$d' = 0,09$	0,08	0,08	0,09	0,10	0,14	0,14
$p = 1,63$	1,37	1,16	0,96	0,81	0,47	0,42
$d' = 0,20$	0,28	0,39	0,46	0,60	0,97	1,82

Bis zu Drucken von etwa 1,8 mm wächst d' nur sehr langsam, dann schneller und von $p = 0,7$ an nimmt die innerste Schicht sehr rasch an Dicke zu. Vermeidet man die genannten Fehlerquellen, so behalten die beiden Konstanten m (die Steigung der Geraden bei der erwähnten graphischen Darstellung) und d_0 (Höhe der geraden Linie, gemessen durch den Dickenwert beim Druck $p = 1$) ihre Werte für das ganze Druckintervall bei.¹⁾ Zum Belege hierfür sei zunächst eine Beobachtungsreihe angeführt, die mit der oben p. 77 unter 4. erwähnten Aluminiumkugel als Elektrode angestellt wurde, vgl. Tab. 1.

Tabelle 1.

Sauerstoff, VI. Reihe. Kugel.

 $m = 0,835$, $d_0 = 1,566$.

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
209	3,41		0,535		0,533	-0,272	+0,03	188	855	128	3,2	19	2,4	340	0,0154	5,2
		1,18		1,21												
210	2,89		0,646		0,461	-0,190	0,00	235	904	126	3,4	21	2,6	322	0,0167	5,4
		1,19		1,17												
211	2,42		0,754		0,384	-0,123	0,00	285	915	128	3,2	21	2,4	355	0,0157	5,6
		1,17		1,12												
212	2,06		0,846		0,314	-0,073	0,00	326	879	129	3,4	22	2,7	362	0,0170	6,2
		1,21		1,16												
213	1,70		0,983		0,230	-0,007	0,00	386	867	130	3,3	21	2,5	375	0,0158	5,7
		1,18		1,17												
214	1,44		1,15		0,158	0,061	0,00	464	889	130	3,3	21	2,5	398	0,0158	6,1
		1,20		1,16												
215	1,20		1,33		0,079	0,124	0,00	560	893	130	3,4	23	2,7	432	0,0170	7,3
		1,20		1,17												
216	1,00		1,566		0,000	0,195	0,00	682	902	130	3,3	21	2,4	463	0,0152	7,0
		1,20		1,14												
217	0,83		1,78		-0,081	0,250	+0,04	808	892	130	3,4	22	2,7	516	0,0169	8,7
		1,19		1,19												
218	0,70		2,12		-0,155	0,326	-0,02	1019	948	130	3,2	21	2,4	557	0,0150	8,4
		1,23		1,26												
219	0,57		2,67		-0,244	0,427	-0,17	1411	1072	130	3,1	20	2,2	603	0,0137	8,3
		1,21		1,17												
220	0,47		3,18		-0,328	0,495	-0,18	1860	1162	130	3,2	21	2,4	678	0,0154	10,4

1) Unterdessen ist ja auch die von Hrn. Bohr vermutete Abweichung im Verhalten des Sauerstoffs durch die Arbeiten von Thiessen und Lord Rayleigh auf anderweitige Ursachen zurückgeführt worden.

Die Werte δ , welche die Abweichungen der beobachteten Werte von einer mit den Werten von m und d_0 , die über der Tabelle stehen, gezeichneten Geraden in Millimeter angeben, liegen durchaus innerhalb der bei der Dickenmessung unvermeidlichen Beobachtungsfehler (vgl. darüber die frühere Arbeit p. 208).

Überblickt man die d -Werte (vgl. auch die graphische Darstellung der Logarithmenwerte in Fig. 3), so könnte man freilich den Eindruck gewinnen, daß nach Passieren des

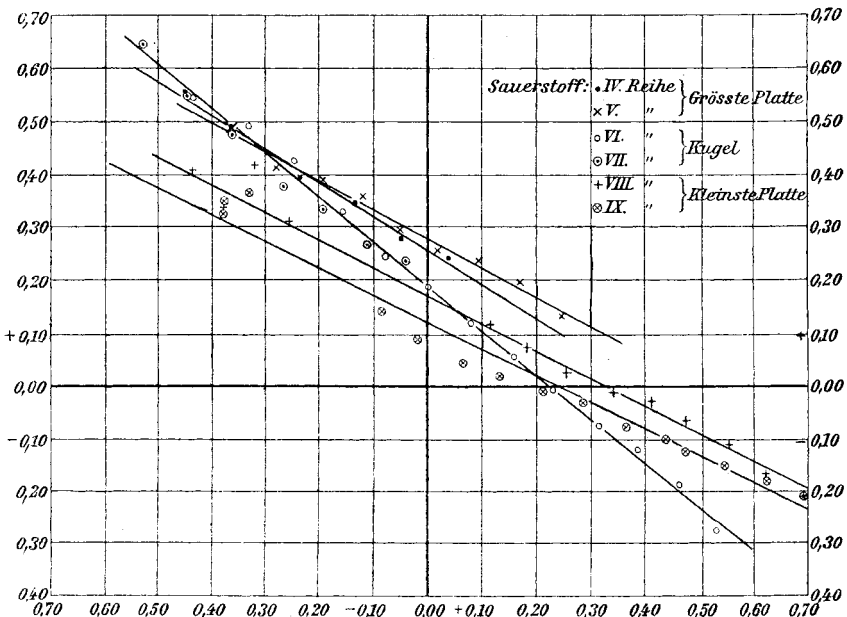


Fig. 3.

Druckes $p = 0,70$ (d. i. der Stelle $-0,155$ in Fig. 3) eine Abweichung in dem Sinne einsetze, dass die Dunklräume schneller als vorher wachsen. Denn während sich die d -Werte dem Gesetze bisher ganz streng angeschlossen hatten, ($\delta = \pm 0,00$) erscheinen mit $p=0,70$ die über der Ausgleichsgeraden liegenden Punkte (δ negativ). Indessen liegen diese Abweichungen innerhalb der Fehlergrenzen der Messungen.

Nach Abschluß dieser Beobachtungsreihe wurde 13 Stunden später noch einmal ausgepumpt und bei $p = 0,37$ ein Wert

für d gefunden ($= 3,51$), der sich mit seinem $\delta = + 0,06$ seinem $R = 2182$ und $R \cdot p = 1074$ sehr gut den übrigen Werten der Reihe anschließt; der betreffende Punkt liegt genau auf der Geraden, die im Diagramm durch die bei höheren Drucken gewonnenen Punkte bestimmt ist. Die folgende, mit derselben Elektrode gewonnene Reihe zeigt gerade an den in Betracht kommenden Stellen etwa ebenso grosse Abweichungen im entgegengesetzten Sinne, sodaß eine vollkommene Gerade als diejenige Linie resultiert, der sich alle Beobachtungen am besten anschliessen.

Tabelle 2.

Sauerstoff, VII. Reihe. Kugel.

 $m = 0,835$, $d_0 = 1,566$.

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
222	1,08		1,49		0,033	0,175	-0,03	638	916	126	3,3	19	2,3	472	0,0136	6,4
223	0,91	1,19	1,72	1,15	-0,041	0,235	-0,03	785	949	124	3,3	20	2,3	501	0,0136	6,8
224	0,77	1,18	1,88	1,09	-0,113	0,274	+0,06	895	916	124	3,3	20	2,3	539	0,0136	7,3
225	0,64	1,20	2,185	1,16	-0,194	0,339	+0,08	1124	956	127	3,3	20	2,3	577	0,0138	8,0
226	0,54	1,18	2,39	1,09	-0,268	0,378	+0,22	1260	904	127	3,3	21	2,4	636	0,0139	8,8
227	0,44	1,23	3,00	1,25	-0,356	0,477	+0,09	1737	1016	127	3,3	20	2,4	679	0,0141	9,6
228	0,36	1,22	3,54	1,18	-0,444	0,549	+0,11	2237	1070	128	3,3	20	2,4	743	0,0141	10,5
229	0,29	1,24	4,38	1,24	-0,528	0,641	-0,09	3121	1203	127	3,2	18	2,1	844	0,0129	10,9

Beim Evakuieren wurde darauf Bedacht genommen, daß die Druckwerte der zweiten Beobachtungsreihe (VII) zwischen die der ersten Reihe (VI) fielen; dementsprechend liegen auch die d -Werte, und beide Reihen liefern Messungswerte, die sich so eng dem Gesetze anschließen, daß sie durch dieselben Werte der Konstanten m und d_0 dargestellt und im Diagramm daher beide Reihen durch *eine* Gerade repräsentiert werden. Die Gasbereitung und Einführung war dabei beide Male die eingangs erwähnte.

Die Dunkelraumdicken wachsen langsamer als die Drucke abnehmen, daher ist m kleiner als 1.

Der nahen Übereinstimmung der d -Werte entsprechend fallen auch die Werte für das Dunkelraumvolumen R für dieselben Drucke nahezu zusammen; nur bei den tieferen Drucken (etwa von 0,74 an) machen sich die kleinen noch innerhalb der Fehlergrenzen liegenden Abweichungen in den d -Werten verstärkt geltend.

Die Größen $R \cdot p$ halten sich bis zu Drucken von etwa 0,6 bei der ersten Reihe, bis 0,5 bei der zweiten sehr nahe in derselben Höhe, dann treten plötzlich etwas größere Werte ein. Zu beachten ist aber, daß bei einer Abnahme des Druckes von 3,41 bis auf 0,29, also um das 12fache, die Größe $R \cdot p$ sich nur von 855 auf 1203, also nur im Verhältnisse von 2:3 steigert. Das Dunkelraumvolumen wächst also nicht umgekehrt proportional mit dem Drucke, sondern etwas schneller; doch ist die Abweichung von einem dem Boyle-Mariotteschen Gesetze entsprechenden Verlaufe der R - und p -Werte für höhere Drucke so gering, daß es den Anschein gewinnt, als sei der *Dunkelraum immer nahezu von derselben Gasmenge erfüllt* (bei derselben Stromstärke i , die, wie man aus den Tabellen sieht, innerhalb der Messungsreihen nur wenig variierte). Der letzte Wert (229) wurde am anderen Tage erhalten; wie man sieht, schließt er sich der Reihe vorzüglich an, was die Dicke des Dunkelraumes betrifft; das Dunkelraumvolumen erscheint indessen hier auffallend groß; vielleicht ist daran die etwas zu klein einregulierte Stromstärke i Schuld.

Geht man von einer kugelförmigen Kathode zu einer plattenförmigen über, so erhält man durchweg ein langsames Ansteigen der Dickenwerte mit abnehmendem Drucke, die entsprechenden m fallen kleiner aus. In dem Diagramm Fig. 3, in welches für vier mit Plattenelektroden angestellte Messungsreihen die entsprechenden Geraden eingetragen sind, schneiden diese daher die steilere für die Kugel gefundene.

Die beiden untersten Geraden entsprechen Messungsreihen (VIII. und IX. Reihe, Tab. 3 und 4), die mit Platte 3, der kleinsten der verwendeten Platten, aber verschieden behandelten (vor allem verschieden gut getrockneten) Sauerstofffüllungen erhalten wurden.¹⁾ Man sieht wie kleine Verunreinigungen

1) Die horizontalen Striche in den Tabellen bedeuten, daß die Messungsreihen an den betreffenden Stellen abgebrochen, mit derselben

zwar die Kurvenneigungen (die Werte für m) nahezu unverändert gelassen haben, aber auf die absolute Höhe der d -Werte für dieselben Drucke von merklichem Einflusse sind.

Die Platte 3 hatte, wie p. 77 erwähnt wurde, dieselbe Oberfläche wie die Kugel; man sieht aber aus dem Diagramm, daß dieselbe Dicke des Dunkelraumes für beide Elektrodenformen nur für einen Druck von ungefähr 1,38 mm resultiert; bei höheren Drucken hat die Platte, bei tieferen die Kugel den größeren Dunkelraum.

Tabelle 3.

Sauerstoff, VIII. Reihe. Kleinste Platte.

$$m = 0,524, \quad d_0 = 1,49.$$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
273	4,975		0,62		0,697	-0,208	+0,03	242	1601	129	3,1	20	2,5	397	0,0141	5,6
274	4,23	1,18	0,68	1,10	0,626	-0,168	+0,02	267	1503	129	3,1	20	2,5	393	0,0141	5,5
275	3,60	1,18	0,78	1,15	0,556	-0,111	-0,02	310	1485	128	3,1	20	2,5	390	0,0139	5,4
276	2,98	1,21	0,85	1,09	0,474	-0,071	-0,01	346	1373	128	3,1	20	2,5	386	0,0141	5,4
277	2,58	1,16	0,93	1,09	0,412	-0,034	-0,02	386	1324	127	3,1	20	2,4	390	0,0140	5,5
278	2,155	1,20	0,99	1,06	0,333	-0,007	0,00	414	1187	127	3,1	20	2,4	397	0,0143	5,7
279	1,81	1,19	1,08	1,09	0,258	0,033	+0,01	457	1099	129	3,3	19	2,5	401	0,0141	5,6
280	1,52	1,19	1,19	1,10	0,182	0,076	0,00	517	1045	128	3,2	19	2,5	420	0,0139	5,8
281	1,29	1,18	1,30	1,09	0,111	0,114	-0,01	582	997	128	3,2	19	2,4	436	0,0141	6,1
286	0,56		2,06		-0,252	0,314	-0,05	1309	975	129	3,2	20	2,4	636	0,0139	8,8
287	0,48	1,17	2,59	1,26	-0,319	0,413	-0,41	1787	1140	129	3,3	20	2,4	707	0,0136	9,6
288	0,423	1,13	2,16	0,83	-0,374	0,335	+0,18	1824	1025	130	3,2	20	2,4	783	0,0135	10,6
289	0,37	1,14	2,53	1,17	-0,432	0,403	-0,02	2477	1218	130	3,2	20	2,4	883	0,0134	11,8

Gasfüllung aber später, gewöhnlich am anderen Tage wieder aufgenommen und weitergeführt wurden. Man ersieht aus den kleinen nicht über die Fehlergrenzen hinaus gehenden Werten von δ , wie nahe sich diese Fortsetzungen den ursprünglichen Werten anschließen, wie gut sich also die Gasfüllungen erhalten hatten.

Tabelle 4.

Sauerstoff, IX. Reihe. Kleinste Platte.

$$m = 0,512, \quad d_0 = 1,33.$$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
290	4,98		0,62		0,697	-0,208	-0,03	243	1608	124	3,2	19	2,4	393	0,0131	5,1
		1,18		1,08												
291	4,224		0,67		0,626	-0,174	-0,03	264	1484	127	3,2	20	2,4	382	0,0135	5,2
		1,19		1,05												
292	3,55		0,70		0,550	-0,155	-0,01	277	1309	127	3,2	20	2,4	374	0,0138	5,2
		1,19		1,07												
293	2,99		0,75		0,476	-0,123	+0,01	303	1204	127	3,2	20	2,4	374	0,0137	5,1
		1,09		1,05												
294	2,75		0,79		0,439	-0,101	0,00	322	1178	126	3,3	20	2,4	374	0,0135	5,0
		1,19		1,08												
295	2,32		0,85		0,365	-0,073	+0,02	353	1086	126	3,3	20	2,4	374	0,0133	5,0
		1,19		1,11												
296	1,94		0,94		0,288	-0,027	0,00	399	1029	126	3,3	20	2,4	382	0,0134	5,1
		1,19		1,05												
297	1,63		0,99		0,212	-0,004	+0,04	434	940	126	3,3	20	2,4	390	0,0133	5,2
		1,19		1,06												
298	1,37		1,05		0,137	0,021	+0,09	479	872	125	3,2	20	2,3	408	0,0130	5,3
		1,18		1,07												
299	1,16		1,12		0,064	0,049	+0,12	537	826	125	3,2	20	2,3	430	0,0130	5,6
		1,21		1,12												
300	0,96		1,25		-0,018	0,097	+0,11	630	804	126	3,2	19	2,3	457	0,0131	6,0
		1,18		1,12												
301	0,813		1,40		-0,090	0,146	+0,08	756	817	126	3,2	20	2,3	494	0,0130	6,4
304	0,47		2,3		-0,328	0,362	-0,34	1612	1007	126	3,2	20	2,3	670	0,0128	8,6
		1,12		—												
305	0,42		2,11		-0,377	0,324	-0,03	1801	1005	124	3,2	20	2,2	745	0,0125	9,3
		—		—												
305'	0,42		2,25		-0,377	0,352	-0,17	1935	1080	124	3,2	20	2,2	745	0,0125	9,3

Auf die Werte von R hat dies nur einen geringen Einfluß, um Kugeln und Platten herum sammelt sich bei demselben Drucke etwa dieselbe Menge nichtleuchtender Materie, indessen zeigt sich bei den Werten des Produktes $R \cdot p$ eine eigentümliche Erscheinung; dieselben sind bei weitem nicht so konstant wie bei der Kugel, sondern nehmen erst ab, erreichen ein Minimum und nehmen dann bei tiefen Drucken wieder langsam zu; bei der kleinen Platte 3 liegt das Minimum bei $p = 0,91$ mm: Man erkennt dies am besten bei einer graphischen Aufzeichnung der betreffenden Werte, vgl. später Fig. 7 p. 103.

Die Platte 2 hatte nach p. 77 eine viermal so große Fläche, wie die kleinste Platte 3; wir teilen zum Vergleiche noch zwei mit dieser größten Platte angestellte Messungsreihen mit (IV. und V. Reihe, Tab. 5 und 6). Man sieht sofort, daß die denselben Drucken entsprechenden Dicken größer

Tabelle 5.

Sauerstoff, IV. Reihe. Grösste Platte.

$$m = 0,643, \quad d_0 = 1,80.$$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_1/d_2	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
175	1,10		1,74		0,041	0,240	-0,04	2665	3893	123	3,9	12	2,2	364	0,0171	6,2
		1,22		1,10												
176	0,90		1,92		-0,046	0,284	+0,01	2978	3561	123	3,8	12	2,2	371	0,0171	6,4
		1,22		1,16												
177	0,74		2,23		-0,131	0,349	-0,04	3586	3526	123	3,7	12	2,2	390	0,0170	6,6
		1,28		1,12												
178	0,58		2,50		-0,237	0,397	+0,07	4130	3181	123	3,7	13	2,2	427	0,0170	7,2
		1,32		1,23												
179	0,44		3,07		-0,356	0,488	-0,01	5360	3139	123	3,6	13	2,2	491	0,0168	8,2
		1,22		1,17												
180	0,36		3,59		-0,444	0,556	-0,11	6580	3147	123	3,6	14	2,1	561	0,0168	9,4

Tabelle 6.

Sauerstoff, V. Reihe. Grösste Platte.

$$m = 0,549, \quad d_0 = 1,90.$$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
184	1,77		1,37		0,248	0,137	+0,02	2020	4753	123	3,6	14	2,2	358	0,0165	5,9
		1,19		1,15												
185	1,49		1,58		0,173	0,198	-0,05	2380	4712	124	3,5	13	2,0	368	0,0152	5,6
		1,19		1,09												
186	1,25		1,73		0,097	0,238	-0,05	2640	4387	125	3,5	13	2,0	371	0,0153	5,7
		1,19		1,05												
187	1,05		1,81		0,021	0,259	+0,04	2790	3892	125	3,6	13	2,2	390	0,0164	6,4
		1,18		1,09												
188	0,89		1,98		-0,051	0,296	+0,03	3110	3676	121	3,6	13	2,1	403	0,0158	6,4
		1,17		1,16												
189	0,76		2,29		-0,119	0,360	-0,08	3700	3740	120	3,6	13	2,1	432	0,0160	6,9
		1,19		1,08												
190	0,64		2,48		-0,194	0,394	-0,04	4090	3477	123	3,5	13	2,2	454	0,0161	7,3
		1,21		1,05												
191	0,53		2,61		-0,276	0,416	+0,09	4360	3070	125	3,6	13	2,2	476	0,0165	7,8
		1,21		1,18												
192	0,44		3,07		-0,356	0,487	-0,08	5360	3139	125	3,6	14	2,2	525	0,0164	8,6

sind, als bei der kleineren Platte, das ganze Kathodengebilde ist lockerer bei der großen Platte. Die letztere hat bei $p = 0,49$ mm dieselbe Dunkelraumdicke wie die an Oberfläche viermal kleinere Kugel. Die Messungen sind hier schwieriger als bei der kleinen Platte, kleine Abweichungen in der Gasbeschaffenheit alterieren die Kurvenneigung (die Konstante m). Um daher die verschiedenen Gase in ihrem Verhalten miteinander zu vergleichen, hält man sich besser an die mit den kleinen Platten und großen Stromdichten erhaltenen Messungsreihen; im Folgenden sind daher hauptsächlich die mit Platte 3 ausgeführten Messungen mitgeteilt.

Zieht man die elektrischen Daten zum Vergleich der auf die großen und kleinen Platten bezüglichen Reihen heran, so sieht man, daß hohen Werten von d_0 ein großer Wattverbrauch E parallel geht, was sich auch bei anderen Gasen und beim Vergleiche verschiedener Gase untereinander bestätigt.

Die dunklen Gasvolumina, welche die viermal so große Platte umgeben, sind für dieselben Drucke, der kleinen Verschiedenheiten in den d -Werten ungeachtet, sehr nahe viermal so groß wie diejenigen an der kleinen Platte, sodaß die Menge Partikelchen, welche an der Kathode nichtleuchtend beim Stromdurchgange durch den Entladungsraum werden, wie die Kathodenoberfläche wächst (bei vollkommen bedeckter Kathode und innerhalb der hier innegehaltenen Grenzen der Stromdichte).

Die $R.p$ -Werte zeigen ein ähnliches Verhalten wie bei der kleinen Platte; nur ist das Minimum hier viel weiter zu den niederen Drucken hin verschoben (etwa bei 0,42 gelegen).

2. Stickstoff.

Derselbe wurde aus Salmiak und Natriumnitrit mit einem Zusatz von Kaliumdichromat dargestellt, zunächst durch Eisenvitriol gereinigt und in einem Gasometer aufgefangen. Um ihn vollkommen zu reinigen und sodann zu verflüssigen, wurde er über Ätzkali, durch Schwefelsäure und über Phosphorpentoxyd zum Trocknen, sodann in zwei Verbrennungsöfen über glühendes Kupfer und Eisen geleitet und nochmals über Phosphorpentoxyd getrocknet, um sodann verflüssigt zu werden. Da der Kondensationspunkt des Stickstoffs unter dem Siede-

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
09	3,68		0,73		0,556	-0,137	+0,01	283	1382	128	3,2	19	2,4	386	0,0133	5,1
10	3,12	1,18	0,83	1,14	0,494	-0,081	+0,03	332	1377	128	3,2	19	2,4	386	0,0133	5,1
11	2,64	1,18	0,96	1,16	0,422	-0,018	+0,02	394	1383	128	3,3	19	2,4	390	0,0134	5,2
12	2,23	1,18	1,14	1,19	0,348	0,057	-0,02	488	1446	128	3,2	19	2,4	405	0,0133	5,4
13	1,89	1,18	1,26	1,10	0,277	0,100	0,00	550	1381	128	3,3	19	2,4	426	0,0136	5,8
14	1,61	1,17	1,45	1,15	0,207	0,161	0,00	663	1415	128	3,2	20	2,4	450	0,0136	6,1
15	1,34	1,20	1,68	1,16	0,127	0,225	0,00	809	1440	128	3,2	19	2,4	488	0,0136	6,6
16	1,17	1,15	1,95	1,16	0,068	0,290	-0,09	996	1549	128	3,2	19	2,3	532	0,0130	6,9
17	1,01	1,16	2,26	1,16	0,004	0,354	-0,16	1260	1692	128	3,1	20	2,3	585	0,0131	7,7
18	0,87	1,16	2,44	1,08	-0,061	0,387	-0,07	1470	1700	128	3,1	20	2,3	638	0,0133	8,5
19	0,75	1,16	2,74	1,12	-0,125	0,438	-0,08	1838	1832	130	3,1	20	2,4	709	0,0132	9,4
20	0,77		2,70		-0,114	0,431	0,00	1822	1864	130	3,2	19	2,3	709	0,0142	10,1
21	0,65	1,18	3,10	1,15	-0,187	0,491	-0,12	2324	2007	130	3,2	20	2,3	778	0,0141	11,0
22	0,49	1,33	3,65	1,18	-0,310	0,562	+0,07	3448	2246	129	3,1	20	2,3	906	0,0129	11,7
23	0,435	1,13	4,02	1,10	-0,362	0,604	+0,08	4138	2393	128	3,1	20	2,3	977	0,0129	12,6
24	0,38	1,15	4,51	1,12	-0,420	0,654	+0,06	5309	2681	129	3,1	20	2,2	1059	0,0130	13,8
25	0,32	1,19	5,25	1,16	-0,495	0,720	0,00	7076	3009	128	3,1	21	2,2	1150	0,0130	14,9

Zusammenhang zwischen $\log p$ und $\log d$ wieder ein vollkommen linearer ist, ohne jede Diskontinuität zwischen Drucken von 3,68 bis 0,32 mm; die Dicken der Dunkelräume wachsen hier aber wesentlich schneller als beim Sauerstoff (vgl. Tab. 3 und 4); m hat einen größeren Wert als dort. Die Dicke d' der innersten Schicht wächst anfangs sehr langsam, von $p = 0,70$ etwa an dagegen wesentlich schneller, wie die folgenden Zahlen zeigen:

$$p = 3,68 \quad 3,12 \quad 2,64 \quad 2,23 \quad 1,89 \quad 1,61 \quad 1,34 \quad 1,17 \quad 1,01$$

$$d' = 0,00 \quad 0,04 \quad 0,04 \quad 0,06 \quad 0,05 \quad 0,08 \quad 0,11 \quad 0,14 \quad 0,25$$

$$p = 0,87 \quad 0,75 \quad 0,77 \quad 0,65 \quad 0,49 \quad 0,44 \quad 0,38 \quad 0,32$$

$$d' = 0,40 \quad 0,61 \quad 0,64 \quad 0,81 \quad 1,43 \quad 1,61 \quad 1,96 \quad 2,22$$

Die Dunkelraumvolumina R sind hier bei demselben Drucke grösser als beim Sauerstoff bei Anwendung derselben Elektrodenplatte und zwar bei den tieferen Drucken mehr als doppelt so groß.

Das Produkt von Druck p mal Volumen R bleibt nur bei den höheren Drucken angenähert konstant und nimmt mit fortschreitender Evakuierung stetig zu, doch hat es seinen Wert nur etwa verdoppelt, wenn der Druck bereits auf $1/10$ des Anfangswertes gesunken ist.

3. Wasserstoff.

In einem Kippschen Apparate wurde möglichst reines Aluminium mit Kalilauge zusammengebracht. Der so entwickelte Wasserstoff wurde durch übermangansaures Kalium in saurer Lösung und ammoniakalischer Silbernitratlösung gereinigt und durch reinste Schwefelsäure, aus der durch Abddestillation alle Feuchtigkeit entfernt war und die einen Siedepunkt von 338° hatte, getrocknet. Sodann wurde derselbe direkt in das evakuierte Entladungsgefäß geleitet. Es wurde auch hier dreimal gespült, bevor mit den Messungen begonnen wurde. Jede einzelne Füllung dauerte etwa 6 Stunden.

Bei diesem Gase ist die Dicke des Dunkelraumes bei denselben Drucken größer als bei allen anderen Gasen. Auch ist das Anwachsen der d -, R - und $R \cdot p$ -Werte mit dem Drucke viel stärker als sonst; die Konstante m erreicht hier beinahe den Wert 1, sodaß für Wasserstoff die Dicke des Dunkelraumes nahezu umgekehrt proportional mit dem Drucke wächst.

Tab. 8 und 9 geben zunächst zwei längere Messungsreihen (V. und VI. Reihe) wieder, die mit der Kugelelektrode er-

halten wurden. Bei Wasserstoff tritt die p. 75 erwähnte Erscheinung einer Art Selbstevakuierung oft sehr deutlich hervor, wie z. B. ein Vergleich der Beobachtungen 240 und 241, zwischen denen nicht ausgepumpt, sondern nur eine längere Zeit gewartet worden war, oder die Messungen 260 und 260' zeigen. Man sieht, daß dabei, selbst wenn das Manometer wie im letzteren Falle keine merkliche Änderung anzeigt, die Dunkelräume wachsen, die Spannungen sich erhöhen, und der Wattconsum trotz verminderter Stromstärke zunimmt. Dabei wurde immer so lange zwischen jeder einzelnen Messung gewartet, daß sich die Elektroden wie das Gas wieder abgekühlt haben mußten.

Tabelle 8.
Wasserstoff, V. Reihe. Kugel.
 $m = 0,941, \quad d_0 = 6,87.$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R.p$	S	A	v	J	V	i	E
230	6,155	1,19	1,11	1,27	0,798	0,045	+0,13	436	3571	128	3,5	20	2,7	267	0,0162	4,3
231	5,175		1,41		0,714	0,149	+0,05	586	4031	127	3,3	19	2,4	262	0,0144	3,8
232	4,37	1,19	1,51	1,28	0,641	0,179	+0,21	645	3747	127	3,3	19	2,4	273	0,0145	4,0
233	3,68		1,94		0,566	0,288	+0,08	889	4348	126	3,1	19	2,2	289	0,0131	3,8
234	3,12	1,18	2,25	1,28	0,494	0,352	+0,11	1088	4513	128	3,2	20	2,4	336	0,0138	4,6
235	2,65		2,87		0,423	0,458	-0,12	1549	5455	130	3,3	20	2,5	408	0,0149	6,1
236	2,23	1,19	3,73	1,15	0,348	0,572	-0,49	2307	6837	131	3,4	20	2,5	463	0,0149	6,9
237	1,88		4,30		0,274	0,634	-0,50	2897	7241	131	3,2	19	2,2	572	0,0135	7,7
238	1,57	1,19	4,68	1,21	0,196	0,670	-0,18	3559	7427	131	3,2	20	2,2	639	0,0137	8,8
239	1,32		5,67		0,121	0,754	-0,39	4574	8026	132	3,2	20	2,2	764	0,0133	10,2
240	1,10	1,20	6,41	1,13	0,041	0,807	-0,10	6784	9919	132	3,2	20	2,2	905	0,0131	11,9
241	1,01	1,22	6,77	1,14	0,004	0,831	+0,07	8520	11440	129	3,3	20	2,3	1006	0,0136	13,7
242	0,83		7,68		-0,081	0,885	+0,54	11113	12260	128	3,2	20	2,1	1110	0,0123	13,6
243	0,68	1,21	9,69	1,24	-0,168	0,986	+0,22	18626	16840	128	3,1	20	2,1	1315	0,0123	16,2
244	0,56		11,97		-0,252	1,078	-0,06	30692	22840	128	3,1	21	2,0	1486	0,0122	18,1
245	0,45	1,25	15,17	1,27	-0,347	1,181	-0,55	51133	30590	128	3,0	22	2,0	1672	0,0124	20,8

Tabelle 9.
Wasserstoff, VI. Reihe. Kugel.
 $m = 0,868, d_0 = 7,82.$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R \cdot p$	S	A	v	J	V	i	E
249	3,40		2,57		0,532	0,410	+0,04	1339	6052	128	3,3	19	2,4	327	0,0139	4,
		1,18		1,29												
250	2,89		3,32		0,461	0,521	-0,29	1951	7494	128	3,3	19	2,4	374	0,0135	5,
		1,18		1,12												
251	2,46		3,72		0,391	0,571	-0,20	2324	7598	126	3,3	19	2,3	485	0,0135	6,
		1,18		1,10												
252	2,08		4,11		0,318	0,614	-0,04	2735	7563	125	3,3	19	2,3	556	0,0133	7,
		1,18		1,36												
253	1,77		5,58		0,248	0,747	-0,84	4535	10670	124	3,2	19	2,3	643	0,0132	8,
		1,19		0,97												
254	1,49		5,41		0,173	0,733	+0,09	4865	9634	126	3,3	19	2,3	744	0,0136	10,
		1,18		1,26												
255	1,26		6,82		0,100	0,834	-0,45	7720	12930	128	3,2	20	2,3	857	0,0137	11,
		1,20		1,09												
256	1,05		7,42		0,021	0,870	+0,04	9514	13280	130	3,3	21	2,3	979	0,0141	13,†
		1,19		1,13												
257	0,88		8,39		-0,056	0,924	+0,34	12525	14620	130	3,4	21	2,3	1118	0,0141	15,†
		1,19		1,22												
258	0,74		10,23		-0,131	1,010	$\pm 0,00$	19245	18920	130	3,3	22	2,3	1309	0,0139	18,†
		1,19		1,17												
259	0,62		11,99		-0,208	1,079	$\pm 0,00$	27626	22770	130	3,3	22	2,3	1459	0,0136	19,†
		1,19		1,17												
260	0,52		14,01		-0,284	1,146	$\pm 0,00$	39079	27020	130	3,2	23	2,2	1655	0,0135	22,†
		—		—												
260	0,52		14,20		-0,284	1,152	-0,20	38194	26390	128	3,2	23	2,1	1834	0,0127	23,†

Die beiden mit derselben Elektrode aber verschiedenen Gasfüllungen ausgeführten Messungsreihen zeigen zwar nahezu dieselben Wachstumsgeschwindigkeiten der Dunkelräume mit fortschreitender Evakuuation aber etwas verschiedene absolute Größen ihrer Dicken, sodaß die beiden entsprechenden Geraden im Diagramm Fig. 4 zwar einander fast parallel ansteigen, aber etwas gegeneinander verschoben sind. Wiederum entsprechen wie beim Sauerstoff (p. 90) dem größeren d_0 der VI. Reihe größere Werte der konsumierten Energie E .

Der Übergang zur Plattenelektrode 3 von gleicher Fläche (Tab. 10, VIII. Reihe) vermindert das steile Ansteigen nur wenig, liefert aber noch kleinere Dickenwerte für dieselben Drucke als beide Reihen für die Kugel (wieder parallel gehend mit geringerem Wattverbrauche).

Die Verhältnisse liegen hier, wie am besten ein Vergleich der Diagramme 4 und 3 zeigt, viel einfacher und klarer als beim Sauerstoff. Das Produkt $R \cdot p$ nimmt hier ebenfalls stetig zu und ist auf mehr als auf das Doppelte angewachsen, wenn der Druck auf $\frac{1}{10}$ gesunken ist. Bei allen Messungen mit Wasserstoff erwies es sich als unumgänglich notwendig,

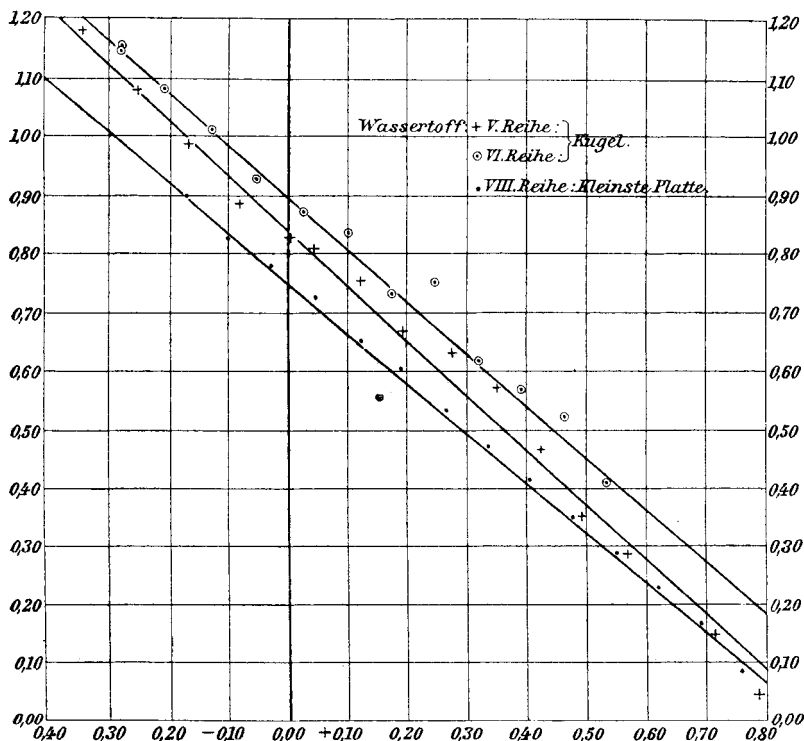


Fig. 4.

den Quecksilberdampf sorgfältigst von dem Entladungsraume fern zu halten, wollte man nicht Werte für die Dimensionen der Gebilde an der Kathode erhalten, die dem Wasserstoffe selbst überhaupt gar nicht zukommen. War nur eine Spur von Hg-Dampf in der großen Entladungsflasche vorhanden, so wurde mit der oben p. 90 beschriebenen Anordnung festgestellt, daß in dem ausgedehnten blaßblauen Glimmlichte, welches dann auftritt, ausschließlich die Quecksilberlinien vor-

handen sind, welche bei tieferen Drucken einen außerordentlichen Glanz annehmen.

Tabelle 10.
Wasserstoff, VIII. Reihe. Kleinste Platte.
 $m = 0,854$, $d_0 = 5,59$.

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R.p$	S	A	v	J	V	i	E
325	5,75		1,21		0,760	0,083	+0,05	514	3926	131	3,3	20	2,4	318	0,0135	4,3
		1,18		1,20												
326	4,89		1,45		0,689	0,161	-0,01	644	4188	132	3,3	20	2,4	318	0,0139	4,4
		1,18		1,17												
327	4,16		1,69		0,619	0,228	-0,03	785	4342	132	3,2	20	2,4	323	0,0141	4,6
		1,18		1,15												
328	3,54		1,94		0,549	0,288	-0,03	943	4438	131	3,3	20	2,4	332	0,0143	4,7
		1,18		1,14												
329	2,99		2,21		0,476	0,344	-0,01	1128	4485	131	3,3	20	2,4	353	0,0142	5,0
		1,18		1,17												
330	2,54		2,58		0,405	0,412	-0,04	1404	4739	130	3,3	20	2,4	382	0,0140	5,3
		1,18		1,14												
331	2,16		2,95		0,335	0,470	-0,04	1710	4911	130	3,3	20	2,4	420	0,0141	5,9
		1,18		1,15												
332	1,835		3,38		0,264	0,529	-0,04	2101	5125	131	3,2	20	2,4	460	0,0141	6,5
		1,18		1,18												
333	1,55		4,0		0,190	0,602	-0,13	2738	5641	131	3,2	20	2,4	509	0,0142	7,2
		1,18		1,12												
334	1,32		4,47		0,121	0,650	-0,05	3283	5761	131	3,2	20	2,4	567	0,0142	8,0
		1,19		1,19												
335	1,113		5,30		0,046	0,724	-0,18	4377	6474	131	3,3	20	2,4	663	0,0146	9,7
		1,19		1,13												
336	0,935		6,0		-0,029	0,778	-0,08	5429	6747	131	3,2	20	2,4	735	0,0142	10,4
		1,18		1,12												
337	0,79		6,7		-0,102	0,826	+0,12	6697	7033	130	3,2	20	2,3	825	0,0142	11,7
		1,18		1,18												
338	0,67		7,9		-0,174	0,898	0,00	9179	8175	130	3,1	21	2,3	914	0,0138	12,6
		1,18		1,12												
339	0,57		8,83		-0,244	0,946	+0,19	11390	8626	131	3,1	21	2,3	1027	0,0137	14,1

4. Kohlenoxyd.

Dasselbe wurde durch Erhitzen von Oxalsäure und Schwefelsäure dargestellt. Die gebildete Kohlensäure wurde durch Natronkalk und Kalilauge fortgenommen, das Kohlenoxyd durch die vorher stark erhitzte Schwefelsäure (vgl. p. 81) getrocknet und dann sofort in das Entladungsgefäß geleitet. Nach dreimaligem Spülen wurde mit der vierten Füllung die folgende Messungsreihe angestellt.

Bei diesem Gase (vgl. Tab. 11, IV. Reihe) ist die verhältnismäßig große Konstanz der $R.p$ -Werte beachtenswert.

Tabelle 11.

Kohlenoxyd, IV. Reihe. Kleinste Platte.

$$m = 0,636, \quad d_0 = 2,51.$$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R.p$	S	A	v	J	V	i	E
340	4,625		0,96		0,665	-0,018	-0,02	389	2392	126	3,2	20	2,3	500	0,0123	6,1
		1,17		1,10												
341	3,96		1,06		0,598	0,025	-0,02	437	2302	124	3,2	20	2,3	491	0,0124	6,1
		1,19		1,09												
342	3,33		1,16		0,522	0,065	0,00	489	2163	124	3,2	19	2,3	488	0,0127	6,2
		1,18		1,09												
343	2,82		1,27		0,450	0,104	+0,02	546	2046	124	3,2	19	2,3	500	0,0126	6,3
		1,19		1,10												
344	2,37		1,40		0,375	0,146	+0,04	617	1945	125	3,2	20	2,3	517	0,0129	6,7
		1,19		1,13												
345	1,998		1,59		0,301	0,201	0,00	738	1959	124	3,1	20	2,3	537	0,0127	6,8
		1,18		1,12												
346	1,70		1,78		0,230	0,250	0,00	867	1960	126	3,1	20	2,3	570	0,0129	7,4
		1,19		1,12												
347	1,432		1,99		0,156	0,299	0,00	1021	1944	126	3,2	20	2,3	600	0,0129	7,7
		1,18		1,11												
348	1,217		2,21		0,085	0,344	0,00	1194	1932	126	3,1	20	2,3	638	0,0127	8,1
		1,19		1,11												
349	1,02		2,46		0,009	0,391	+0,02	1413	1915	127	3,1	20	2,3	679	0,0131	8,9
		1,19		1,13												
350	0,86		2,78		-0,066	0,444	0,00	1714	1960	127	3,1	20	2,3	735	0,0133	9,8
		1,16		1,14												
351	0,74		3,18		-0,131	0,502	-0,12	2118	2084	126	3,2	20	2,2	805	0,0130	10,5
		1,19		1,12												
352	0,62		3,55		-0,208	0,550	-0,14	2519	2076	127	3,2	20	2,3	856	0,0129	11,0
		1,18		1,02												
353	0,55		3,61		-0,260	0,558	+0,06	2966	2168	126	3,1	20	2,2	931	0,0129	12,0
		1,16		1,07												
354	0,475		3,88		-0,323	0,589	+0,14	3526	2226	124	3,1	21	2,2	988	0,0127	12,5
		1,16		1,10												
355	0,408		4,25		-0,389	0,628	+0,19	4240	2300	127	3,0	21	2,2	1088	0,0127	13,8
		1,17		1,11												
356	0,35		4,73		-0,456	0,675	+0,16	5223	2430	127	3,0	21	2,2	1180	0,0125	14,7
		1,04		1,06												
357	0,337		5,0		-0,472	0,699	+0,01	6210	2782	127	3,0	22	2,2	1282	0,0126	16,2
		1,11		1,11												
358	0,305		5,56		-0,516	0,745	-0,24	7820	3171	128	3,0	23	2,1	1402	0,0123	17,2
		1,18		1,02												
359	0,258		5,65		-0,588	0,752	+0,27	9342	3203	127	3,0	23	2,1	1530	0,0123	18,8

Während der Druck von 4,6 auf 0,35 mm, also auf den fünfzehnten Teil sinkt, schwankt die genannte Grösse nur zwischen 1915 und 2430. Das *Volumen* des Dunkelraumes erweitert sich also innerhalb dieses Druckbereiches umgekehrt wie der Gasdruck abnimmt. Dabei ist freilich der auch bei den anderen Gasen hervortretende Gang nicht zu verkennen, daß nämlich die Werte des Produktes aus Druck und Volumen erst sinken, ein Minimum erreichen (etwa bei 1,0 mm) und dann wieder ansteigen, um erst bei sehr niederen Drucken den Mittelwert erheblich zu übersteigen.

Das Wachsen der innersten ersten Goldsteinschen Kathodenschicht erläutert die hier folgende Zahlenreihe, die zu der Messungsreihe IV gehört:

$p = 4,63$	3,96	3,33	2,82	2,37	2,00	1,70	1,43	1,22	1,02
$d' = 0,00$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,15	0,20	0,25	0,32
$p = 0,86$	0,74	0,62	0,55	0,48	0,41	0,35	0,337	0,305	0,258
$d' = 0,40$	0,45	0,48	0,89	1,15	1,34	1,54	1,95	2,27	3,12

Man sieht, wie diese erste Schicht bei sehr tiefen Drucken eine sehr erhebliche Ausdehnung gewinnt, sodaß die Vernachlässigung ihrer Dicke die d -Werte sehr stark in die Höhe treiben würde.

5. Kohlensäure.

In einem Kohlensäureentwicklungsapparat nach Thiele ließ man Natriumkarbonat zu verdünnter Salzsäure tropfen. Das Gas wurde durch Natriumbikarbonat von etwa mitgerissener Salzsäure gereinigt und durch Schwefelsäure getrocknet. Es wurde jedesmal zweimal gespült und mit der dritten Füllung die Messung vorgenommen. Eine Füllung dauerte etwa 1 Stunde.

Bei der Kohlensäure (vgl. Tab. 12, Reihe VI) ist das Wachstum der Dickenwerte d mit abnehmendem Drucke ein schnelleres als bei Kohlenoxyd (m hier größer als dort), wenn auch bei hohen Drucken die Dickenwerte selbst zunächst kleiner als bei CO sind. Das Wachsen der Dunkelraumvolumina R geht bis auf die bei den niedersten Druckwerten erhaltenen Daten demjenigen bei Kohlenoxyd sehr nahe parallel; für $R \cdot p$ gilt auch hier das p. 96 Gesagte.

Die d -Werte der Tab. 12 zeigen am Schlusse größere einseitige Abweichungen, als sie sonst vorkommen; der Grund liegt hauptsächlich in der Schwierigkeit, auf die innere Grenze der bei tiefen Drucken bei diesem Gase schon sehr verwaschenen Glimmlichtschicht scharf einzustellen.

Tabelle 12.

Kohlensäure, VI. Reihe. Kleinste Platte.

 $m = 0,769, d_0 = 2,61.$

Nr.	p	p_1/p_2	d	d_2/d_1	$\log p$	$\log d$	δ	R	$R.p$	S	A	v	J	V	i	E
360	3,518	1,16	1,0	1,10	0,546	0,000	-0,01	408	1908	128	3,2	20	2,4	485	0,0133	6,4
361	3,04	1,18	1,1	1,13	0,483	0,041	0,00	458	1851	128	3,2	20	2,4	482	0,0131	6,3
362	2,58	1,18	1,24	1,12	0,412	0,093	0,00	530	1817	128	3,3	19	2,4	491	0,0133	6,5
363	2,19	1,17	1,39	1,14	0,340	0,143	+0,04	612	1780	126	3,2	19	2,3	497	0,0131	6,5
364	1,875	1,18	1,59	1,15	0,273	0,201	0,00	726	1809	126	3,2	19	2,3	517	0,0129	6,7
365	1,585	1,18	1,83	1,15	0,200	0,263	-0,01	873	1840	124	3,2	19	2,3	538	0,0126	6,8
366	1,342	1,18	2,09	1,14	0,128	0,320	-0,01	1045	1864	124	3,2	19	2,2	572	0,0127	7,3
367	1,139	1,20	2,38	1,15	0,057	0,377	-0,01	1251	1893	123	3,2	19	2,3	611	0,0127	7,8
368	0,95	1,19	2,73	1,18	-0,022	0,436	0,00	1524	1923	123	3,2	19	2,2	668	0,0125	8,4
369	0,80	1,18	3,22	1,11	-0,097	0,508	-0,12	1949	2072	124	3,2	19	2,2	719	0,0129	9,3
370	0,676	1,19	3,59	1,17	-0,170	0,555	-0,04	2307	2072	124	3,1	20	2,2	782	0,0128	10,0
371	0,568	1,20	4,19	1,13	-0,246	0,622	-0,17	2954	2230	124	3,1	20	2,2	837	0,0123	10,3
372	0,474	1,16	4,72	1,13	-0,324	0,674	-0,11	3603	2271	121	3,1	19	2,1	915	0,0118	10,8
373	0,408	1,22	5,33	1,12	-0,389	0,727	-0,14	4434	2405	119	3,0	20	2,1	1000	0,0118	11,8
374	0,334	1,23	5,95	1,13	-0,476	0,775	+0,09	5384	2390	120	3,0	20	2,0	1070	0,0115	12,3
375	0,271	1,17	6,75	1,13	-0,567	0,829	+0,36	6774	2440	118	3,0	20	2,0	1154	0,0115	13,3
376	0,232	1,19	7,6	1,13	-0,635	0,881	+0,37	8489	2618	118	2,9	20	2,0	1263	0,0111	14,0
377	0,195		8,6		-0,710	0,935	+0,52	10810	2802	120	3,0	21	2,0	1372	0,0114	15,6

Vergleich der Konstantenwerte bei verschiedenen Gasen.

Für die kleinste Plattenelektrode 3 von 0,69 cm Radius und 3,2 cm² Oberfläche liegen Messungsreihen für alle fünf der untersuchten Gase vor; die hierbei erhaltenen Resultate eignen sich daher dazu einen Vergleich über das Verhalten dieser Gase untereinander anzustellen. Die den betreffenden Messungsreihen entsprechenden Geraden sind in Fig. 5 in

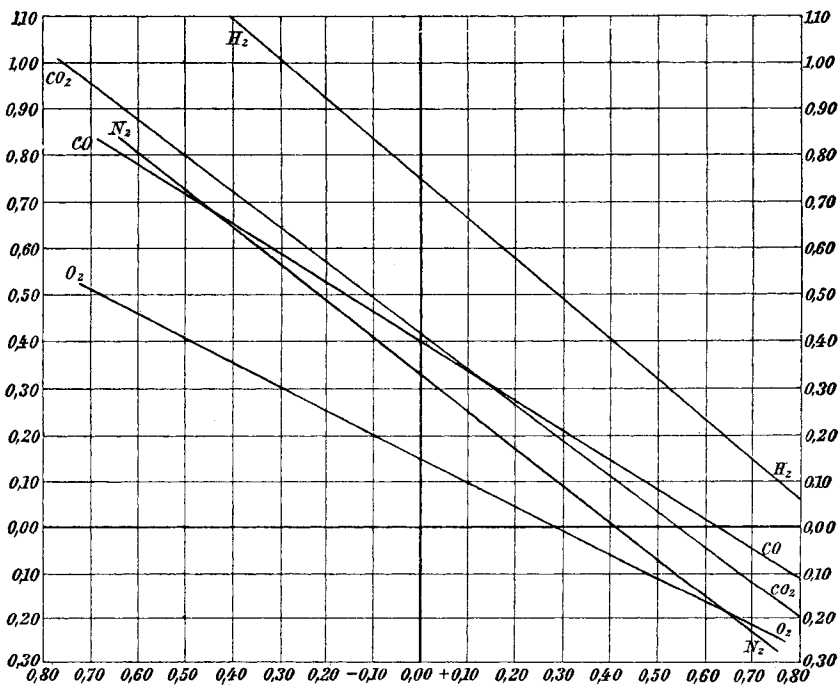


Fig. 5.

dasselbe Koordinatensystem eingetragen; für Sauerstoff wurde eine Linie gewählt, die genau in der Mitte zwischen den beiden einander parallelen und nur ein wenig gegeneinander verschobenen, die Reihen VIII und IX darstellenden Geraden liegt.

Man sieht, daß in Bezug auf die *Kurvenneigung* m die Gase in zwei Gruppen zerfallen: Bei *Wasserstoff, Kohlensäure und Stickstoff* ist m groß, die *Dunkelraumdicke* wächst rasch mit *abnehmendem Drucke*; die entsprechenden Geraden verlaufen ein-

ander fast parallel; bei Kohlenoxyd und Sauerstoff hingegen ist m wesentlich kleiner, der Dunkelraum wächst viel langsamer mit abnehmendem Drucke.

Was die Kurvenhöhe betrifft, so beurteilt man sie am besten nach der Ordinatenhöhe, welche von der Linie $\log p = 0$ von den einzelnen Geraden abgeschnitten wird, d. h. nach der Größe von $\log d_0$.

Nach der absoluten Größe des Dunkelraumes bei demselben Drucke ordnen sich die Gase in den beiden Gruppen wie folgt: Wasserstoff, Kohlensäure, Stickstoff einerseits; Kohlenoxyd, Sauerstoff anderseits, sodaß Wasserstoff die größten, Sauerstoff die kleinsten Dunkelräume bei gleichen Drucken besitzt.

Eine einfache Beziehung zur mittleren freien Weglänge existiert nicht, sonst könnte Sauerstoff nicht so tief, Kohlensäure nicht so hoch erscheinen.

Wie schon oben p. 90 erwähnt, steht die Reihenfolge, nach der sich die Gase ihren d_0 -Werten entsprechend ordnen lassen, in einer bemerkenswerten Beziehung zu derjenigen Folge, in der sie erscheinen würden, wenn man sie nach ihrem Wattverbrauche bei entsprechenden Drucken ordnen würde: ein Parallelismus ist hier unverkennbar, wie die folgende Zusammenstellung der d_0 - und der E -Werte für den Vergleichsdruck $p = 1,0$ mm unmittelbar ersichtlich macht:

Gruppe I.

H_2	CO_2	N_2
$d_0 = 5,59$	2,61	2,11
$E = 10,0$	8,2	7,7

Gruppe II.

CO	O_2
$d_0 = 2,51$	1,41
$E = 8,9$	6,6

Je größer der Dunkelraum, umsomehr Energie wird caet. par. konsumiert. Es gewinnt also den Anschein, als ob ein nicht unbeträchtlicher Anteil der zur Einleitung und Unterhaltung der Gasentladung nötigen Energie zur Ausbildung des Dunkelraumes verwendet würde.

Vergleicht man die Werte des vom dunklen Raum erfüllten Gasvolumens R für die verschiedenen Gase bei denselben

Drucken, was am besten vermittle der graphischen Aufzeichnung aller für Platte 3 mitgeteilten Werte (Fig. 6) geschieht, so sieht man, daß auch hier *Wasserstoff* und *Sauerstoff* die beiden Extreme bilden; für *Wasserstoff* ist das *Dunkelraumvolumen* durchweg größer, für *Sauerstoff* durchweg kleiner als für alle anderen Gase. Die Volumengrößen für N_2 , CO und CO_2 zeigen

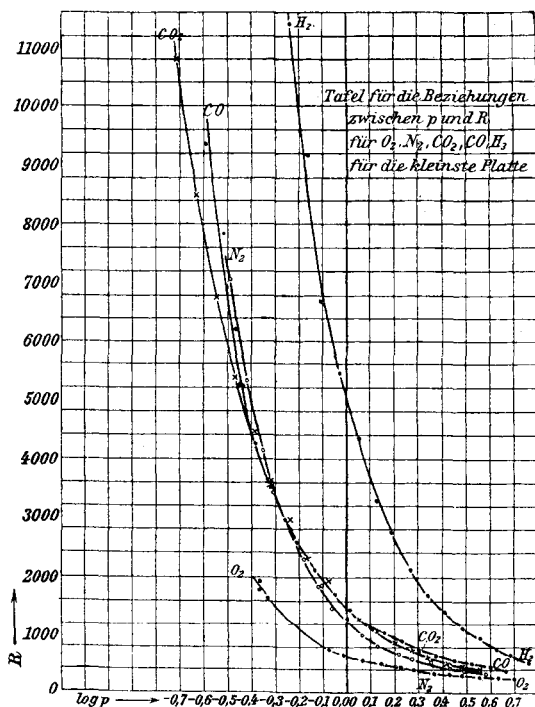


Fig. 6.

sehr nahe denselben Gang der Beziehung zwischen p und R , der sich näher demjenigen des O_2 als dem des H_2 anschließt.

Bei allen Gasen steigt das Volumen R stark mit abnehmendem Drucke. Um in die funktionelle Abhängigkeit einen näheren Einblick zu gewinnen, wurde in die Tabellen noch das Produkt $p \cdot R$ mit aufgenommen (in Erg ausgedrückt vgl. oben p. 79). Die graphische Aufzeichnung der den verschiedenen Gasen entsprechenden Wertreihen für dieselbe Elektrode (Fig. 7, p. 103) zeigt, daß wiederum O_2 die untere Grenze, H_2 die

obere des Flächenstreifens bilden, auf dem sich die $R \cdot p$ -Kurven für N_2 , CO und CO_2 ziemlich eng zusammendrängen. Für keines der untersuchten Gase resultiert eine Gerade, für keines wächst also das Dunkelraumvolumen umgekehrt proportional dem Drucke, bei H_2 findet sogar ein sehr ausgesprochenes einseitiges Ansteigen statt; das Volumen R wächst schneller als der Druck abnimmt. Ein Gesetz etwa von der Form $R \cdot p^2$ würde noch viel weniger eine Gerade liefern. Für die anderen

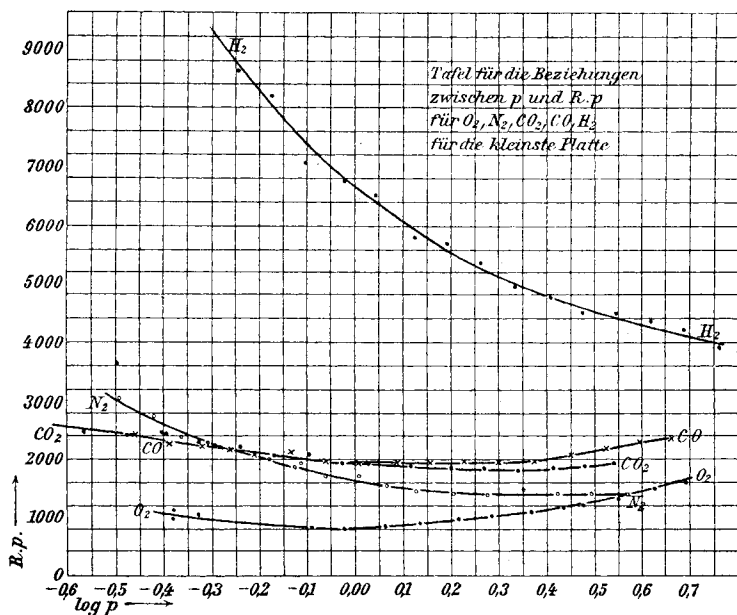


Fig. 7.

Gase findet zunächst ein Abnehmen bis zu einem Minimum, dann wieder bei den tieferen Drucken ein Ansteigen der $R \cdot p$ -Werte statt, doch sind die Wertänderungen von $R \cdot p$ mit p gering, sodaß man innerhalb gewisser Druckgrenzen von einem Konstantbleiben dieser Größen sprechen kann. Innerhalb dieser Grenzen wächst also das Dunkelraumvolumen umgekehrt, wie der Druck abnimmt. Dieses Übergehen unseres Gesetzes I in das Boyle-Mariottesche für die Volumina der Dunkelräume scheint nicht ohne eine gewisse Bedeutung zu sein. Hr. O. Lehmann hat in der oben p. 72 angeführten Arbeit

die schon früher von ihm geäußerte Ansicht eingehender begründet, daß der Dunkelraum um die Kathode herum erfüllt sei mit positiv elektrisierter Luft, welche ihre Elektrizität nicht an die Elektrodenplatte abzugeben vermag; sie sammelt sich daher hier an und leuchtet deshalb nicht, weil das Leuchten immer nur auf diejenigen Gegenden im Gase beschränkt zu sein scheint, wo Trennung oder Vereinigung zwischen den einzelnen Teilprodukten der Gasmoleküle stattfindet. Man hat daher auch von „ionisierter Luft“ im Dunkelraum gesprochen.

Man wird annehmen müssen, daß die *Menge* dieser ionisierten Luft in einfacher Weise mit der Stromstärke zusammenhängt. Da diese bei unseren Versuchen sehr nahe konstant gehalten werden konnte, so mußte die Menge des nichtleuchtenden Gases um die Kathode herum bei den verschiedenen Drucken nahezu die gleiche sein, das Volumen desselben mußte sich angenähert umgekehrt proportional dem Drucke erweitern. Dadurch erhält also die genannte Ansicht von einer ganz anderen Seite her eine neue Stütze.

In dieser Hinsicht sind Untersuchungen über das Verhalten von Edelgasen der hier studierten Erscheinung gegenüber von besonderem Interesse. Im Laufe unserer Untersuchungen haben wir auch mehrere Reihen mit Heliumgas angestellt; es war uns aber noch nicht gelungen, dieses Gas in größerer Menge, wie wir es für unseren großen Entladungsraum (von ca. 4 Litern Inhalt) brauchten, in solcher Reinheit herzustellen, wie es für derartige quantitative Untersuchungen unbedingt notwendig ist; wir sind aber damit beschäftigt, die Messungen auch auf Argon und Helium auszudehnen.

München, Phys. Inst. d. techn. Hochsch., Oktober 1902.

(Eingegangen 13. Oktober 1902.)
