

Ueber die Gebilde an der Kathode.

Von Nicolaus Hehl.

(Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.)

Um die Kathode lagert sich eine Reihe von Gebilden, die von E. Goldstein als erste, zweite und dritte Kathodenschicht bezeichnet worden sind. Sie entsprechen den Kanalstrahlen, dem Hitortorf'schen dunklen Raume und der negativen Glimmlightschicht. Um die Erscheinungen unter möglichst einfachen Verhältnissen zu untersuchen, bringt man die Electroden in eine sehr große Flasche, so daß die Wände des Entladungsraumes ohne Einfluss sind, und benutzt als Stromquelle eine Hochspannungsbatterie.

Es sei ein Draht als Kathode gegeben und der Druck betrage etwa 20 mm. Bei einem schwachen Strome ist zunächst nur ein kleiner Theil des Drahtes mit Glimmlight bedeckt, sei es die Spitze, sei es eine andere Stelle. Das Licht ist durch einen dunklen Raum vom Draht getrennt und hebt sich an seinen Enden von ihm ab¹⁾.

Verdünnt man das Gas, so breitet sich bei constanter Stromstärke das Glimmlight längs des Drahtes weiter aus, es wird der dunkle Raum dicker und ebenso die negative Glimmlightschicht. Bei noch tieferem Druck zeigt sich auch die Kanalstrahlenschicht; auch diese nimmt bei abnehmendem Drucke an Dicke zu. Mit wachsender Stromstärke erstreckt sich das Glimmlight über immer größere Oberflächen der Electrode. Dabei bleibt zunächst die Dicke des dunklen Raumes und der Glimmlightschicht constant. Ist die ganze Kathode bedeckt, so nimmt mit wachsender Stromstärke die Dicke des dunklen Raumes ab, und zwar zuerst schnell und dann langsam. Die Dicke des Glimmlichtes wächst stetig und ebenso die Länge der Kanalstrahlen.

Ganz analoge Erscheinungen wie an Drähten beobachtet

1) Siehe Lehmann, Die electricischen Lichterscheinungen. Taf. I u. ff.

man auch an Platten. Bei kreisförmigen Electroden bildet bei hohem Drucke und kleiner Stromstärke das Glimmlicht eine kleine Kreisfläche, die in ihrer Mitte der Electrode näher liegt als am Rande.

Mit abnehmendem Drucke und wachsender Stromstärke ändern sich auch bei Electroden, die den Querschnitt des Entladungsrohres ganz ausfüllen, so bei Kreisscheiben, deren Ebene zur Rohraxe senkrecht steht, die Dimensionen der Glimmlichtschicht wie bei freien Electroden; die Dicke des dunklen Raumes nimmt mit wachsender Stromstärke ab, die des Glimmlichtes wächst.

Einige, freilich nicht sehr eingehende Messungen hat W. Hittorf¹⁾ in seinen classischen Arbeiten über Entladungen mitgetheilt. Er fand, daß mit Zunahme der Stromstärke sich das Glimmlicht stetig über eine immer größere Fläche der Kathode ausdehnt. So lange dies möglich ist, bleibt seine Dicke wie seine Spannungsdifferenz so gut wie constant. Sobald aber die ganze Kathode bedeckt ist, flüthet es mit wachsender Stromstärke geradlinig weiter, und gleichzeitig wächst seine Spannungsdifferenz.

Die von W. Hittorf²⁾ und A. Schuster³⁾ gemachte Beobachtung, daß der Hittorf'sche Raum mit zunehmender Stromstärke dicker wird, konnte ich nicht bestätigen.

Ferner fand E. Warburg⁴⁾ wie W. Hittorf, daß das Kathodengefälle bei der Glimmentladung, das heißt die Potentialdifferenz zwischen Kathode und einer im Glimmlicht befindlichen Sonde, so lange die Kathode nicht ganz bedeckt ist, einen constanten Werth zeigt und lediglich abhängig ist von der Natur des Gases und dem Material der Electrode.

G. C. Schmidt⁵⁾ fand ferner, daß das Kathodengefälle unabhängig von der Temperatur ist, solange die Kathode noch nicht ganz bedeckt und nicht zur Weißglut erhitzt ist, und daß⁶⁾ mit steigender Stromstärke, nachdem die Kathode bedeckt ist, das Kathodenpotential geradlinig wächst.

1) Poggendorf's Annalen 136, p. 12. 1860.

2) Wied. Ann. 21, p. 95. 1884.

3) Proc. Roy. Soc. London 1890, p. 556.

4) Wied. Ann. 40, p. 16. 1890.

5) Ann. d. Phys. 1, p. 638. 1900.

6) Ann. d. Phys. 1, p. 640. 1900.

E. Wiedemann und H. Ebert haben für electriche Schwingungen gezeigt, daß bei Oscillationen die Dimensionen der Glimmlichtgebilde mit Druck und Stromstärke sich ebenso ändern wie bei constanten Strömen. Endlich hat H. Ebert¹⁾ in neuester Zeit Versuche über die Dicke des dunklen Raumes mittels hochgespannter Wechselströme mit hoher Frequenz angestellt. Hierbei fand er: Wenn die Verdünnung des Entladungsraumes nach einer geometrischen Reihe fortschreitet, so wächst der dunkle Raum nach einer geometrischen Reihe.

$$d \cdot p^m = C.$$

Hierbei ist d die Dicke des dunklen Raumes, p der Druck in mm Hg.

Indes ist zu beachten, daß sich bei Wechselströmen mehrere Einflüsse, vor allem infolge der zu den verschiedenen Zeiten vorhandenen verschiedenen Stromstärken, über einander lagern.

Bei der hohen Bedeutung der Vorgänge an der Kathode für die Entladungserscheinungen habe ich auf Veranlassung des Herrn Professor Dr. E. Wiedemann eine Reihe von Messungen über die Dimensionen der Kathodengebilde bei constanten Strömen angestellt.

Versuchsordnung.

Als Entladungsraum diente zuerst eine 40 cm lange und 3 cm weite Glasröhre, in deren beide Enden Aluminiumdrähte eingekittet waren. Es stellte sich aber bald heraus, daß die Weite des Rohres zu gering war, da das Glimmlicht bald die Wände desselben erreichte, und dadurch die Verhältnisse zu complicirt wurden, als daß man einfache Resultat hätte erwarten können. Daher wurden zu weiteren Versuchen zwei große, etwas abgeänderte Wulff'sche Flaschen benützt, deren oberen Teil Tafel I Figur 1 zeigt. Sie haben eine Gesammthöhe von 25 cm und einen Durchmesser von 15 cm. Der Hals der Flasche (Fig. 1) bestand aus einem Schliff S von 25 mm Durchmesser, der es ermöglichte, auch Bleche von 20 mm Breite als Electroden in die Flasche einzusetzen. Zu beiden Seiten von diesem Schliff waren zwei weitere Schliffe S_1 und S_2 angebracht, durch welche einerseits die Anode, anderseits eine Sonde eingesetzt werden konnte.

1) Wied. Ann. 69, p. 211, p. 372, 1890.

Der mittlere Schliff S war ferner, wie die Figur zeigt, so eingerichtet, daß dadurch gleichzeitig eine Verbindung mit der Pumpe mittels des Schliffes S_3 hergestellt wurde. Diese Verbindung V war mit (in der Figur nicht gezeichneten) Hähnen H_1 und H_2 versehen, um leicht die eine oder andere Flasche abschalten zu können.

Die Electroden waren an Platindrähte angelöthet und in Glas eingeschmolzen. Als Zuführung zur Kathode K , welche am mittleren Schliff S eingesetzt wurde, diente ein Messingdraht M , der an den Platindraht P angelöthet war; derselbe hatte am unteren Ende ein kleines Gewinde G nebst zwei kleinen Muttern M_1 M_2 . Sie gestatteten, die zu untersuchenden Drähte und Bleche mit vollkommen sicherem Contact zu befestigen. Ueber den Messingdraht M und über die Muttern M_1 M_2 war ein Glasrohr R geschoben, dessen eines Ende so weit verengt war, daß der zu untersuchende Draht eben hindurch ging. Die Anode A_1 war ein in Glas eingeschmolzener Platindraht. An diesen war ein Aluminiumdraht angelöthet, nachdem er vorher mit einem dünnen, elektrolytisch niedergeschlagenen Kupferüberzug versehen worden war. Die Verbindungsstellen außerhalb des Entladungsraumes war stets entweder verlöthet oder durch Quecksilbernäpfchen hergestellt, so daß keine Funkenstrecke durch schlechten Contact entstehen konnte. Alle Verbindungen zur Luftpumpe und zum Manometer waren, um Undichtheiten zu vermeiden, aus Glas hergestellt. Als Electroden wurden Aluminiumdrähte und -bleche in den folgenden Stärken verwendet: Drähte in den Stärken von 1, 2, 3, 4 mm Durchmesser, Bleche in den Größen $0,2 \times 20 \times 120$ mm und $4 \times 20 \times 120$ mm. Einige Versuche am Schlusse der Untersuchung wurden auch mit einem Platindraht von 2 mm Durchmesser und 120 mm Länge und einem Graphitstab von denselben Dimensionen ausgeführt. Zur Beurtheilung der Stetigkeit des elektrischen Stromes war ein Telephon mit besonders gut isolirter Bewickelung in den Stromkreis eingeschaltet.

Als Stromquelle diente eine Accumulatorenatterie von 1600 Zellen, die in 40 Kästen untergebracht waren. 28 dieser Kästen waren nach Zehnder von Klingelfueß in Basel bezogen, während die übrigen 12 Kästen nach dem Modell der Deutschen physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg gebaut

waren. Sie wurden zum Laden mittels Quecksilbernapfchen zu je 40 Zellen parallel geschaltet und von der Lichtleitung aus (110 Volt Betriebsspannung) unter Einschaltung eines Ampèremeters und eines Widerstandes geladen. Zeitweise wurde auch eine selbsterregende 20plattige Töpler'sche Influenzmaschine als Stromquelle benützt, die durch einen Wassermotor von A. Schmid angetrieben wurde.

Als Widerstände wurden nach Hittorf Lösungen von Jodcadmium in Amylalkohol benützt, und zwar waren dieselben wie folgt eingerichtet: Vier U-förmig gebogene Glasröhren I, II, III, IV (Fig. 2) von dem Durchmesser 30, 20, 10 und 5 mm und von ca. 50 cm Schenkellänge nahmen die Flüssigkeiten auf. In jeden Schenkel waren Cadmiumscheiben von je 25, 18, 8 und 3 mm Durchmesser, die an einem Cadmiumdraht befestigt waren, eingelassen, mittels Glasröhren isolirt und durch Korke geführt. Eine Scheibe ließ man fest stehen, die anderen konnte man bewegen, so daß durch Höherziehen derselben wachsende Flüssigkeitwiderstände eingeschaltet wurden. An sämtliche bewegliche Scheiben resp. Drähte waren starke Kupferdrähte angelöthet, deren Ende in ein ca. 50 cm langes und 15 mm weites, mit Quecksilber gefülltes Glasrohr tauchten, welche die Stromführung übermittelten. Die Zuführungen der feststehenden Cadmiumscheiben führten in Quecksilbernapfchen. Durch Eintauchen des Leitungsdrahtes in das eine oder andere Napfchen konnten die verschiedenen Widerstände ein- und ausgeschaltet werden.

Widerstand I konnte

	von 15 000—	240 000 Ohm
II	„ 80 000—	500 000 „
III	„ 240 000—	800 000 „
IV	„ 800 000—	5 600 000 „

verändert werden. Dadurch verändert sich unter den obwaltenden Versuchsbedingungen die Stromstärke von 0,0001 Amp. bis 0,017 Amp.

Zum Auspumpen diente eine Stuhl'sche Quecksilberluftpumpe ohne automatische Vorrichtung, welche sich sehr gut bewährte. Vorgepumpt wurde mit einer Körting'schen Wasserstrahlpumpe.

Zur Messung des Gasdruckes wurde ein Mac-Leod'sches

Manometer mit dreifachem Messbereich verwendet. Durch Zusammendrücken des Gases in der Kugel und Glasröhre auf 0,03, 0,02, 0,01 des Volumens konnten an einer besonders geachteten Theilung direct die Hundertstel Millimeter Hg-Druck abgelesen werden.

Zu den electricischen Messungen dienten folgende Instrumente. Als Strommesser wurde ein Wiedemann'sches Galvanometer mit Ringmagnet und verschiebbaren Spulen, die mit gut isolirtem Guttapercha-Draht bewickelt waren, benützt. Dasselbe wurde durch ein Präcisions-Milli-Ampèremeter von Reiniger, Gebbert & Schall geacht, welches mit einem Präcisions-Milli-Volt- und Ampèremeter der Firma Siemens & Halske verglichen worden war. Letzteres war erst kurze Zeit vorher von der Firma Siemens und Halske geprüft und mit einer Correctionstabelle versehen worden.

Später wurde, da die Dämpfung des Galvanometers nicht sehr groß war, ein Siemens'sches Torsionsgalvanometer mit den Messbereichen 0—0,017 Amp., 1 Teilstrich = 0,0001 Amp., zur Messung benützt.

Zu Spannungsmessungen dienten Braun'sche Electrometer von Albrecht in Tübingen mit den Messbereichen 100—1500 und 100—3000 Volt; ferner ein Lord Kelvin'sches Multicellular-Voltmeter von der Firma Hartmann & Braun in Bockenbeim bei Frankfurt a. M. mit dem Messbereich von 30—120 Volt. Dieses musste besonders sorgfältig behandelt und vor Erschütterung bewahrt werden, da sonst leicht Kurzschluss zwischen Nadeln und Quadranten entstehen kann, der die Zuführungen zu den Nadeln durchbrennen würde. Durch Gegenschalten von Accumulatoren von bekannter electromotorischer Kraft wurde dasselbe für höhere Messbereiche verwendbar gemacht.

Zur Bestimmung der Längen des Glimmlichtes, der Dimensionen des dunklen Raumes und der Länge der Glimmlichtstrahlen wurde folgende Anordnung gewählt. F_1 in Fig. 2 auf Tafel I ist die Flasche, welche die zu untersuchende Electrode enthält. Durch das Rohr V communicirt dieselbe mit der Quecksilberluftpumpe. In etwa 2 m Entfernung war ein ziemlich stark vergrößerndes Beobachtungsfernrohr A aufgestellt. Vor seinem Objectiv B war ein gegen seine Axe um 45° geneigter Spiegel C angebracht, der dasselbe zur Hälfte bedeckte.

Dieser warf das von einer durch eine Glühlampe D_1 beleuchteten Scala G_1 kommende Licht in das Fernrohr. Da die Scala G_1 und die Kathode K in gleichem Abstände vom Fernrohr sich befanden, so erschienen sie bei gleicher Einstellung derselben scharf. Die Scala G_1 war eine photographische Copie einer sehr fein getheilten Glasscala. Die Helligkeit der Glühlampe konnte durch einen neben dem Fernrohr aufgestellten Stufenschalter N verändert werden. Das Fadenkreuz des Fernrohres war so gestellt, daß der eine Faden vertical, der andere horizontal stand. Feinverstellungen gestatteten das Fernrohr allmählich um eine horizontale bezw. eine verticale Axe zu drehen. Je nachdem es sich darum handelte, Messungen an den Glimmlichtgebilden in verticaler oder horizontaler Richtung auszuführen, wurde die Scala horizontal oder vertical aufgestellt. In vielen Fällen sollten vergleichende Messungen über die Dimensionen der Glimmlichtgebilde unter verschiedenen Umständen, aber bei gleichem Drucke angestellt werden. Um hierbei von Unsicherheiten und von Verunreinigungen der Gase frei zu sein, wurde nicht eine, sondern zwei Entladungsflaschen F_1 und F_2 verwendet. Dieselben wurden, wie die Figur zeigt, neben einander aufgestellt; das Verbindungsstück zwischen beiden war so kurz wie möglich gewählt. Ferner wurde ein zweites Fernrohr A_2 mit Spiegel C_2 und Scala G_2 genau wie das erste aufgestellt. Die zugehörige Scala G_2 mit Glühlampe D_2 stand der dem ersten zugeordneten gerade gegenüber. Ein Umschalter U gestattete nach Wunsch die Electroden der Flasche F_1 und F_2 in den Stromkreis einzuschalten.

Bei den Messungen wurde folgendermaßen verfahren: Je nachdem es sich darum handelte, die Längen des Glimmlichtes parallel zur Kathode oder die Dimensionen der Glimmlichtgebilde senkrecht zu derselben zu ermitteln, wurde etwas verschieden vorgegangen.

Nachdem die Beleuchtungslampen der Scalen ausgelöscht waren, wurde im ersten Falle der horizontale Faden zunächst auf das Ende der Electrode eingestellt, die Glühlampe eingeschaltet und die Scala abgelesen. Ebenso wurde mit dem oberen Ende verfahren. Bei der zweiten Gruppe von Messungen wurde nach einander auf die verticale Begrenzung des Glimmlichtes und die äußere Begrenzung eingestellt, und zwar wurden die Messungen mehrmals ausgeführt, wobei immer von der äußersten rechten

Seite zur linken und dann umgekehrt abgelesen wurde. Es wurden dann Mittel der einzelnen Werthe genommen, die im Allgemeinen recht gut übereinstimmten.

In Bezug auf die sämmtlichen Beobachtungen muss auf eine Erscheinung hingewiesen werden, durch welche die Werthe wesentlich verändert werden können. Für die sämmtlichen Abmessungen der Glimmlichterscheinungen und vor allem für die Ausdehnung derselben längs des Drahtes ergab sich, daß sie mit der Dauer des Stromdurchganges veränderlich waren. Schloss man den Strom, so hatte das Glimmlicht eine bestimmte Länge. Es zog sich dann ein klein wenig zusammen, um nach kurzer Zeit beträchtlich zu wachsen. Dabei ändert die Stromstärke in eigenthümlicher Weise ihren Werth. Sie steigt zunächst etwas an, sinkt dann wieder, um alsdann wieder zu wachsen. Da hierbei die Erwärmung der Gase und die Wände einen zunächst unübersehbaren Einfluss ausüben, so soll auf diese Erscheinung nicht näher eingegangen werden. Sie dürfte aber daran Schuld sein, daß zunächst noch keine allgemeine Gesetzmäßigkeit sich ergab. Um stets die normalen Längen messen zu können, wurde in allen Fällen im ersten Moment des Stromschlusses die Länge des Glimmlichtes abgelesen. Es musste daher auch ein stark gedämpftes Galvanometer zum Messen der Stromstärken verwendet werden.

Zu beachten ist noch Folgendes: Nicht immer setzte sich im Laufe einer Beobachtung das Glimmlicht an der Spitze an, vielfach auch an dem anderen Ende, seine Länge blieb aber unverändert. Wurde eine Electrode längere Zeit dem Stromdurchgange ausgesetzt, so erhielt sie ein mattglänzendes Aussehen und verlor gleichzeitig ihre Elasticität. Auch wurden die Glimmlichtgebilde ganz bedeutend verzerrt, sie erschienen bedeutend länger und stellenweise änderten sich auch ihre Dicken. Trat dieses letztere ein, so theilte sich an einer solchen Stelle nach einer Weile das Gebilde. Der eine Theil blieb an der Spitze haften, während der andere Theil auf und ab wanderte. Manchmal wanderte auch das ganze Gebilde hin und her und war nicht an eine bestimmte Stelle zu bringen. Es durfte daher, um diese Uebelstände zu vermeiden, eine Electrode nicht länger als zu einem Versuche benützt werden, da sonst leicht durch Verzerrungen falsche Resultate erhalten wurden. Bei Anwendung

von Blechen als Electroden machte sich noch eine andere Schwierigkeit geltend, die vom Glimmlicht bedeckte Fläche zu bestimmen, da bei breiten Blechen das Gebilde sich zuerst über den Rand der Bleche ausbreitete, und erst bei fast vollkommener Bedeckung die Mitte der Bleche an der Stromleitung theilnahm. Da die Ursache zuerst auf Unreinigkeiten der Platten resp. Bleche geschoben wurde, so wurden dieselben gründlich gereinigt und polirt. Aber auch hierbei zeigte sich derselbe Verlauf. Es konnten daher nur angenähert die bedeckten Flächen aus den linearen Abmessungen des Glimmlichtes bestimmt werden.

Zur Bestimmung der relativen optischen Intensitäten des Glimmlichtes diente dessen photochemische Wirkung. Hierzu wurde eine Schiebekassette benützt, wie sie bei Spectralapparaten angewendet werden¹⁾. Die Größe der lichtempfindlichen Platten betrug $4 \times 4,5$ cm. Auf dieselben konnten je 7 Aufnahmen von Streifen in der Größe $4,5 \times 40$ mm gemacht werden. Der Rahmen, in welchem die Kassette verschoben werden konnte, war an einem Kasten befestigt, in dessen Inneren sich ein drehbarer Verschluss befand, der gestattete, äußerst rasch zu öffnen und zu schließen. Die Belichtungszeit war durchschnittlich 6 Secunden und wurde mittels eines Metronoms eingehalten. Die Entfernung des Glimmlichtes von der lichtempfindlichen Platte betrug in allen Fällen 2 m. Ferner war die ganze Einrichtung so angeordnet, daß abwechselnd das Glimmlicht an der einen oder anderen Kathode der beiden Flaschen die Platte resp. einen Streifen der Platte belichtete. Dies hatte den Vortheil, daß die Intensitäten des Glimmlichtes an verschiedenen dicken Electroden auf einer Platte fixirt werden konnten. Die Untersuchung der Schwärzungen der Platte geschah mittels eines Martens'schen Photometers.

In den im Folgenden erhaltenen Tabellen wurden stets folgende Bezeichnungen angewendet:

v = Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode in Volt.

p = Druck in Millimeter Quecksilber.

d_c = Kanalstrahlenlänge in Millimeter.

d_h = Dicke des Hittorf'schen dunklen Raumes in Millimeter.

d_g = Dicke der negativen Glimmlichtschicht in Millimeter.

1) Vergl. J. S. Acworth, Wied. Ann. 42, p. 371. 1891.

i_w = Stromstärke in Milliampère.

l_w = Länge des Glimmlichtes in Millimeter.

C_c, C_h, C_g = Später zu definirende Constanten, welche für die Kanalstrahlen des Hittorf'schen dunklen Raumes und die negative Glimmlichtschicht gelten.

N = Stickstoff, H = Wasserstoff.

Die Untersuchungen erstreckten sich auf folgende Gegenstände:

1. Abhängigkeit der Potentialdifferenzen zwischen Kathode und Anode vom Druck bei nicht ganz bedeckter Kathode.

2. Abhängigkeit der vom Glimmlichte bedeckten Electrodenfläche von der Stromstärke und Einfluss der Gestalt der Electroden hierauf bei constantem Druck.

3. Abhängigkeit der vom Glimmlicht bedeckten Fläche bei constanter Stromstärke vom Druck.

4. Dicke der Kanalstrahlenschicht, des dunklen Raumes und der negativen Glimmlichtschicht bei verschiedenem Druck, solange die Kathode nicht ganz bedeckt ist.

5. Abhängigkeit derselben Größen vom Druck, wenn die Kathode ganz bedeckt ist.

6. Abhängigkeit der optischen Intensität des Glimmlichtes von Stromstärke und Druck bei nicht ganz bedeckter Kathode.

7. Untersuchung der Beziehungen zwischen l, i, p und d bei verschiedenem Electrodenmaterial.

8. Orientirende Beobachtungen über die Beziehungen zwischen den Größen l, i, p und d bei verschiedenen Gasen.

I. Abhängigkeit der Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode vom Druck bei nicht ganz bedeckter Kathode.

Die Messungen der gesammten Potentialdifferenz wurden zunächst an einem 40 cm langen und 3 cm weiten Entladungsrohr angestellt.

Die Stromstärke wurde jeweils so regulirt, daß nur ein kleiner Theil der Electrode von Glimmlicht bedeckt war.

p	8,25	5,19	3,30	2,16	1,33	0,95	0,60	0,39	0,35	0,24	0,15
v	400	410	370	360	360	360	370	370	380	380	370

bei $p = 0,12$ reichten die Widerstände nicht mehr aus, um den Strom so weit zu schwächen, daß die Electrode nur theilweise

bedeckt war. Das Potential stieg auf 430 Volt. Die innerhalb etwas größerer Druckgrenzen als die oben erwähnten von W. Hittorf und W. Warburg¹⁾, welche sich von $p = 9,5$ bis $p = 0,8$ bewegten, angestellten Messungen ergeben, daß das Kathodengefälle, solange die Electroden nur auf einem kleinen Theilbedeckt ist, so gut wie constant bleibt. Die obigen Werthe für v stellen nicht das Kathodengefälle allein, sondern die Summe des Kathodengefalles, des Gefalles in dem Gase bis zu dem äußersten Ende des Glimmlichtes und des Anodengefalles dar. Da aber die letzten relativ klein sind, so können sie vernachlässigt werden.

Bei einer Reihe von freilich nur vorläufigen Versuchen war in das negative Glimmlicht eine Sonde eingeführt. Es wurde das Kathodengefälle bei verschiedenen Stromstärken, d. h. bei verschieden großer Bedeckung der Kathode mit Glimmlicht, bestimmt. Die Sonde befand sich in der Nähe des Kathodenendes. Dabei ergab sich das überraschende Resultat, daß das Kathodengefälle von den Längen des Glimmlichtes, welche die Kathode bedecken, abhängig war, und zwar war es um so größer, je weiter die Bedeckung sich erstreckte. Bei einem Druck von $p = 5,7$ mm änderte sich das Gefälle um etwa 100 Volt, wenn das Glimmlicht sich von 2 bis 10 cm ausdehnte. Bei einem niederen Drucke von $p = 2$ mm betrug die entsprechende Aenderung ca. 20 Volt. Auf diese Erscheinung und ihre Ursachen, die in einem eigenthümlichen Stromverlauf gefunden werden dürften, soll später zurückgekommen werden.

II. Abhängigkeit der vom Glimmlichte bedeckten Electrodenfläche von der Stromstärke und Einfluß der Gestalt der Electroden hierauf bei constantem Druck.

Als Entladungsraum diente zu vorläufigen Versuchen eine 40 cm lange und 3 cm weite Glasröhre. Von der einen Seite war ein 20 cm langer und 3 mm dicker Aluminiumdraht axial als Kathode eingekittet. Als Anode diente ein eingeschmolzener Platindraht. Die Stromstärke wurde jeweilig so regulirt, daß die Kathode vom Glimmlicht nur bis zur Hälfte bedeckt war,

1) Wied. Ann. 31, p. 579. 1887.

weil bei hohem Druck alsdann die Erwärmung schon so stark wurde, daß ein Schmelzen der Electrode zu befürchten war. Um dies zu vermeiden, wurde ferner eine relativ dicke, nämlich 3 mm starke Electrode gewählt. Als Gas diente Luft. Die Versuchsergebnisse bei verschiedenen Drucken enthält die Tabelle.

Die letzte Columne $\frac{1}{i}$ gibt die Länge an, durch welche die Stromstärke 1 fließt. Der reciproke Werth $\frac{i}{1}$ ist der Stromdichte

proportional. Ist $\frac{1}{i}$ eine Constante, so geht bei gleichem Druck stets durch gleiche Flächen gleich viel Strom, oder die Stromdichte ist an allen Stellen der Kathode gleich einer Constanten.

In den später folgenden Tabellen ist zunächst die Größe $\frac{1}{i}$ angegeben. Am Schluß jeder Tabelle ist dann hieraus die Stromdichte

$\frac{i}{2\pi r \cdot l} = D$ berechnet, wobei r die Radien der bedeckten Drähte sind, und zwar ist, da die Intensitäten in Milliampère, die Längen und Querschnitte in mm gemessen sind, die Stromdichte gegeben in Milliampère pro qmm.

p = 3 mm			p = 1,8		
l	i	$\frac{1}{i}$	l	i	$\frac{1}{i}$
5	8	0,625	10	20	0,5
12	20	0,600	20	45	0,445
20	35	0,570	30	70	0,430
27	45	0,595	40	85	0,470
55	95	0,580	50	110	0,460
64	109	0,590	60	135	0,418
74	131	0,565	70	155	0,455
88	158	0,556	80	185	0,435
97	187	0,520	90	210	0,432
114	208	0,500			
Mittel $\frac{1}{i} = 0,570$			Mittel $\frac{1}{i} = 0,450$.		

Es ist also die Länge des Glimmlichtes direct proportional der Stromstärke; daraus folgt aber, daß bei nicht ganz bedeckter Electrode die Stromdichte un-

abhängig von der Größe der Bedeckung ist. Bei den Versuchen änderte sich die Stromstärke etwa auf das Zwanzigfache.

Zu untersuchen war nun, ob bei verschieden gestalteter Electrode, bei gleichem Druck und gleicher Stromstärke, die Stromdichte, bezw. die vom Glimmlicht bedeckte Fläche die gleiche ist. Vorausgesetzt ist, daß allein das Glimmlicht Strom zur Kathode führt. Zu diesen Versuchen waren 2 Flaschen aufgestellt, wie sie in der Einleitung beschrieben sind. In der einen war ein Draht von 2 mm Dicke, in der anderen ein solcher von 1 mm als Kathode angebracht. Die Längen derselben betragen 100 mm. Als Gas wurde reiner Stickstoff verwandt. Pumpen und Flaschen wurden mehrmals damit ausgespült.

Zur Ablesung der Längen diente die oben beschriebene Ablesung mittels einer durch Spiegel reflectirten Scala. Die folgenden Tabellen enthalten zunächst Beobachtungen an verschieden dicken Drähten. Ist der oben aufgestellte Satz richtig, so müssen die bei Drähten von dem Radius r gefundene Werthe von $\frac{1}{i}$ den Radien umgekehrt proportional sein, d. h. $\frac{1}{i} \cdot r = C_1$

oder $\frac{i}{1 \cdot r} = C_2$, oder es muß $\frac{i}{2\pi r \cdot l} = C$ sein.

p = 5,6					
r ₁ = 0,5 mm			r ₂ = 1 mm		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
15	2,05	7,3	12	3,31	3,6
20	2,72	7,4	21	5,52	3,8
28	3,75	7,5	29	8,41	3,4
31	4,22	7,3	36	9,63	3,7
46	6,43	7,1	54	15,19	3,6
Mittel $\frac{l'}{i'} = 7,3$; $\frac{i'}{l'} = 0,137$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 3,7$; $\frac{i''}{l''} = 0,270$		
$\frac{i'}{2\pi r \cdot l'} = D = 0,0435$.			$\frac{i''}{2\pi r \cdot l''} = D = 0,0430$.		

p = 3,7					
r ₁ = 0,5 mm			r ₂ = 1 mm		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
12	1,0	12,0	14	2,41	5,82
23	2,1	10,9	30	5,23	5,73
30	2,57	12,6	42	7,02	6,00
46	3,91	11,5	54	9,21	5,82
70	6,01	11,6	84	14,49	5,72
Mittel $\frac{l'}{i'} = 11,7; \frac{i'}{l'} = 0,086$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 5,8; \frac{i''}{l''} = 0,173$		
D = 0,027.			D = 0,027.		

p = 2,4					
r ₁ = 0,5 mm			r ₂ = 1 mm		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
18	1,0	18	20	2,2	9,1
26	1,47	17,7	32	3,54	9,0
48	2,6	18,4	48	5,21	9,2
63	3,4	18,5	62	6,71	9,2
85	4,7	18,2	65	8,02	9,3
Mittel $\frac{l'}{i'} = 18,2; \frac{i'}{l'} = 0,055$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 9,2; \frac{i''}{l''} = 0,11$		
D = 0,0175.			D = 0,0174.		

p = 1,14.					
r ₁ = 0,5 mm			r ₂ = 1 mm		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
22	0,61	36,1	25	1,41	17,8
48	1,28	37,5	47	2,72	17,4
60	1,7	35,2	64	3,49	18,2
87	2,22	39,6	90	5,00	18,0
Mittel $\frac{l'}{i'} = 37,1; \frac{i'}{l'} = 0,027$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 18; \frac{i''}{l''} = 0,055$		
D = 0,00855.			D = 0,00876.		

p = 4,5					
r ₁ = 1 mm			r ₂ = 1,5 mm		
l _w '	i _w '	l' i'	l _w ''	i _w ''	l'' i''
8	1,7	4,7	12	3,8	3,16
32	6,5	4,92	38	12,0	3,20
50	10,2	5,0	56	17,9	3,25
74	15,0	4,92			
Mittel $\frac{l'}{i'} = 4,88$; $\frac{i'}{l'} = 0,208$.			Mittel $\frac{l''}{i''} = 3,2$; $\frac{i''}{l''} = 0,313$.		
D = 0,0328.			D = 0,0330.		

p = 2,7					
r ₁ = 1 mm			r ₂ = 1,5 mm		
l _w '	i _w '	l' i'	l _w ''	i _w ''	l'' i''
15	1,8	8,3	12	2,2	5,48
40	4,9	8,1	28	5,0	5,62
63	7,2	8,7	44	8,3	5,3
78	9	8,6	69,4	13,0	5,35
Mittel $\frac{l'}{i'} = 8,4$; $\frac{i'}{l'} = 0,119$.			Mittel $\frac{l''}{i''} = 5,44$; $\frac{i''}{l''} = 0,184$.		
D = 0,0190.			D = 0,0195.		

p = 1,64 mm					
r ₁ = 1 mm			r ₂ = 1,5 mm		
l _w '	i _w '	l' i'	l _w ''	i _w ''	l'' i''
13	1,02	12,8	18	2,1	8,6
38	2,9	13	29	3,3	8,75
57	4,3	13,2	56	6,3	8,85
82	6,2	13,2	78	8,5	9,1
Mittel $\frac{l'}{i'} = 13,5$; $\frac{i'}{l'} = 0,074$.			Mittel $\frac{l''}{i''} = 8,8$; $\frac{i''}{l''} = 0,113$.		
D = 0,0117.			D = 0,0120.		

p = 3,5 mm					
r ₁ = 1,5 mm			r ₂ = 2 mm		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
9	2,3	3,9	5	1,72	2,9
32	8,1	3,95	28	9,3	3,0
61	15,0	4,5	34	11,8	2,87
Mittel $\frac{l'}{i'} = 4,1; \frac{i'}{l'} = 0,244.$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 2,9; \frac{i''}{l''} = 0,345.$		
D = 0,0261.			D = 0,0274.		

p = 2,86 mm					
r ₁ = 1,5 mm			r ₂ = 2 mm		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
13	2,7	4,8	9	2,6	3,45
42	8,8	4,74	35	10,0	3,5
63,2	13	4,8	58	15,6	3,72
Mittel $\frac{l'}{i'} = 4,8; \frac{i'}{l'} = 0,208.$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 3,56; \frac{i''}{l''} = 0,281.$		
D = 0,0221.			D = 0,0223.		

p = 1,2 mm					
r ₁ = 1,5 mm			r ₂ = 2 mm		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
18	1,5	12	12	1,3	9,2
46	3,7	12,4	54	5,7	9,4
85	6,7	12,6	90	8,6	10,5
Mittel $\frac{l'}{i'} = 12,3; \frac{i'}{l'} = 0,083.$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 9,7; \frac{i''}{l''} = 0,103.$		
D = 0,0087.			D = 0,0082.		

Des weiteren wurde in folgenden Tabellen die Bedeckung des Glimmlichtes bei Blechen und Drähten verglichen.

Die Oberfläche des Drahtes F_1 von 1 mm Radius = $6,3 \overline{\text{qmm}}$ pro 1 mm Länge, die Fläche der Bleche F_2 von $8 + 8 \text{ mm} = 16 \overline{\text{qmm}}$ pro 1 mm Länge.

Radius des Drahtes 1 mm. Dimensionen F_2 des Bleches
8 mm breit, 0,2 mm dick, 120 mm lang.

p = 3,2 mm					
l_w'	i_w'	$\frac{l'}{i'}$	l_w''	i_w''	$\frac{l''}{i''}$
12	1,9	6,3	7	2,7	2,59
27	4,1	6,5	18	6,5	2,76
38	6,0	6,28	22	9,0	2,46
52	8,1	6,4	—	—	—
67	9,9	6,7	—	—	—
Mittel $\frac{l'}{i'} = 6,43.$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 2,6.$		

$$\text{Mittel } \frac{i'}{l'} = 0,153.$$

$$D = 0,0248.$$

$$\text{Mittel } \frac{i''}{l''} = 0,385.$$

$$D = 0,0241.$$

p = 2,4 mm					
$F_1 = 6,3$			$F_2 = 16$		
l_w'	i_w'	$\frac{l'}{i'}$	l_w''	i_w''	$\frac{l''}{i''}$
16	1,77	9,0	11	3,1	3,57
42	4,62	9,05	20	5,7	3,50
65	7,5	8,6	32	8,5	3,75
Mittel $\frac{l'}{i'} = 8,9.$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 3,6.$		

$$\text{Mittel } \frac{l'}{i'} = 0,112.$$

$$D = 0,0178.$$

$$\text{Mittel } \frac{l''}{i''} = 0,278.$$

$$D = 0,0176.$$

p = 1,10					
F ₁ = 6,3			F ₂ = 16		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
18	0,92	19,6	13	1,74	7,5
39	1,9	20,5	42	5,2	8,0
75	3,6	21,4	52	6,5	7,9
Mittel $\frac{l'}{i'} = 20,5$.			Mittel $\frac{l''}{i''} = 7,8$.		
Mittel $\frac{i'}{l'} = 0,049$.			Mittel $\frac{i''}{l''} = 0,128$.		
D = 0,00775.			D = 0,008.		

Radius d. Drahtes 1 mm F₁ = 6,3. Dimensionen des Bleches 20 mm breit, 0,2 mm dick, 100 mm lang.

p = 1,82					
F ₁ = 6,3			F ₂ = 40		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
15	1,2	12,5	26	12,0	2,16
66	4,9	13,4	34	18,0	1,88
83	6,05	13,5	52	25	2,07
Mittel $\frac{l'}{i'} = 13,1$.			Mittel $\frac{l''}{i''} = 2,04$.		
Mittel $\frac{i'}{l'} = 0,0765$.			Mittel $\frac{i''}{l''} = 0,490$.		
D = 0,0122.			D = 0,0122.		

Aus den obigen und den nachstehenden (S. 188) Versuchen folgt, daß, gleichgültig ob man es mit Platten oder Drähten zu thun hat, bei constantem Druck die Stromdichte die gleiche und daß ferner bei demselben Draht die Länge des Glimmlichtes proportional der Stromstärke ist. Es ergibt sich daher

$$\frac{i}{l} \cdot \frac{1}{F} = C,$$

worin F die mit Glimmlicht bedeckte Fläche ist.

Radius d. Drahtes 1 mm. Dimensionen des Bleches
4 mm breit, 4 mm dick, 100 mm lang.

p = 3,35 mm					
F ₁ = 6,3			F ₂ = 16		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
7	1,26	5,55	8	3,6	2,21
22,5	3,9	5,65	12	5,2	2,31
43,0	7,5	5,74	17	7,5	2,26
57	10,2	5,7	25	11,2	2,26
76	14	5,42	36	16,0	2,25
Mittel $\frac{l'}{i'} = 5,61.$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 2,26.$		
Mittel $\frac{i'}{l'} = 0,178.$			Mittel $\frac{i''}{l''} = 0,44.$		
D = 0,0283.			D = 0,0276.		

p = 1,5 mm					
F ₁ = 6,3			F ₂ = 16		
l _{w'}	i _{w'}	$\frac{l'}{i'}$	l _{w''}	i _{w''}	$\frac{l''}{i''}$
10	0,77	12,9	12	2,3	5,2
36	2,7	13,2	24	4,5	5,32
52	3,9	13,2	47	8,6	5,51
81	6,0	13,4	62	11,0	5,61
—	—	—	78	15,1	5,3
Mittel $\frac{l'}{i'} = 13,2.$			Mittel $\frac{l''}{i''} = 0,54.$		
Mittel $\frac{i'}{l'} = 0,076.$			Mittel $\frac{i''}{l''} = 0,185.$		
D = 0,0120.			D = 0,0116.		

III. Abhängigkeit der von Glimmlicht bedeckten Fläche bei constanter Stromstärke vom Druck.

Zu diesen Messungen wurde nur eine Flasche aufgestellt. Als Electrode diente ein 2 mm dicker Aluminiumdraht. Die Vorversuche ergaben, daß nur bei ganz reinen hochpolirten Elec-

troden einigermaßen übereinstimmende Resultate erzielt werden konnten. Daher wurden die Electroden vorher mittels Alkohol von jeder Fettspur gereinigt und sorgfältig getrocknet; alsdann wurden sie mittels feiner Lederlappen hochglanz polirt, dann wieder in Alkohol gereinigt und über einem Bunsenbrenner erwärmt. Die so behandelten Electroden ergaben verhältnissmäßig gut übereinstimmende Resultate. Nach jeder Beobachtungsreihe wurde eine frisch gereinigte Electrode eingesetzt, um stets sicher zu sein, daß keine Zerstäubungstheilchen oder Fettniederschläge die Beobachtung fehlerhaft machen würden. Um so viel wie möglich unabhängig von der allmählichen Ausdehnung des Glimmlichtes an der Electrode zu sein, wurde zuerst bei äußerst kurzem Stromschluss das Torsionsgalvanometer auf eine bestimmte Stromstärke einregulirt. Mehrmals hinter einander wurde ein- und ausgeschaltet und geprüft, ob eine Veränderung des Stromes eingetreten war. Alsdann wurde längere Zeit gewartet, und erst, nachdem man sicher sein konnte, daß keine Erwärmung der Electrode mehr vorhanden war, die Länge bestimmt, und zwar die Anfangslänge. Bei hohem Drucke musste ganz besondere Sorgfalt angewandt werden, um keine fehlerhaften Resultate zu erhalten. In den Längen des Glimmlichtes zeigten sich manchmal recht auffallend abweichende Resultate¹⁾, die meist darauf zurückzuführen waren, daß von dem vorhergehenden Stromschluss die Electroden resp. die Gase noch etwas erwärmt waren. Stets war das Glimmlicht beim zweiten Stromschluss etwas größer, und konnten die Werthe bei hohem Drucke bis 20 mm voneinander abweichen.

Die nachfolgenden Tabellen (S. 190) geben die Werthe l , i , $\frac{l}{i}$ und $\frac{i}{l}$ bei verschiedenem Druck an, desgleichen das Product $\frac{l}{i} \cdot p$ und $\frac{i}{l \cdot p}$.

Sämmtliche Beobachtungen in Stickstoff ergaben zunächst: $\frac{l}{i} \cdot p = K_1$, d. h. bei constanter Stromstärke ist die Länge der bedeckten Fläche umgekehrt pro-

1) Siehe Seite 177.

portional dem Drucke. Umgekehrt ist aber auch $\frac{i}{l \cdot p} = K_2$, d. h. die Stromdichte ist direkt proportional dem Druck. Da der zu den Messungen benutzte Draht die Dicke von 2 mm hatte, so ist die auf die Flächeneinheit bezogene Constante $\frac{i}{2 \pi r \cdot l \cdot p} = K = 0,00731$.

p	l _w	i _w	$\frac{l}{i}$	$\frac{i}{l}$	$\frac{l}{i} p$	$\frac{i}{l \cdot p}$
5,74	15	4,0	3,75	0,265	21,6	0,0456
3,72	24	4,15	5,80	0,172	21,5	0,0456
2,86	31	4,3	7,20	0,139	26,5	0,0485
2,86	45,5	6,2	7,34	0,136	21,6	0,0475
1,76	42,9	3,5	12,2	0,082	21,6	0,0462
1,76	43,5	3,4	12,7	0,079	22,4	0,0445
1,76	32,5	2,6	12,4	0,082	21,9	0,0462
1,14	22	1,15	19,1	0,0524	21,7	0,0455
1,14	63	3,3	19,0	0,0526	21,6	0,0455
1,14	88	4,5	19,5	0,0514	22,2	0,0450
1,14	58	3,0	19,3	0,0520	22,0	0,0450
7,3	11,8	3,9	3,02	0,331	22,0	0,0454
2,86	22	3,0	7,3	0,137	21,0	0,0477
0,76	23	0,8	28,7	0,035	21,8	0,0460
7,5	14	5,1	2,75	0,364	20,6	0,0486
4,1	21	4,0	5,25	0,190	21,6	0,0464
2,4	15,5	1,72	9,00	0,111	21,6	0,0462
1,1	30	1,6	1,87	0,0533	20,6	0,0482
5,74	15	4,0	3,75	0,267	21,6	0,0464
3,70	24	4,15	5,8	0,172	21,4	0,0462
2,86	31	4,3	7,22	0,138	20,6	0,0480

Wir können daher den Ausdruck und die ihm entsprechende Constante als diejenige auffassen, welche die Beziehungen zwischen Stromstärke, Druck und bedeckter Fläche allgemein bei Aluminiumelectroden in Stickstoff bestimmt. Diese Abhängigkeit zwischen Druck und Stromdichte ist aber nicht für alle Gase allgemein gültig, wir werden vielmehr beim Wasserstoff¹⁾ sehen, daß bei diesem $\frac{1}{i} \cdot p^2 = K_1$ ist, oder allgemein, daß bei verschiedenen Gasen $\frac{1}{i} \cdot p^n = K_n$ ist, worin n und K Constanten sind, die von der Art des Gases abhängen.

1) Siehe Seite 200 u. ff.

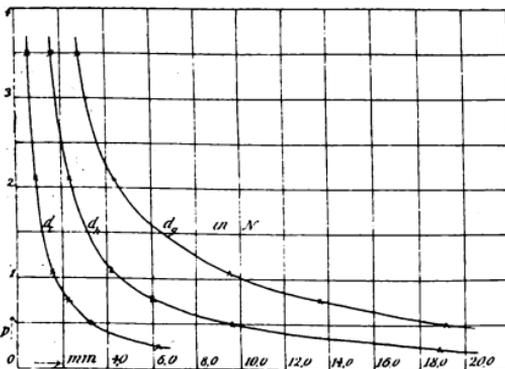
IV. Dicke der Kanalstrahlenschicht des dunklen Raumes und der negativen Glimmlichtschicht, bei verschiedenem Druck, solange die Kathode nicht ganz bedeckt ist.

Verdünnt man das Gas in einem Entladungsraum, so dehnt sich das Glimmlicht immer mehr aus, gleichzeitig wächst seine Dicke und der dunkle Raum. Um zu untersuchen, in welchem Zusammenhange die Dicken d_c , d_h , d_g und der Druck stehen, wurde eine Reihe von Messungen angestellt. Dazu wurden zwei Flaschen aufgestellt; in die eine war ein 2 mm dicker Aluminiumdraht, in die andere ein $2 \times 20 \times 100$ mm breites Blech als Electrode eingesetzt.

Während es bei den früheren Beobachtungen von großem Werthe war, möglichst rasch den Strom wieder zu öffnen, brauchte bei diesen Versuchen darauf keine Rücksicht genommen zu werden, da sich die Dicken der Glimmlichtgebilde durch Ausdehnung des Glimmlichtes auf der Kathode nicht ändern, solange die Kathode noch nicht ganz bedeckt ist. Bei tiefen Drucken zeigt sich, daß die Gebilde, durch das Fernrohr betrachtet, sehr verwaschen waren. Störend wirkte auch auf die Beobachtung, ohne daß die Resultate falsch wurden, die Dicke des Glases der Entladungsflaschen, sie hinderten ganz bedeutend eine bequeme Ablesung bei tiefen Drucken. Um nun doch bei tiefen Drucken noch sichere Werthe zu erhalten, war die zweite Flasche mit einem Blech als Electrode aufgestellt. Da das Blech, welches in einer Ebene mit dem Fernrohr sich befand und demselben seine hohe Kante zukehrte, eine ziemliche Tiefe hatte, so konnten dadurch auch bei tiefen Drucken noch gute Ablesungen gemacht werden, die bei dem Draht nicht mehr möglich waren. Während man auch bei höheren Drucken, wo die Helligkeitscontraste zwischen dem Glimmlicht und dem Hittorf'schen dunklen Raume groß sind, beim Draht die Grenzen genau festlegen konnte, war dies bei tieferen Drucken, wo die Gebilde verwaschen wurden, nicht mehr möglich. Da bei höheren Drucken die Dimensionen der Glimmlichtgebilde bei Draht und Blech genau übereinstimmen, so kann man annehmen, daß dieselben Verhältnisse bei tieferen Drucken, bei welchen am Draht nicht mehr abgelesen werden konnte, bei Draht und Blech herrschen.

Die Resultate der Beobachtung sind in den folgenden Tabellen

links			rechts				
d_g	d_h	d_c	d_c	d_h	d_g	p	v
1,5	0,8	0,35	0,3	0,9	—	3,5	400
1,4	0,75	0,3	0,35	0,8	—		
1,6	0,85	0,4	0,3	0,75	1,4		
2,2	1,1	0,4	0,5	1,3	2,3	2,19	410
2,2	1,3	0,45	0,4	1,1	2,2		
2,2	1,2	0,5	0,5	1,2	2,3		
5	2,2	0,8	0,75	2,1	4,7	1,14	380
4,8	2,1	0,82	0,8	2,1	4,7		
4,9	2,1	0,79	0,77	2,2	4,9		
7,0	2,9	1,1	1,0	3,3	6,8	0,75	380
6,8	3,1	1,2	1,1	3,1	6,7		
6,9	3,3	1,1	1,2	3,3	6,7		
9,8	5	1,5	1,6	4,5	9,5	0,51	400
9,6	4,5	1,6	1,6	4,9	9,6		
9,6	4,8	1,5	1,7	4,7	9,5		
13,2	6,2	2,2	2,0	6,0	13,0	0,37	400
12	6,8	2,2	2,4	6,8	13,5		
13,6	6,8	2,4	2,3	6,5	13,4		
18,2	8	3	3,2	9,1	20	0,25	410
19	8,5	3	3	10	20		
17	8,3	3,4	3,5	9,3	18		



und Curven niedergelegt. Da vorläufige Rechnungen ergeben haben, daß das Product $p \cdot d = K$ für Stickstoff in allen Fällen gleich einer Constanten ist, so sind in den Tabellen stets diese Producte beigefügt.

Bei höheren Drucken, wo überhaupt eine Messung nur

an den Drähten möglich ist, wurde gefunden, daß die Dimensionen aller Kathodengebilde von der Form der Kathode unabhängig sind. Dasselbe wird wahrscheinlich auch bei tiefem Druck gelten. Da,

p	$d_c \cdot p = \mathfrak{K}_c$	$d_h \cdot p = \mathfrak{K}_h$	$d_g \cdot p = \mathfrak{K}_g$
3,5	1,05	3,15	4,9
	1,02	2,80	
	1,05	2,45	
2,19	1,1	2,95	5,05
	0,87	2,4	4,8
	1,1	2,6	5,05
2,14	0,86	2,4	5,35
	0,91	2,4	5,85
	0,88	2,5	5,60
0,75	0,75	2,48	5,11
	0,82	2,32	4,95
	0,9	2,48	4,95
0,51	0,82	2,3	4,85
	0,82	2,5	4,9
	0,87	2,4	4,85
0,37	0,74	2,22	4,8
	0,925	2,52	5,05
	0,89	2,4	4,95
0,25	0,82	2,27	5,00
	0,75	2,50	5,00
	0,88	2,33	4,50
Mittel			
	0,90	2,45	5,00

wie aus der Tabelle hervorgeht, d. p gleich einer Constanten ist, so ergibt sich der Satz: Die Dicken d_c , d_h , d_g sind bei Drähten und Blechen gleich groß, sie sind umgekehrt proportional dem Druck. Aus der relativen Größe, der Constanten \mathfrak{K} , ersieht man, daß \mathfrak{K}_g am größten ist, d. h. bei abnehmendem Druck dehnt sich das Glimmlicht am

schnellsten aus. Aus den Beobachtungsreihen geht hervor, daß bei Stickstoff sowohl die Dimensionen der Kanalstrahlen wie des dunklen Raumes und der negativen Glimmlightschicht denselben Gesetzen gehorchen und umgekehrt proportional dem Drucke sind.

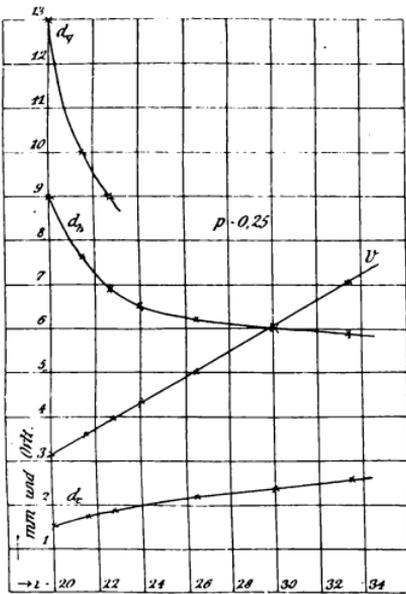
$$d \cdot p = \text{const.}$$

Wir werden weiter unten sehen, daß diese Verhältnisse sich bei Wasserstoff anders verhalten¹⁾.

V. Abhängigkeit derselben Größen vom Druck, wenn die Kathode ganz bedeckt ist.

Steigert man durch Verminderung des Widerstandes die Stromstärke, so bleibt, wie erwähnt, die Dicke des Glimmlichtgebildes zunächst constant. Von dem Augenblicke an, wo die Electrode ganz bedeckt ist, wächst sowohl die Dicke der negativen Glimmlightschicht als auch das Potential. Gleichzeitig wird der dunkle Raum kleiner.

Um ohne Gefahr des Schmelzens der Electrode die Stromstärke genügend vergrößern zu können, diente eine möglichst dicke Electrode aus 4 mm dickem Aluminiumblech, die Breite betrug 20 mm, die Länge 30 mm, während als Anode ein kurzer 1 mm starker Aluminiumdraht genügte. Als Gas war Stickstoff verwendet, der jedoch bei den bedeutenden Stromstärken sehr bald durch Fett und Quecksilberdämpfe verunreinigt war.



Die folgende Tabelle enthält die verschiedenen Dicken d_e , d_h , d_g der einzelnen Glimmlichtgebilde bei constantem Druck, die Stromstärke i und Spannung v .

Hierbei zeigt sich eine Zusammenpressung des dunklen Hitortof'schen Raumes mit wachsender Stromstärke sehr deutlich. Dieselbe mag ihre Ursache in der Rückwirkung der starken

1) Siehe Seite 200 u. ff.

Ausdehnung des Glimmlichtes auf den dunklen Raum haben. Die Spannung wächst nahezu proportional mit der Stromstärke, wie dies auch schon von G. Schmidt gefunden worden ist. Die Länge der Kanalstrahlen scheint erst etwas schneller, dann etwas langsamer zu wachsen.

$p = 0,25 \text{ mm Hg.}$

d_c	d_h	d_g	v	i
1,2	9	13,5	320	20
2	9	13,5		
1,5	8,8	13,2		
1,9	7,3	10,1	360	21,5
1,5	7,5	10		
1,6	7,8	10		
1,8	6,9	10	400	22,7
1,7	6,9	9,5		
1,5	7	9		
2	6,5	∞	440	24
2	6,2			
2	7			
2	7			
2	6,2	∞	500	26,5
2,2	6,5			
2	6,3			
	6,2			
2,2	6	∞	600	30
2,3	6			
2,3	6			
2,5	6	∞	700	33,5
2,5	5,5			
3,5	6			
3	5,6			

Die Dicke des dunklen Raumes sinkt erst schnell, um sich dann asymptotisch einem Minimum zu nähern.

Bei Wechselstrom muss nach diesen Beobachtungen der dunkle Raum von einer maximalen Ausdehnung allmählich zur minimalen erst abnehmen und dann steigen.

VI. Abhängigkeit der optischen Intensität des Glimmlichtes von Stromstärke und Druck bei nicht ganz bedeckter Kathode.

Das Resultat, daß bei Stickstoff und Aluminiumelectrode die Stromdichte bei nicht ganz bedeckten Electroden constant und umgekehrt proportional dem Druck ist, und daß ferner das Kathodenpotential proportional der Stromstärke bei ganz bedeckter Electrode wächst, ließen vermuthen, daß zwischen denselben Größen und der optischen Intensität des von dem Glimmlicht ausgehenden Lichtes ein Zusammenhang bestehe. Es wurden daher die Intensitäten des Glimmlichtes durch ihre photochemischen Wirkungen bestimmt. In eine Flasche war ein 2 mm dicker Aluminiumdraht als Kathode eingesetzt. In einer Entfernung von 2 m war eine Schiebekassette mit Momentverschluss angebracht. Die Stromstärke wurde constant erhalten, während der Druck variiert wurde. Es zeigte sich, daß bei verschiedenen Drucken, aber gleicher Stromstärke die Intensität des ganzen Glimmlichtes constant war, solange das Glimmlicht die Kathode nicht ganz bedeckte. Hierbei war es gleichgültig, ob sich das Glimmlicht durch Erwärmung ausdehnte, denn dadurch verringerte sich auch gleichzeitig in demselben Verhältniss die Stromintensität pro Flächeneinheit.

Die Versuche wurden angestellt bei dem Drucke

$$p = 1,95; 1,73; 1,71; 1,52; 1,48; 0,75;$$

bei einer zweiten Reihe war der Druck p

$$p = 5,5; 3,3; 2,1; 1,28; 0,8; 0,54; 0,4.$$

Die Schwärzungen aller Streifen waren gleich. Daraus folgt:

Die Intensität des Glimmlichtes pro Stromeinheit bleibt bei allen Drucken constant, solange die Kathode nicht ganz bedeckt ist.

Um die Abhängigkeit von Stromstärke und Intensität bei constantem Druck zu bestimmen, wurden die Aufnahmen bei variabler Stromstärke gemacht. Die Electrode war in allen Fällen nicht ganz bedeckt. Photographirt wurde bei verschiedener Belichtungsdauer, und zwar so, daß bei doppelter Stromstärke die halbe Belichtungsdauer angewandt wurde.

$$p = 2,4 \text{ mm.}$$

$$i = 51, 52, 54, 58, 66, 82.$$

$$\text{sec} = 16 \quad 8 \quad 4 \quad 2 \quad 1 \quad \frac{1}{2}.$$

Die Untersuchungen der Schwärzungen ergaben gleiche Schwärzung bei allen Streifen.

Bei einem zweiten Versuche wurden zwei Flaschen mit verschieden dicken Electroden verwendet, und zwar mit einem 1 mm und einem 3 mm dicken Aluminiumdraht. Auch hierbei wurde auf constante Stromstärke einregulirt und abwechselnd das Glimmlicht der einen und der anderen nicht ganz bedeckten Electrode photographirt.

1) 3 mm	2) 1 mm	
p = 6 „	i = 40 „	sec 6
p = 3 „	i = 40 „	„ 6
p = 1,25 „	i = 40 „	„ 6

Die Untersuchung ergab gleiche Schwärzung.

Die Gesamttintensität des ausgesandten Lichtes ist also bei gleicher Stromstärke vom Drucke unabhängig; da aber die Stromdichte direct proportional dem Drucke ist, so folgt, daß die Intensitäten des Glimmlichtes pro Flächeneinheit proportional den Stromdichten sind.

Nach allen früheren Beobachtungen ist der Potentialsprung an der Kathode unabhängig vom Druck. Bleibt bei verschiedenem Drucke die Stromintensität die gleiche, so ist auch die an der Kathode geleistete Arbeit dieselbe. Aus den Versuchen folgt, daß die Intensität des Glimmlichtes die gleiche ist. Demnach würde stets ein gleicher Bruchtheil von Arbeit in sichtbare Glimmlichtstrahlung umgewandelt werden. Nach E. Goldstein soll das Glimmlicht von diffus zerstreuten Kathodenstrahlen herühren. Ist das richtig, so würde aus obigen Versuchen folgen, daß unabhängig vom Druck pro Stromeinheit ein gleicher Bruchtheil von Arbeit in Kathodenstrahlenenergie umgesetzt wird. Bei höherem Druck wird derselbe in nächster Nähe der Kathode, bei tiefem Druck in einem größeren Volumen des Gases in Energie der Glimmlichtstrahlen umgesetzt.

VII. Untersuchung der Beziehungen zwischen l , i , p und d bei verschiedenem Electrodenmaterial.

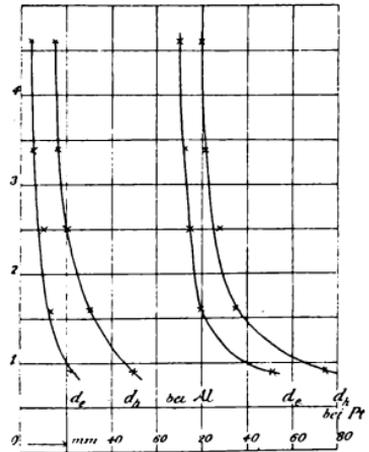
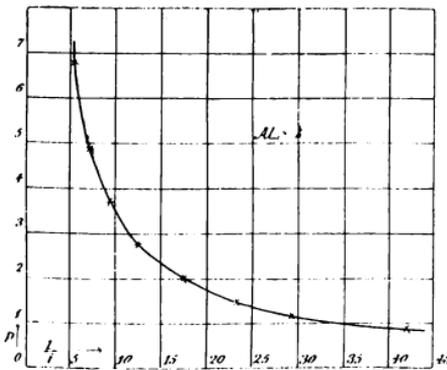
Bei sämtlichen vorhergehenden Versuchen wurden stets Aluminiumelectroden verwendet, da sich dies Metall zu Ent-

ladungsversuchen besonders gut eignet, weil es am wenigsten von allen Metallen zerstäubt. Um aber ein Urtheil darüber zu erhalten, welchen quantitativen Einfluss die Natur der Electroden auf die Glimmlichtgebilde hat, wurden einige Versuche mit Platin- und Graphitelectroden angestellt. Als Gas diente Luft. Aufgestellt waren zwei Flaschen; in der einen befand sich eine 2 mm dicke Aluminiumelectrode, in der anderen eine 2 mm dicke Platinelectrode. Während bei Aluminium durchweg ein ruhiges Glimmlicht sich entwickelte, schwankte es bei Platin ständig hin und her. Es bildete sich an der Spitze und wanderte meistens bald langsam, bald schnell über die ganze Electrode auf und ab. Wurde die Stromstärke vergrößert, so wurde es zuerst, ohne sich auszudehnen, kräftiger; erst dann dehnte es sich langsam über eine größere Fläche aus. Auch kam es oft vor, daß sich das Glimmlicht über den ganzen Draht ausdehnte, ohne daß sich die Stromstärke vergrößerte, die Helligkeit der Gebilde pro Flächeneinheit aber wurde geringer. Alsdann zog es sich wieder zusammen. Befand es sich zuerst an der Spitze, so saß es nachher am Ende der Electrode. Infolge dieses ständigen Wanderns musste daher so oft ein- und ausgeschaltet werden, bis das Glimmlicht einigermaßen stetig war. Nur dann war eine Ablesung möglich.

In der 1. und 2. Tabelle sind die Längen des Glimmlichtes von Aluminium und Platin und die Abhängigkeit von Stromstärke und Druck enthalten. Gleichzeitig ist das Product aus $\frac{l}{i} \cdot p$ angegeben, in der 3. und 4. die Dicken d_e und d_h abhängig vom Druck.

Aluminium					Platin				
p	l_w	i_w	$\frac{l}{i}$	$\frac{l}{i} \cdot p$	p	l_w	l_w	$\frac{l}{i}$	$\frac{l}{i} \cdot p$
6,84	38	6,9	5,5	37,7	6,84	58	7,1	8,1	56,0
4,9	66	9,3	7,1	34,7	4,9	24	3,2	7,5	36,8
3,7	66	6,9	9,6	36,4	3,7	74	6,0	12,3	47,0
2,8	67	5,2	12,8	36,2	2,8	70	5,2	13,4	37,6
2,05	66	3,7	17,8	36,5	2,05	73	3,7	19,7	40,4
1,56	54	2,3	23,5	36,5	1,56	68	2,4	28,3	44,2
1,2	44	1,5	29,4	35,2	1,2	71	1,6	44,4	53,2
0,9	67	1,6	41,9	37,7	0,9	35	0,7	50,0	45,0

p	Aluminium				v	Platin				v'
	links		rechts			links		rechts		
	d _h ''	d _e ''	d _e ''	d _h ''		d _h ''	d _e ''	d _e ''	d _h ''	
4,6	1,6	0,6	0,4	1,4	400	2	1	0,9	1,9	430
3,4	1,6	0,5	0,6	1,7	405	2,4	1,5	1,2	2,1	430
2,5	2	0,9	1,1	2,2	410	2,9	1,6	1,3	2,7	425
1,6	3	1,4	1,2	3,2	400	3,6	1,9	2,0	3,4	440
0,8	4,9	2,2	2,05	5	400	5,4	3,0	3,5	6	435



Aus den Tabellen ergibt sich, daß dieselben Beziehungen zwischen d und p bei Aluminium- und Platinelectroden herrschen.

Indes ist das Product $\frac{1}{i} \cdot p$ auch bei Platin trotz der Unregelmäßigkeit der Erscheinungen eine Constante. Doch ist $\frac{1}{i}$ bei Platin größer als bei Aluminium oder $\frac{i}{1}$ bei Platin kleiner als bei Aluminium. Bildet man $\frac{i}{2\pi r \cdot l \cdot p}$ für die beiden Metalle, so ist für Platin

$$C_{Pt} = 0,0033,$$

für Aluminium

$$C_{Al} = 0,00467.$$

War es schon bei Platin äußerst schwierig, Beobachtungen anzustellen, so war es bei Graphit unmöglich. Hierbei waren gar keine Begrenzungen zu erzielen. Die Zerstäubung war so stark, daß kleine hellglühende Graphitpartikelchen von der Electrode

zur Glaswand hingeschleudert wurden. Das Glimmlicht selbst vertheilte sich auf der ganzen Electrode. Einigermaßen ruhig wurde es, wenn vorher die Stromstärke bedeutend gesteigert wurde. Verringert man alsdann die Stromstärke, so konnte man auf kurze Zeit ein ruhiges Glimmlicht erhalten. Da aber durch die großen Stromstärken die Electrode sehr stark erhitzt wurde und die Erwärmung einen bedeutenden Einfluss auf die Ausdehnung des Glimmlichtes ausübte, so wurden keine Ablesungen gemacht.

VIII. Orientirende Beobachtungen über die Beziehungen zwischen den Gröſsen l , i , p und d bei verschiedenen Gasen.

Folgende Beobachtungen wurden angestellt, um zu sehen, in wie weit die Natur des Gases von Einfluss auf die Gebilde an der Kathode ist. Als Gas wurde neben Stickstoff Wasserstoff, der durch Electrolyse hergestellt war, verwendet.

Die Versuchsanordnung war dieselbe wie im Vorhergehenden. Als Electroden dienten Platin und Aluminium in je einer Flasche. Die Messungen bei Wasserstoff waren sehr viel schwieriger als bei N, wenn es sich darum handelte, die Querdimensionen der Glimmlichtgebilde zu ermitteln, zumal alles sehr verwaschen war. Die Beobachtungen konnten sich daher nur über einen kleinen Bereich des Druckes erstrecken. Es konnten für Aluminium nur gute Resultate erzielt werden, und sind deshalb nur diese Werthe in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Aus dieser Tabelle sowie aus den folgenden ergibt sich,

Aluminium in Wasserstoff.

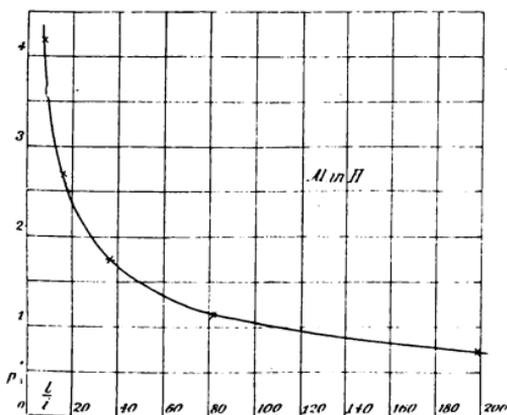
Druck $p = 4,2$		
i_w	l_w	$\frac{l}{i}$
3,35	22,8	6,83
4,25	28,0	6,6
5,15	35,0	6,8
6,4	45,0	7,2
8,3	61,8	7,4
4,92	35,0	7,1
8,98	67,0	7,4
9,10	67,0	7,3

Mittel l von $\frac{l}{i} = 6,96$.

daß auch bei Wasserstoff bei constantem Druck, unabhängig von der Stromstärke, die Stromdichte die gleiche ist.

Druck p = 2,7			Druck p = 1,76		
i _w	l _w	$\frac{1}{i}$	i _w	l _w	$\frac{1}{i}$
1,4	23	16,4	0,4	18	45,0
1,8	28,8	16,0	0,94	35	37,2
2,42	39,2	16,2	0,96	35	36,5
3,3	56,6	17,1	1,2	37	30,8
			2,4	72	30,0
Mittel $\frac{1}{i} = 16,2.$			Mittel $\frac{1}{i} = 37,6.$		

Druck p = 1,14			Druck p = 0,76.		
i _w	l _w	$\frac{1}{i}$	i _w	l _w	$\frac{1}{i}$
0,6	50	83,0	0,22	46	208,0
0,98	78	79,5	0,3	57	190,0
0,795	67	84,2			
Mittel $\frac{1}{i} = 82,2.$			Mittel $\frac{1}{i} = 199.$		



Stellen wir die für verschiedene Drucke gefundenen Stromdichten $\frac{i}{1 \cdot 2 \pi r}$ und die aus ihnen berechneten Werthe $\frac{i}{1 \cdot 2 \pi r \cdot p}$ und $\frac{i}{1 \cdot 2 \pi r \cdot p^2}$ zusammen, so ergibt sich:

$$\frac{i}{1 \cdot 2 \pi r \cdot p^2} = C; \text{ also } \frac{i}{1 \cdot 2 \pi r} = C \cdot p^2.$$

p	$\frac{l}{i}$	$\frac{i}{l}$	$\frac{i}{2\pi r.l.p}$	$\frac{i}{2\pi r.l.p^2}$
2,7	16,2	0,0617	0,00362	0,00134
1,76	37,6	0,0265	0,00240	0,00135
1,14	82,2	0,0122	0,00170	0,00148
0,76	199,0	0,00501	0,00103	0,00136

Hieraus folgt, daß die Stromdichte nicht direct proportional dem Drucke, sondern direct proportional dem Quadrate des Druckes ist.

Die nächste Tabelle giebt die Dicken der Kanalstrahlen des Hittorf'schen dunklen Raumes und der negativen Glimmlichtschicht der Metalle Aluminium und Platin an.

Aluminium

links von der Electrode				rechts v. d. Electrode		
p	d _g	d _h	d _c	d _c	d _h	d _g
5,6	50	51,5	52	54,1	55,1	56,5
4,0	49,3	51	52	54,1	55,5	57
2,3	47,5					59
1,36	46					62

Platin.

links von der Electrode				rechts v. d. Electrode		
p	d _g	d _h	d _c	d _c	d _h	d _g
5,6	73	74,3	75,5	77,5	79,1	80,9
4,0	72	74	75	77,5	80	81,5
2,3	69					84
1,36	65,3					88,2

Es beständen daher keine für alle Gase gleiche Beziehungen zwischen den verschiedenen Größen l , i , p und d , sondern es würden sich dieselben nach der Formel $\frac{l}{i} \cdot p^n = C$ entwickeln. Der Exponent n von p ist abhängig von der Art des Gases. Ein ähnliches Gesetz hat H. Ebert für die Dicken des dunklen Raumes bei ganz bedeckter Electrode gefunden.

Die Dimensionen der Kathodengebilde sind, wie auch bereits oben hervorgehoben ist, bei Wasserstoff wesentlich größer als bei Stickstoff. Das Gesetz, nach dem der dunkle Raum bei nicht vollständig bedeckter Electrode sich ausdehnt, ist

$$d \cdot p^n = C.$$

Resultate.

Im Folgenden sollen noch einmal kurz die für die Dimensionen der Kathodengebilde gefundenen Resultate zusammengefasst werden.

Das Kathodengefälle bleibt, solange die Electrode nur auf einem kleinen Theil bedeckt ist, constant.

Die Länge des Glimmlichtes ist direct proportional der Stromstärke.

Bei nicht ganz bedeckter Electrode ist die Stromdichte unabhängig von der Größe der Bedeckung.

Bei nicht ganz bedeckter Electrode ist die Stromdichte bei Drähten wie bei Platten bei constantem Druck die gleiche.

Der Quotient aus Stromdichte und Druck ist bei Stickstoff eine Constante, während bei Wasserstoff der Quotient aus Stromdichte und dem Quadrate des Druckes eine Constante ist.

Bei ganz bedeckter Electrode wächst die Spannung proportional der Stromstärke. Die Länge der Kanalstrahlen wächst erst schnell, dann langsam, während die Dicke des Hittorf'schen dunklen Raumes sehr schnell sinkt, um sich asymptotisch einem Minimum zu nähern.

Die Intensität des Glimmlichtes pro Stromeinheit bleibt bei allen Drucken constant, solange die Kathode nicht ganz bedeckt ist.

An der Kathode wird, unabhängig vom Druck, pro Stromeinheit ein gleicher Bruchtheil von Arbeit in Kathodenstrahlenenergie umgewandelt.

Die charakteristischen Größen für den Stromübergang an der Kathode dürften sein: einmal das Kathodengefälle und zweitens die bei nicht vollständig bedeckter Electrode vorhandene Stromdichte. Ersteres, der Kathodenfall, ist nach allen bisherigen Versuchen unter normalen Verhältnissen eine nur von der Natur des Gases und der Electrode abhängige Größe, die aber unabhängig vom Drucke ist. Die zweite Größe, die normale Stromdichte an der Kathode, ist im Allgemeinen abhängig

vom Druck, der Natur des Gases und der Electrode. Sie ist bei Wasserstoff größer als bei Stickstoff, bei Platin und Graphit größer als bei Aluminium. Bei Stickstoff ist sie nahezu unabhängig vom Druck, während sie bei Wasserstoff mit dem Drucke steigt.

In der folgenden Tabelle sind die Werthe für $\frac{i}{2 \pi r \cdot l}$ zusammengestellt, wenn die Stromdichte in Milliampère und die Längen in Millimeter, sowie wenn sie in Ampère und in Centimeter gemessen sind.

Aluminium in Stickstoff.			Aluminium in Wasserstoff.		
p	$\frac{i \text{ MA.}}{2 \pi r \cdot l \text{ mm}}$	$\frac{i \text{ Amp.}}{2 \pi r \cdot l \text{ cm}}$	p	$\frac{i \text{ MA.}}{2 \pi r \cdot l \text{ mm}}$	$\frac{i \text{ Amp.}}{2 \pi r \cdot l \text{ mm}}$
7,5	0,0580	$5,80^{-3}$	4,2	0,0228	$2,28^{-3}$
4,1	0,0302	$3,02^{-3}$	2,7	0,0098	$0,98^{-3}$
2,4	0,0176	$1,76^{-3}$	1,76	0,0042	$0,42^{-3}$
1,1	0,0085	$0,85^{-3}$	0,76	0,0008	$0,08^{-3}$

Zum Schlusse erfülle ich noch die angenehme Pfficht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Wiedemann für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für die werthvollen Rathschläge, die er mir in gütigster Weise zu Theil werden ließ, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Auch Herrn Prof. Dr. Schmidt sowie den Privatdocenten Herren Dr. Eg. Müller und Dr. Wehnelt erlaube ich mir an dieser Stelle für die schätzenswerthen Winke bestens zu danken.

Erlangen, April 1901.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1901-1903

Band/Volume: [33](#)

Autor(en)/Author(s): Hehl Nicolaus

Artikel/Article: [Ueber die Gebilde an der Kathode. 170-204](#)