

der ganzen Dauer der electricischen Einwirkung in kurzen Perioden mit einer Abnahme des Brechungsexponenten abwechselte, ist viel grösser als der nach Gl. (1) berechnete electricische Druck erwarten lässt, wenn er ähnlich wie ein hydrostatischer Druck von gleicher Grösse wirkte.

4. Die eben erwähnte abwechselnd auftretende Abnahme und Zunahme des Brechungsexponenten scheint hervorgehoben durch den Wechsel des hydrostatischen Druckes im Inneren der Flüssigkeit, welche von den electricischen Kräften in wirbelnde Bewegung versetzt wird.

5. Die Electricität scheint nicht continuirlich, sondern stössweise durch die Flüssigkeit zwischen den Electroden überzugehen.

Heidelberg, März 1883.

II. *Versuche über die Glimmentladung; von Heinrich Hertz.*

(Hierzu Taf. IX Fig. 1–6.)

Zu Versuchen über die Glimmentladung in verdünnten Gasen haben bisher als Electricitätsquellen gedient die Influenzmaschine, das Inductorium und Batterien von grosser Elementenzahl. Der Influenzmaschine gaben den Vorzug die Hrn. G. Wiedemann und Rühlmann, E. Wiedemann und Spottiswoode bei vielen Untersuchungen, des Inductoriums bedienten sich hauptsächlich die Hrn. Plücker, Hittorf bei seinen früheren Versuchen, Goldstein und Crookes. Mit grossen Batterien wurden ausgeführt neben älteren Versuchen von Gassiot die neueren von Hittorf mit seiner Chromsäurekette, vor allem berühmt sind die Chlorsilberbatterie der Hrn. Warren de la Rue und Müller und die mit dieser ausgeführten Arbeiten. Es schien mir, als ob gewisse Versuche, welche für die Erkenntniss des Wesens der Glimmentladung von Wichtigkeit sind¹⁾, sich

1) Zu diesen Versuchen wurde ich ursprünglich angeregt durch Unterredungen, welche ich mit Hrn. E. Goldstein über die Natur der von

nicht anders als unter Benutzung einer Batterie würden entscheiden lassen; so wurde ich veranlasst, mir für diese Versuche eine Batterie von 1000 secundären Planté'schen Elementen zusammenzustellen. Es zeigte sich, dass die Batterie in der gewählten Anordnung nicht von Dauer war, indessen reichte sie aus, einen Theil der Versuche, welche ich im Auge hatte, auszuführen. Diese Versuche sollen in Folgendem beschrieben werden.

Beschreibung der Batterie.

Das Princip einer vielpaarigen secundären Kette, welches von Poggendorff in seiner Polarisationsbatterie benutzt worden war, und welches auf Planté'sche Elemente schon Planté selber angewandt hat, besteht darin, dass diese Elemente neben einander (auf Quantität) geschaltet, durch eine primäre Kette von verhältnissmässig kleiner electromotorischer Kraft geladen werden; dann aber, hintereinander (auf Spannung) geschaltet, fähig sind, sehr grosse electromotorische Kräfte hervorzubringen. Dabei ist es nicht nöthig, alle Elemente einzeln nebeneinander zu schalten, man kann auch Systeme von fünf oder zehn oder mehr Elementen dauernd hintereinander verbunden lassen und nur diese Systeme bei der Ladung nebeneinander stellen. Je grösser man die Zahl der dauernd hintereinander verbundenen Elemente wählt, um so einfacher ist der Mechanismus der Umschaltung; eine um so grössere electromotorische Kraft ist freilich auch zur Ladung erforderlich. Ich richtete es so ein, dass ich je fünf Elemente dauernd in Verbindung liess. Die benutzten Batteriegläschen hatten die Gestalt von Reagenzgläsern, sie hatten 125 mm Höhe, 14—15 mm Durchmesser und waren bis zu $\frac{2}{3}$ ihrer Höhe mit einer Mischung aus einem Volumen Schwefelsäure und neun Volumen Wasser gefüllt. Die als Electroden dienenden Bleistreifen sind von entsprechender Länge, von 10 mm Breite und 1 mm Dicke,

ihm so vielfach untersuchten Glimmentladung hatte. Während der Ausführung der Versuche liess Hr. Dr. Goldstein stets in bereitwilligster Weise seine Kenntniss der Litteratur und der Thatsachen mir zu gute kommen, sodass ich ihm vielfach zu Dank verpflichtet bin.

sie waren an ihren Köpfen mit Asphaltlack gefirnisst. Die benachbarten Electroden der inneren von den fünf Elementen waren ohne weiteres Zwischenglied aus demselben Bleistreifen gebogen, von den äusseren Electroden führten angelöthete Kupferdrähte zu zwei gläsernen Quecksilbernäpfen, welche die Pole des Systems bilden. Je 50 Elemente waren auf ein gemeinsames Brettchen aufgekittet, je 250 standen in einem Kasten von 840 mm Länge, 120 mm Breite und 170 mm Höhe. Die 100 Glasnäpfchen, welche die zugehörigen Pole bildeten, liefen in einer Reihe an der Vorderseite des Kastens hin. Die Commutation wurde bewirkt durch zwei Commutatoren, welche miteinander vertauscht werden konnten, und von denen der eine für die Ladung, der andere für die Entladung diente. Dieselben waren gebildet aus Drahthäkchen, welche an einer Holzleiste befestigt waren, ihre Construction ist sehr einfach und bedarf wohl keiner besonderen Auseinandersetzung.

Die Batterie leistete, solange sie in gutem Zustande war, das Folgende. Zu ihrer Ladung waren zehn Bunsen'sche oder Grove'sche Elemente erforderlich. Hatten diese während einer Stunde ihren Strom in die Batterie gesandt, so war die letztere für die Arbeit eines Tages hinreichend vorbereitet. Die Spannungsdifferenz ihrer Pole kam dann der von 1800 Daniell'schen Elementen nahezu gleich, ihr innerer Widerstand war etwa gleich 600 S.-E., wie theils aus dem Verhalten einzelner Elemente, theils auch aus Versuchen, die mit dem Strom der ganzen Batterie in sehr grossen Widerständen angestellt wurden, ermittelt werden konnte. Diese Spannung erhielt sich, wenn die Batterie nicht oder nur äusserst wenig benutzt wurde, etwa 12—14 Stunden, dann aber war theils und hauptsächlich durch chemische Wirkung, theils durch Nebenschliessung die Ladung zerstört, und die Spannung sank schnell auf kleinere Werthe. Wurde die Batterie nur von Zeit zu Zeit durch grössere Widerstände geschlossen, wie es die Versuche meist mit sich brachten, so war sie auf etwa sechs Stunden benutzbar, andauernd vermochte sie den zur Erleuchtung eines Geissler'schen Rohres erforderlichen Strom auf zwei bis drei

Stunden zu liefern, wurde sie jedoch mit einem kleinen Widerstande oder gar in sich selbst geschlossen, so war sie in wenig Minuten, ja selbst in Bruchtheilen einer Minute erschöpft. Sie zeigte dann die bekannte Rückstandsbildung. In freier Luft gab die Batterie einen Schliessungsfunken von nahe an $\frac{1}{2}$ mm Länge; Geissler'sche Rohre der gewöhnlichen Form ohne Capillare erleuchtete sie innerhalb eines Druckintervalles von etwa $1\frac{1}{2}$ mm, wo das blaue Glimmlicht die Kathode noch als dünne Haut bekleidet, bis hinunter zu Drucken von wenigen Hundersteln Millimetern, wo die Strahlen desselben eine Länge von 120—150 mm erreichen. Im allgemeinen durften die Poldrähte der Batterie nicht ohne Einschaltung eines Widerstandes von vielen Tausend S.-E. mit den Electroden eines Geissler'schen Rohres verbunden werden, sonst ging die Glimmentladung sofort in Bogenentladung über, wobei gemeiniglich das Rohr sprang und die Batterie sich in wenig Augenblicken erschöpfte.

Diese Batterie ging in folgender Weise zu Grunde. Die Schwefelsäure saugte sich in den capillaren Raum zwischen den Bleiplatten und der Lackschicht ein und pflanzte sich in diesem Raume immer weiter fort. Wurde die scheinbar unversehrte Lackschicht an irgend einer Stelle abgeblättert, so war unter derselben durch den Geschmack die Säure leicht nachzuweisen. Letztere erreichte so die Kupferdrähte der Endplatten und erzeugte an denselben Auswucherungen von Kupfervitriol, welche sich an den Drähten ausbreiteten. Nachdem die Batterie drei bis vier Wochen in Gebrauch war, erreichten diese Auswucherungen an den Drähten der vorderen Endplatten das Quecksilber der Commutatornäpfe, sogleich amalgamirte dann das Quecksilber den Draht seiner ganzen Länge nach, und da das innere Ende der Drähte tiefer lag als das Niveau des Quecksilbers in den Näpfen, so floss das Quecksilber an dem amalgamirten Draht wie durch ein Heberrohr ab, und der Napf entleerte sich nach jeder neuen Füllung wieder in wenigen Stunden. Diesem Ausfliessen konnte nun zwar vorgebeugt werden, indem die betroffenen Drähte wieder ausgeglüht und dann auf eine Strecke mit Siegellack umschmolzen wurden, aber die Zerstörung der

Kupferdrähte schritt fort, und nach vier bis fünf Monaten brach eine grosse Zahl derselben an der Löthstelle ab. Es ist zu bemerken, dass einzelne Drähte völlig unversehrt blieben, es schienen dies diejenigen zu sein, welche durch Zufall auf eine gewisse Strecke von der Löthstelle aus verzinkt worden waren.

Die allgemeine Erscheinung der Batterieentladung in verdünnten Gasen ist heutzutage bekannt genug, ich halte mich deshalb bei derselben nicht auf, sondern gehe zur Darstellung der besonderen Versuche über.

I. Ist die Batterieentladung in verdünnten Gasen
continuirlich oder discontinuirlich?

Als Gassiot zuerst mit Hülfe einer grossen Batterie die Glimmentladung herstellte und das scheinbar vollkommen continuirliche Bild derselben im rotirenden Spiegel betrachtete, fand er, dass sich dieselbe in eine Reihe sehr schnell aufeinander folgender Partialentladungen zerlegen liess. Auf dieser Erfahrung beruhte die Ansicht der Physiker, dass die Glimmentladung ihrer Natur nach disruptiv sei, also, dass jede scheinbar continuirliche Entladung nothwendiger Weise aus einer Folge einzelner disruptiver Partialentladungen bestehen müsse. Diese Ansicht hatte wohl die Zustimmung der meisten Physiker, bis im Jahre 1879 Hittorf zeigte, dass die Erfahrung Gassiot's zu allgemeinen Schlüssen nicht berechtige; dass sich mit einer Batterie von hinreichend kleinem Widerstand eine Glimmentladung herstellen lasse, welche wenigstens der Drehspiegel nicht in Partialentladungen zu zerlegen vermöge; und dass verschiedene Anzeichen dafür sprechen, dass auch ein beliebig schnell rotirender Spiegel eine solche Auflösung nicht zu Stande bringen würde. Indessen musste nach einer Rechnung, welche Hr. E. Wiedemann¹⁾ anstellte, der Drehspiegel seinen Dienst versagen, wenn auch nur hunderttausend Entladungen in der Secunde sich folgen; daher vermochte Hr. Hittorf diejenigen Physiker nicht zu überreden, welche aus anderen Gründen zur Annahme der Discontinuität sich gedrängt fühlten, jedoch zuzugeben bereit waren, dass viele Hunderttausende,

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. 10. p. 244. 1880.

ja Millionen von Einzelentladungen in der Secunde den Strom bilden könnten. Zu diesen gehören die Hrn. E. Wiedemann¹⁾, Goldstein²⁾, Warren de la Rue³⁾. Der letztere hat auch Versuche beschrieben, in welchen er die Discontinuität einer scheinbar continuirlichen Entladung durch andere Mittel als durch den Drehspiegel nachwies, aber dieser Nachweis liess sich nur führen unter besonderen Umständen, und diese Umstände scheinen solche zu sein, unter welchen auch der Drehspiegel die Discontinuität würde gezeigt haben.

Die in Rede stehende Frage kann hiernach noch als eine offene betrachtet werden; dieselbe darf allerdings nicht so formulirt werden: ob eine scheinbar continuirliche Entladung unter Umständen als eine discontinuirliche sich erweisen könne? — dass diese Frage zu bejahen sei, unterliegt keinem Zweifel — sondern sie ist so zu präcisiren: ob sich eine Entladung nachweisen lasse, welche unzweifelhaft als Glimmentladung sich darstelle, und welche dennoch bei Anwendung der feinsten auffindbaren Prüfungsmethoden keine Spuren von Discontinuität erkennen lasse.

Die Entladung, welche mit Hülfe der folgenden Methoden geprüft wurde, fand statt in einem Rohre von 340 mm Länge und 20 mm lichter Weite, zwischen einer als Kathode dienenden Stahlplatte von 18 mm Durchmesser und einem Stahldraht; sie fand statt in Luft bei solchem Drucke, dass das blaue Glimmlicht bis zu einer Entfernung von 50—60 mm von der Kathode reichte, und dass sich in dem Rohr noch sechs bis neun positive rothe Schichten bildeten. Die benutzte Stromstärke, welche durch einen eingeschalteten grossen Flüssigkeitswiderstand regulirt wurde, lag zwischen $\frac{1}{100}$ und $\frac{1}{400}$ Dan./S.-E. Nur bei der letzten anzuführenden Methode musste eine grössere Stromstärke benutzt werden, dieselbe betrug $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{30}$ Dan./S.-E.; es wurde deshalb ein etwas weiteres und kürzeres Rohr gewählt, sodass nur eine positive Schicht

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. 10. p. 245. 1880.

2) E. Goldstein, Wied. Ann. 12. p. 101. 1881.

3) Warren de la Rue u. H. Müller, Ann. de chim. et de phys. (5) 24. p. 461. 1881, und Phil. Trans. 169. p. 225. 1878.

und diese nur andeutungsweise sichtbar wurde. Aber es konnte über die Natur der Entladung als Glimmentladung gleichwohl kein Zweifel sein. Es versteht sich von selbst, dass diese untersuchten Entladungen die gewöhnlichen Symptome der Intermittenz nicht zeigten, weder waren sie irgend empfindlich gegen die Annäherung eines Leiters, noch tönte ein in den Stromkreis eingeschaltetes Telephon, noch gaben die Röhren selbst einen Ton aus, noch liess sich endlich durch den Drehspiegel das Bild der Entladung in Einzelbilder zerlegen.

1. Es wurden zuerst die von Warren de la Rue¹⁾ angegebenen Versuche wiederholt, indem der Strom der Batterie ausser durch das Gasrohr auch durch die primäre oder sekundäre Spirale verschiedener kleiner Inductorien geleitet wurde, während die freie Spirale derselben durch ein Dynamometer oder Galvanometer geschlossen war. In keinem Falle erhielt ich eine Ablenkung dieser Instrumente, welche auf einen durch Intermittenz des Batteriestromes erregten hin- und hereilenden Inductionsstrom schliessen liess. Indess will dies Resultat nicht viel sagen. Was zunächst die dynamometrische Wirkung der inducirten Ströme anlangt, so wächst dieselbe zwar zunächst mit der Zahl der Unterbrechungen des inducirenden Stromes, aber wird diese Zahl sehr gross, so wird darum doch die dynamometrische Wirkung nicht unendlich, sondern nähert sich, da die einzelnen Inductionsstösse durch die eigene Selbstinduction gehindert werden, einer festen Grenze; selbst dieser Maximaleffect aber konnte mit dem von mir benutzten Dynamometer kaum noch wahrgenommen werden. Was die Wirkung im Galvanometer anlangt, so ist eine solche nach der bekannten Theorie der Induction überhaupt nicht zu erwarten, auch dann nicht, wenn der Strom bei jeder Einzelentladung schneller abfällt als ansteigt, und nur das entgegengesetzte Resultat der Hrn. Warren de la Rue und Müller veranlasste mich, diese Versuche anzustellen. Aber leider gelang es nicht, das von jenen Forschern beobachtete Phänomen zu reproduciren; so-

1) Warren de la Rue und H. Müller, l. c.

bald das Galvanometer der directen magnetischen Wirkung der durchflossenen Spirale entzogen war, konnte nach Schluss des Batteriestromes kein bleibender Ausschlag wahrgenommen werden, obwohl der Inductionsstoss beim Oeffnen und Schliessen des Stromes die Nadel über die sichtbare Scala hinaustrieb.¹⁾

2. In den Strom wurden ausser dem Rohre und einem grösseren Flüssigkeitswiderstand gleichzeitig ein Galvanometer und ein Dynamometer eingeschaltet und an beiden Instrumenten die verursachte Ablenkung abgelesen. Es wurde sodann die Batterie, das Gasrohr und der Flüssigkeitswiderstand von den beiden Messinstrumenten gelöst und statt ersterer ein Daniell und soviel metallischer Widerstand mit den letzteren verbunden, dass die Galvanometerablenkung wieder die frühere wurde. Es zeigte sich, dass dann auch die Dynamometerablesung mit aller Schärfe wieder die frühere geworden war. Wäre aber der Strom, den die grosse Batterie durch das Gasrohr erzeugte, ein intermittirender gewesen, so hätte er bei gleicher magnetischer Wirkung eine bedeutend grössere dynamometrische Wirkung haben müssen. Wäre beispielsweise die Dauer einer Partialentladung gleich $\frac{1}{4}$ der Zeit vom Beginne einer solchen Entladung bis zum Beginne der nächsten, so müsste während dieser Dauer der Strom viermal stärker sein als der eine gleiche magnetische Wirkung ausübende continuirliche Strom, daher wäre seine dynamometrische Wirkung während jener Dauer sechzehnmal, im Mittel über die ganze Zeit aber viermal grösser als die des continuirlichen Stromes. Dieser Versuch deutet daher auf Continuität der Entladung.

3. Es wurde der Strom dem Rohre zugeleitet durch eine Wheatstone'sche Brückenvorrichtung; einen Zweig derselben bildete die secundäre Spirale eines kleinen Inductoriums von 1700 S.-E. Widerstand und einem Selbstinductionscoëfficienten von zehn Erdquadranten, die anderen drei Zweige waren gebildet durch gleichwerthige Metallwiderstände von verschwin-

1) Sicherlich lässt sich eine erfolgte Ablenkung der Nadel nicht als normale, irgend zu erwartende galvanometrische Wirkung auffassen. Eher vielleicht als sogenannte doppelsinnige Ablenkung, sodass das Galvanometer nur als ein sehr empfindliches Dynamometer wirkt.

dendem Selbstpotential. In die eigentliche Brücke war ein Dynamometer eingeschaltet und die Vorrichtung so abgeglichen, dass ein continuirlicher, dieselbe durchfliessender Strom keine Ablenkung des Dynamometers hervorbrachte. Dann rief auch der das Geissler'sche Rohr durchsetzende Batteriestrom keine Ablenkung hervor, obwohl er stark genug war, eine sehr merkliche Wirkung hervorzubringen, sobald das Gleichgewicht durch Einschaltung von 100 S.-E. in einen Zweig gestört wurde. Dieser Versuch spricht gegen die Discontinuität. Denn einen intermittirenden Strom können wir uns als zusammengesetzt denken aus einem continuirlich fliessenden Theil und einem solchen, welcher seine Richtung beständig wechselt. Nur für den ersteren war die Brücke abgeglichen, dem letzteren hingegen musste die Spirale bei ihrer starken Selbstinduction einen ausserordentlich viel grösseren scheinbaren Widerstand entgegensetzen, als die anderen Zweige. Es hätte also, wenn ein alternirender Theil vorhanden gewesen wäre, ein oscillirender Strom das Dynamometer durchfliessen müssen, und dieser hätte stark genug sein müssen, eine merkliche Ablenkung hervorzurufen.

Die bisherigen Versuche beweisen, dass in dem grössten Theile des metallischen Schliessungsbogen der Strom auch bei Einschaltung einer Luftstrecke continuirlich floss. Auf den Strom im Rohre selbst lassen dieselben einen Schluss nur insoweit zu, als man den Strom als gleichförmig in allen seinen Theilen annehmen darf. Beträgt nun aber die Zahl der Partialentladungen 100 000 oder mehr in der Secunde, so ist diese Annahme nicht allein unsicher, sondern es ist dann sogar unzweifelhaft, dass die Stromschwankungen nur auf kurze Strecken in die nothwendig mit grossem Selbstpotential behafteten Spiralen eindringen können, im Inneren derselben aber ausgelöscht werden müssen. Es könnte also von der beabsichtigten Wirkung nur ein vielleicht sehr kleiner Bruchtheil zu Stande kommen. In den folgenden Versuchen sind deshalb Spiralen vermieden.

4. Der Strom wurde durch eine Brückenvorrichtung (Fig. 1) geleitet, deren vier Zweige aus gleichen Flüssigkeitswiderständen von je 700 000 S.-E. bestanden. Es waren dies

dünne Glasröhren von 30 cm Länge, welche mit sehr verdünnter Zinkvitriollösung gefüllt waren. Die mittlere Potentialdifferenz an den Gelenken a und b — genauer das mittlere Quadrat dieser Differenz — konnte mit Hülfe eines Goldblattelektroskops wahrgenommen werden, es befanden sich nämlich die mit dem einen Gelenk verbundenen Goldblättchen in einem Metallkasten, welcher zu dem anderen Gelenk abgeleitet war. Die Goldblättchen wurden hier und in dem folgenden Versuch unter dem Mikroskop beobachtet, die eben noch wahrzunehmende Potentialdifferenz war etwa $\frac{1}{10}$ derjenigen, welche während des Stromdurchganges zwischen a und c herrschte. Die beiden Gelenke a und c konnten durch kurze metallische Leitungen mit den beiden Belegen eines Condensators von sehr grosser Capacität verbunden werden. Die Widerstände waren so abgeglichen, dass die Goldblättchen keine Divergenz zeigten, wenn der Strom ohne Einschaltung des Condensators die Brücke durchfloss. Es fand sich, dass dann auch nach Einschaltung des Condensators nicht die mindeste Divergenz wahrzunehmen war. Auch dies Resultat spricht gegen Discontinuität. Denn durchfliesst ein sehr schnell intermittirender Strom die Vorrichtung, und denken wir uns denselben wie vorhin zusammengesetzt aus einem continuirlichen und einem alternirenden Theil, so ist nur für ersteren die Brücke abgeglichen, für den letzteren hat dagegen der Zweig ac scheinbar einen verschwindenden Widerstand, da der Condensator ohne merkliche Steigerung des Potentialunterschiedes seiner Belegungen die durch den alternirenden Strom geförderte Electricitätsmenge aufzunehmen und abzugeben im Stande ist. Für den alternirenden Theil müsste daher die Potentialdifferenz zwischen a und c sehr klein, also diejenige zwischen a und b hinreichend gross werden, um wahrgenommen werden zu können. Es war nicht überflüssig, die Richtigkeit dieser Folgerung durch den Versuch zu prüfen. Es wurde deshalb in den äusseren Stromkreis ein Zahnrad mit sehr vielen Zähnen eingefügt, durch welches künstlich der Strom bis zu 2000 Malen in der Secunde unterbrochen werden konnte. Wurde diese Unterbrechung vorgenommen, so blieben trotz-

dem die Goldblättchen in Ruhe, sobald der Condensator ausgeschaltet war, sie divergirten aber nach Einschaltung desselben augenblicklich, diese Divergenz wuchs mit der Zahl der Unterbrechungen und war bei der oben angegebenen Zahl eine sehr beträchtliche. Eine einzelne Schliessung und Oeffnung des Stromes gab sich nach Einschaltung des Condensators durch ein kurzes Zucken der Goldblättchen zu erkennen. Ich schätze, dass schon viele Hunderttausende von Partialentladungen in der Secunde stattfinden müssten, um das angewandte Prüfungsmittel unwirksam zu machen. Es konnte allerdings unwirksam werden, wenn sich die Intermitenzen so schnell folgten, dass die electricischen Wellen in der Zwischenzeit sich nur auf kleine Bruchtheile der Längen der benutzten Flüssigkeitswiderstände fortpflanzen konnten.

5. Mit der negativen Electrode wurden durch einen kurzen Kupferdraht die Blättchen eines Goldblattelektroskops verbunden; diese Blättchen hingen in einem Metallkasten, welcher entweder durch einen Metalldraht mit der positiven Electrode oder mittelst eines sehr grossen Widerstandes von einigen Millionen S.-E. gleichfalls mit der negativen Electrode verbunden werden konnte. Wurde durch das Rohr der Strom geleitet und der Metallkasten mit der positiven Electrode verbunden, so divergirten die Goldblättchen heftig, sie zeigten keine Spur von Divergenz, sobald der Metallkasten durch den erwähnten Widerstand mit der negativen Electrode verbunden war. Dieser Erfolg spricht gegen die Discontinuität der Entladung. Schwankte nämlich das Potential an der Kathode sehr schnell zwischen dem zur Entladung nothwendigen und einem viel kleineren Potential hin und her, so würde wohl das Potential der Goldblättchen diesen Schwankungen zu folgen vermögen, nicht aber dasjenige des Metallkastens, die auf dem letzteren vorhandene Electricitätsmenge würde beständig die dem mittleren Potentialwerthe entsprechende bleiben, der Ausschlag der Goldblättchen wäre also proportional dem Quadrat der Abweichung des Potentials von seinem Mittelwerthe. Dass eine intermittirende Entladung in der That Divergenz zur Folge hatte, konnte nachgewiesen werden, indem man den in den Batterie-

strom eingeschalteten Widerstand mehr und mehr wachsen liess; bei einem gewissen sehr hohen Werthe desselben fing dann die Entladung an, die von Hrn. Hittorf angegebenen Kennzeichen der Discontinuität zu zeigen, zugleich fingen dann die Goldblättchen an, nicht unbeträchtlich zu divergiren. Der gleiche Erfolg konnte durch künstliche Unterbrechung des Batteriestromes hervorgerufen werden. Auch das hier benutzte Prüfungsmittel muss versagen, sobald die Zahl der Unterbrechungen in der Secunde eine gewisse Höhe erreicht, aber die hierzu erforderliche Zahl lässt sich mit einiger Annäherung berechnen. Die Partialentladungen, wenn solche vorhanden waren, konnten nur bestehen in den Entladungen der auf der Kathode und den damit metallisch verbundenen Goldblättchen angesammelten Electricität, die Capacität dieses Systems war sicherlich nicht grösser als die einer Kugel von 20 mm Radius. Die Schwankung des Potentials bei jeder Entladung konnte nicht den Werth von 90 Daniells überschreiten, denn es zeigte sich, dass eine solche Abweichung des Potentials der Goldblättchen von dem des umgebenden Kastens sich schon durch eine wahrnehmbare Divergenz zu erkennen gab. Nun würden 1000 Entladungen in der Secunde einer Kugel von 20 mm Radius, die jedesmal auf 90 Daniells geladen würde, erst einen Strom bilden, wie ihn 1 Daniell in ca. 5 Millionen S.-E. erzeugt. Aber der bei den Versuchen benutzte Strom stieg bis zu Stärken von 1 Dan. in 100 S.-E. Wenn derselbe also überhaupt aus Partialentladungen sich zusammensetzte, so mussten deren mindestens 50 Millionen auf die Secunde entfallen.

6. Die Anode des zu untersuchenden Gasrohres war durch einen dicken Metalldraht mit der einen Platte eines Kohlrausch'schen Condensators verbunden, die Kathode war mit der anderen Platte verbunden durch einen sehr dünnen Silberdraht von 80 mm Länge und ca. 0,8 S.-E. Widerstand. An diesem letzteren war eine Vorrichtung angebracht, welche erlaubte, mittelst Spiegels und Scala eine äusserst kleine Verlängerung, also auch eine sehr kleine Temperaturerhöhung des Drahtes infolge eines hindurch gesandten Stromes wahrzunehmen. Es

war schon eine Temperaturerhöhung von $\frac{1}{30}^{\circ}$ C. erkennbar, der Strom welcher diese Temperaturerhöhung hervorrief, war gleich $\frac{1}{100}$ Daniell/S.-E. Der Draht bildete so eine Art Dynamometer ohne Spiralen und soll in Folgendem als solches bezeichnet werden.¹⁾ Es konnte nun der Kathode der Strom der Batterie, welcher bei diesen Versuchen bis zu Stärken von $\frac{1}{20}$ Daniell/S.-E. benutzt wurde, auf zweierlei Weise zugeleitet werden. Entweder derselbe mündete zwischen Condensator und Dynamometer, er musste alsdann das letztere durchfliessen und brachte in demselben einen Ausschlag von vier bis fünf Scalentheilen hervor. Oder aber er mündete zwischen dem Dynamometer und dem Gasrohr, dann war nicht der mindeste Ausschlag des Dynamometers, sicherlich aber nicht ein Ausschlag von $\frac{1}{4}$ Scalentheil wahrzunehmen. Hätte nun aber der Strom aus einzelnen Partialentladungen sich zusammengesetzt, so hätte eine beständige Ladung und Entladung des Condensators stattgefunden, also ein alternirender Strom das Dynamometer durchflossen. Die durch denselben verursachte Ablenkung hätte mindestens die Hälfte der durch den ganzen Strom hervorgerufenen betragen. Auch hier verursachte ich Intermittenz durch künstliche Unterbrechung im äusseren Schliessungskreise, der Erfolg war, dass nun bei beiden Arten der Schaltung Ablenkungen des Dynamometers eintraten, ja dieselben waren in beiden Fällen sogar grösser (sechs bis acht Scalentheile), als wenn der Strom ungestört floss. Dieser paradoxe Umstand erklärt sich dadurch, dass bei künstlicher Unterbrechung dynamometrisch stärker wirksame Condensatorentladungen eintraten, ohne dieselben aber nicht. Das hier angewandte Kriterium verliert nur dann seine Brauchbarkeit, wenn die einzelnen Partialentladungen sich so schnell folgen, dass die denselben entsprechenden electricischen Wellen den Silberdraht des Dynamometers in der Zwischenzeit nicht mehr zu durchsetzen vermögen. Wieviel derselben hierzu erforderlich seien, kann auf verschiedene Weise geschätzt werden, schon die niedrigste Schätzung ergibt viele Tausend Millionen. Die einfachste

1) Die Vorrichtung ist näher beschrieben in der Zeitschrift für Instrumentenkunde, Jan. 1883. p. 17.

Art ist vielleicht diese: Wenn die electriche Welle sich nicht durch den Dynamometerdraht fortpflanzt, so besteht jede Partialentladung nur in der Entladung der auf der Kathode angesammelten Electricität. Die Capacität der Kathode war kleiner als die einer Kugel von 20 mm Radius. Das Potential der Kathode konnte während der Einzelentladung nicht um Werthe schwanken, die viel mehr als $\frac{1}{100}$ Daniell aus einander lagen, denn wenn die mittlere Potentialdifferenz der Enden des Dynamometers diesen Werth erreichte, so trat eine wahrnehmbare Ablenkung ein. Um gleichwohl durch hinreichend schnell wiederholte Entladung der Kathode einen Strom von $\frac{1}{20}$ Dan./S.-E. zu erzeugen, mussten sich zwei Billionen Entladungen in der Secunde folgen. Diese Rechnung ist Einwänden zugänglich, aber ohne die grosse Zahl ängstlich vertheidigen zu wollen, gebe ich zu bedenken, ob es wohl wahrscheinlich ist, dass der electriche Strom als vollständig ausgebildete Partialentladung mit allen Schichten ein 200 mm langes Gasrohr zu durchdringen vermag, in einer Zeit, in welcher er unfähig ist, 80 mm eines metallischen Leiters gleichförmig zu durchsetzen.

7. Ich habe keine Prüfungsmethode gefunden, welche zu weitergehenden Schlüssen hätte berechtigen können. Aber es sind noch einige Erfahrungen anzuführen, welche, wenn auch an sich nicht beweisend, doch in demselben Sinne sprechen, wie die bisher mitgetheilten.

a. Schliesst man den Stromkreis, in welchen das Gasrohr und ein hinreichender Flüssigkeitswiderstand eingeschaltet ist, durch den Körper, so erhält man beim Schliessen einen Schlag, einen viel schwächeren Schlag beim Oeffnen, durch häufiges Oeffnen und Schliessen kann die Empfindung bis zur Unerträglichkeit gesteigert werden. Aber während das Rohr gleichförmig leuchtet, empfindet man nichts ausser einem Brennen in den Eintrittsstellen des Stromes.

b. Niemals treten bei der Batterieentladung recurrente Ströme als Nebenerscheinung auf, auch nicht unter Bedingungen, welche für das Zustandekommen derselben sehr günstig sind, und unter welchen die Ruhmkorffentladung sehr lebhaft Ströme dieser Art veranlasst.

c. Die folgenden Erfahrungen sind schon von Hrn. Hittorf angezogen: Bei einem hinreichend grossen Widerstand der Leitung ist die Entladung sicher discontinuirlich. Das Rohr lässt dann häufig einen Ton hören, dessen Höhe das Tempo angibt, in welchem sich die Entladungen folgen. Wird der Widerstand verkleinert, so wird der Ton höher und die Erscheinung ein wenig lichtstärker. Aber ein allmählicher Uebergang an die ruhige unempfindliche Entladung findet nicht statt, sondern bei einem bestimmten Widerstand verlöscht der Ton sprunghaft, die Erscheinung verdreifacht ihren Glanz, und es lassen sich derselben nun keinerlei Anzeichen von Discontinuität mehr abgewinnen. Auffallender ist der Sprung, wenn die Electroden des Rohres mit den Belegen eines grossen Condensators verbunden sind; er findet dann häufig schon statt von einem Zustand aus, in welchem die einzelnen Entladungen sich noch durch das Auge unterscheiden lassen. Ist der Sprung einmal eingetreten, so übt dann die Einschaltung oder Ausschaltung des Condensators nicht mehr den mindesten Einfluss auf das Aussehen der Entladung aus.

Ich schliesse aus der Gesammtheit der mitgetheilten Versuche, dass die geprüften Entladungen continuirliche waren, ich folgere daraus, dass im allgemeinen die Batterieentladung als continuirlich zu betrachten sei, sobald sie nicht durch die bekannten Merkmale Discontinuität veranlasst, und weiter, dass auch die Entladungen des Inductoriums, deren Dauer je nach der Grösse des Apparates zwischen $\frac{1}{1000}$ und $\frac{1}{60}$ Secunde liegen kann, während dieses Intervalles als continuirlicher Strom anzusehen sei.

Um den gemachten Schlüssen volle Kraft zu geben, ist es nöthig, zu zeigen, dass den Betrachtungen, welche zu dem entgegengesetzten Resultate führen, volle Beweiskraft nicht beigelegt werden kann. Diese Betrachtungen scheinen vorzugsweise zu beruhen 1) auf der Erfahrung, dass ein schwacher Strom (wie ihn beispielsweise die Influenzmaschine liefert) allemal discontinuirlich ist, und auch dann nicht continuirlich wird, wenn sich mehrere tausend Partialentladungen in der Secunde folgen; 2) auf der Erfahrung, dass die Wärme-

entwicklung in einem Gasrohre der Intensität des Stromes, nicht dem Quadrat derselben proportional ist; 3) auf der damit zusammenhängenden Erfahrung, dass die Potentialdifferenz an den Enden des Rohres nicht steigt mit steigender Stromstärke, sondern auf dem Werthe verharret, bei welchem überhaupt der schwächste Strom das Rohr zu durchsetzen vermag. Dass diese Erfahrungen einen Schluss auf nothwendige Discontinuität nicht zulassen, zeige ich, indem ich eine einfache mechanische Vorrichtung angebe, welche in mancher Beziehung, jedenfalls aber in den angeführten, als Electricitätsleiter ein Gasrohr zu ersetzen vermag, und in welcher dennoch unter Umständen der Strom continuirlich fließt. Es stelle A (Fig. 2) die Anode vor, es sei mit derselben elastisch und gut leitend das Gewicht α verbunden, welches der Kathode B nahe gegenüber liegt. Besteht nun zwischen A und B eine Potentialdifferenz, so wird α von B angezogen, es werde aber α an directer Berührung mit B gehindert durch den mit α verbundenen Ueberzug β von relativ grossem Widerstande w . Neben der beschriebenen Vorrichtung mögen sich zwischen A und B noch unzählige viele Aehnliche befinden, welche sich von der ersteren nur dadurch unterscheiden, dass der β entsprechende Widerstand für jede einzelne sehr gross sei. Die Potentialdifferenz zwischen A und B , welche nöthig ist, um die Gewichte α sowohl der ersten, als aller übrigen Vorrichtungen mit B in Berührung zu bringen, sei bis auf ein sehr kleines dieselbe und gleich p . Die ganze Vorrichtung kann dann ein Gasrohr ersetzen in folgender Hinsicht. Sie lässt überhaupt keinen Strom hindurch, solange nicht die Potentialdifferenz von A und B den Werth p erreicht. Sie wird einen intermittirenden Strom durchlassen, sobald A und B mit einer Electricitätsquelle verbunden werden, welche zwar eine Potentialdifferenz p , nicht aber gleichzeitig einen Strom von der Stärke p/w hervorzubringen vermag. Ist aber die Quelle im Stande, den genannten Strom zu liefern, so bleiben α und B dauernd in Berührung, und der Strom fließt continuirlich. Welches nun auch die Stärke des Stromes sei, es wird doch die Potentialdifferenz nicht p übersteigen können, da sich immer mehr

Leitungen schliessen würden. Die gesammte Wärmeentwicklung wird daher auch der Intensität selbst, nicht dem Quadrat derselben proportional sein. Hiermit haben wir gezeigt, was unsere Absicht war.

Noch ein anderer Umstand scheint die Meinung der Autoren beeinflusst zu haben. Da nämlich die Lage und Entwicklung einer jeden Schicht des Glimmlichtes abhängt von der in der Richtung zur Kathode vorangegangenen Schicht, so bildet sich die berechtigte Anschauung, dass auch zeitlich von der Kathode ab sich eine Schicht nach der anderen entwickeln müsse. Eine solche zeitliche Entwicklung aber ist nicht denkbar, falls die Entladung in allen Theilen eine continuirlich andauernde ist. Vielleicht kann man dem in Frage stehenden Umstande gerecht werden, wenn man zugibt, dass die Entladung als Ganzes continuirlich ist, aber annimmt, dass der Verlauf derselben in den einzelnen Stromfäden allerdings eine Function der Zeit sei. Leitete beispielshalber die Berührung eines jeden Gasmolecüls mit der Kathode eine electriche Bewegung ein, welche sich wellenartig in das Medium ausbreitete, so wäre eine successive Entstehung der Schichten wohl verständlich, ohne dass sich deshalb die Entladung in Partialentladungen zerfällen liesse. Dieselbe wäre immer noch continuirlich im Sinne der vorliegenden Arbeit.

II. Bezeichnen die Kathodenstrahlen die Bahn des Stromes?

Von der Kathode gehen bekanntlich geradlinig, angenähert senkrecht zur Kathode, unbekümmert um die Lage der Anode die Kathodenstrahlen aus, welche sich je nach der Dichte des Gases um einige Millimeter, Centimeter und selbst um Längen von der Ordnung eines Meters in das Medium fortpflanzen. In Luft sind dieselben blau, bei sehr kleinen Dichten aber äusserst lichtschwach, sie sind dann vorzüglich bemerkbar durch die Phosphorescenz, welche sie an ihren Enden im Glase erregen. Nähert man dem Rohre einen Magnet, so erscheinen sie gebogen, angenähert in der Gestalt, welche ein vom Strom durchflossener, elastischer, an der Kathode befestigter Draht unter dem Einflusse des

Stromes annehmen würde. Diese Einwirkung ist ganz allgemein als eine electrodynamische aufgefasst, und so war die von den älteren Physikern, abgesehen von vorübergehend geäusserten Zweifeln, angenommene Ansicht diese: Die Kathodenstrahlen bezeichnen den Weg des Stromes, ihr blaues Licht rührt her von dem Glühen, resp. Phosphoresciren der Gastheilchen unter dem Einflusse des Stromes. Diese Anschauung aber führte nach genauerer Erkenntniss der That-sachen zu grossen Unwahrscheinlichkeiten, und so äussern sich denn neuere Arbeiten zum Theil sehr reservirt über die Beziehung der Kathodenstrahlen zum eigentlichen Entladungsvorgang.¹⁾ Unter diesen Umständen erschien es wünschenswerth, einen sicheren experimentellen Entscheid zu erhalten auf die Frage: Durchläuft der Strom die Länge der Kathodenstrahlen, ehe er sich zur Anode wendet? War diese Frage in negativem Sinne zu beantworten, so war überhaupt die Bahn des Stromes dem blossen Auge nicht erkenntlich, es trat dann die neue Frage auf: Welches ist die Bahn des Stromes in einem Raume, in welchem dem Strome verschiedene Wege zur Verfügung stehen? Ich habe die letztere und damit die erstere Frage zu beantworten versucht, indem ich experimentell die Stromlinien in einem durchströmten Gasraume bestimmte aus den Ablenkungen, welche die Entladung auf einen kleinen, in ihrer Nähe befindlichen Magnet ausübte.

Ehe diese Versuche in Angriff genommen werden konnten, war es nöthig, eine Vorfrage zu erledigen. Bilden nämlich die Kathodenstrahlen auch nicht den Weg des Stromes, so ist es doch unzweifelhaft, dass dieselben vom Magnet beeinflusst werden. Es ist deshalb von vornherein nicht unwahrscheinlich, dass in jedem Falle auch umgekehrt die Kathodenstrahlen eine Ablenkung des Magnets veranlassen; diese Wirkung könnte ja von einer electrodynamischen verschieden sein. Wäre eine solche vorhanden, so würde sie die beabsichtigten Versuche vereiteln. Die zunächst zu beschreibenden Versuche sollen zeigen, dass eine solche Wirkung nicht besteht.

1) Z. B. W. Spottiswoode and J. Fletcher Moulton, Phil. Trans. 171. p. 649. 1880.

In ein 300 mm langes Rohr von 28 mm Weite war als Kathode eine kreisförmige, abgedrehte Messingscheibe, welche den Querschnitt des Rohres füllte, eingesetzt, durch die durchbohrte Mitte dieser Scheibe war ein Thermometerrohr geführt, in welchem wiederum, genau centrisch zur Scheibe ein Draht von unmagnetischem Metalle sich befand, dessen in den Gasraum nur wenig über die Scheibe hervorragendes Ende die Anode bildete. Die den Strom zu- und ableitenden Drähte waren um einander geschlungen. Es mussten nun die Stromlinien in dem Gasraume jedenfalls symmetrisch zur Axe des Rohres liegen; denkt man sich also die Ströme ersetzt durch magnetische Flächen, so bilden dieselben durchaus geschlossene Ringmagnete, deren Wirkung nach aussen Null sein musste. Die Kathodenstrahlen aber waren voll entwickelt und füllten je nach der Dichte das ganze Rohr oder einen Theil desselben mit blauem Licht. Haben dieselben also eine ihnen eigenthümliche Wirkung auf einen ausserhalb befindlichen Magnet, so musste dieselbe hier getrennt von jeder electrodynamischen Wirkung zur Erscheinung kommen. Das Rohr war zur Vermeidung electrostatischer Einflüsse umgeben mit einer abgeleiteten Stanniolhülle, ohne welche Vorsicht die Versuche sich als unmöglich erwiesen. Der Magnet, auf welchen die Kathodenstrahlen wirken sollten, war derselbe, welcher bei den folgenden Versuchen benutzt wurde, er bestand in einem 12 mm langen, stark magnetischen Stückchen einer Taschenuhrfeder, er war aufgeklippt auf ein Spiegelchen von sehr dünnem Glase, welches an einem einfachen Spinnenfaden in dem sehr engen Raume zwischen zwei Platten von Birminghamglas aufgehängt war. Er glich also dem System eines Thomson'schen Galvanometers; war er durch äussere Magnete, wie immer in den folgenden Versuchen, stark astasirt, so war er durch Luftdämpfung aperiodisch und genügte doch in Bezug auf Sicherheit der Einstellung etc. selbst strengen Ansprüchen. In möglichster Nähe dieses Magnet wurde nun das vorerwähnte Rohr aufgestellt, einmal so, dass der Magnet eine tangentiale, dann so, dass derselbe eine radiale Kraft anzeigen musste, endlich so, dass eine Kraft parallel der Richtung des Rohres be-

merkbar geworden sein würde. Aber niemals zeigte sich eine Ablenkung, die im Fernrohr auch nur $\frac{1}{10}$ Scalentheil betragen hätte. Wurde aber der gleiche Strom — seine Stärke war etwa $\frac{1}{100} - \frac{1}{200}$ Dan./S.-E. — unter Benutzung einer zweiten Anode veranlasst, das Rohr der Länge nach zu durchsetzen, so ergaben sich Ablenkungen von 30—40 Scalentheilen. Gleiche Ablenkungen ergaben sich, wenn unter Beibehaltung der ersten Anode äussere Theile des Schliessungskreises dem Magnet bis auf einige Centimeter genähert wurden. Hiernach stand fest, dass, wenn überhaupt eine spezifische Einwirkung der Kathodenstrahlen auf den Magnet stattfand, diese doch nicht den 300. Theil derjenigen Wirkung erreichen konnte, welche den Kathodenstrahlen als Stromträgern zukam.

Bei den Hauptversuchen wurde nun die Entladung untersucht in einem parallelepipedischen, plattenförmigen Luftraume von 120 mm Länge, 120 mm Breite und 10 mm Dicke. Das Gefäss, welches diesen Luftraum umschloss, ist in Fig. 3 dargestellt. Es wurde gebildet aus einem gegossenen, starken Messingrahmen, welcher als Gerüst diente und zugleich die Seitenwände hergab, und zwei luftdicht auf diesem Rahmen aufliegenden Platten von Spiegelglas von 4—5 mm Stärke. Die letzteren trugen den gewaltigen Druck der Luft mit Sicherheit, konnten auch, während derselbe auf ihnen lastete, erhitzt werden, sie bogen sich aber so stark unter demselben, dass die Krümmung bei seitlichem Ueberblicken der Platte leicht bemerkt werden konnte. Den Messingrahmen durchsetzte ein mit Hahn versehenes Rohr zum Auspumpen und mehrere Aluminiuelectroden, letztere waren in Glasröhren eingekittet und so von dem Rahmen isolirt. Das Dichten des Gefässes gelang erst nach einigen vergeblichen Versuchen. Die Schwierigkeit bestand einmal darin, dass wegen der Durchbiegung des Glases ein genaues Aufschleifen unmöglich war, und jeder feste Kitt beim Auspumpen Sprünge erhielt, und zweitens darin, dass in den inneren Raum durchaus keine Spur zersetzbarer organischer Substanz kommen durfte, also auch die reichliche Benutzung von Fett ausgeschlossen war. Die schliesslich benutzte Dichtung wird

durch Fig. 4 erläutert. Auf dem abgeschliffenen vorspringenden inneren Rande α des Rahmens wurde ein Streifen dünner ausgewalzter Guttapercha gelegt, welcher sich von der Innenkante um die Breite eines Millimeters entfernt hielt. Dann wurden die Glasplatten erhitzt aufgelegt, und soweit es die mangelhafte Dichtung gestattete, das Gefäss ausgepumpt, gleichzeitig wurde dann der Hohlraum β mit einer erwärmten Mischung von vier Theilen Colophonium und einem Theil Baumöl ausgegossen. Diese Masse erwies sich nach dem Kaltwerden als hinreichend flüssig, um den Bewegungen der Glasplatten zu folgen, und doch als so zäh, dass sie erst im Laufe von Monaten durch ihre eigene Schwere wieder aus dem Hohlräume ausfloss. Das Gefäss hielt sich tagelang völlig luftleer, durchsetzte allerdings der Strom dasselbe längere Zeit, so stieg der Gasdruck ein wenig, aber nicht so stark, dass dadurch die beabsichtigten Versuche beeinträchtigt worden wären. Das Gefäss wurde sodann mit einer vom Rahmen und den Electroden isolirten, mit der Erde aber leitend verbundenen Stanniolhülle umgeben. Nachdem es bis auf wenige Hundertstel Millimeter Druck entleert war, wurde es auf ein durch Stellschrauben in horizontale Stellung zu bringendes Brett gelegt, welches mit Coordinatenpapier überzogen war. Genau über dem Nullpunkt dieses Coordinatensystems schwebte die schon oben beschriebene Magnetnadel in solcher Höhe, dass eben das entleerte Gefäss unter ihr, ohne anzustossen, verschoben werden konnte. Sie befand sich nur 2 mm über der Oberfläche der oberen Spiegelplatte, also 12 mm über der Mittelschicht des durchströmten Gasraumes. Beim Einsetzen des Stromes wurde die Nadel abgelenkt, die Grösse dieser Ablenkung hing ab von der Stromstärke und der Stellung der Nadel zur Strombahn; bei den Versuchen hatte der Gesamtstrom eine Stärke von $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{200}$ Dan./S.E., dabei zeigte die Nadel in günstigster Stellung Ablenkungen bis zu 80 Scalentheilen. Da $\frac{1}{10}$ Scalenthail abgelesen werden konnte, handelte es sich um genau messbare Grössen. Mit Hülfe des Coordinatenpapiers liess sich die Lage der Platte zum Magnet in genau angebbarer Weise variiren; es ist klar, dass diese Anordnung erlaubte, mit

einiger Genauigkeit die Vertheilung der magnetischen Kräfte zu bestimmen, welche die Strömung in der Luftplatte dicht oberhalb dieser Platte und parallel mit derselben hervorrief. Es handelt sich aber darum, aus dieser Vertheilung auf die Vertheilung der Strömung in der Luftplatte zu schliessen.

Dies geschieht mit Hülfe des folgenden Satzes: Die Strömungsfuction der electricischen Strömung in einer ebenen Platte ist gleich der mit einer Constanten multiplicirten Potentialfunction der von der Strömung hervorgerufenen magnetischen Kräfte in unmittelbarer Nähe der Platte. Die Strombahnen fallen also zusammen mit den Niveaulinien jenes Potentials, und die Stromintensitäten zwischen je zwei Niveaulinien, zwischen welchen das Potential um den gleichen Werth wächst, sind gleich. Man findet diesen Satz unter anderem bewiesen in Maxwell's Treatise on electricity and magnetism¹⁾, man macht sich denselben aber auch ohne Rechnung leicht klar, wenn man bedenkt, dass ein Magnetpol, welcher einer ebenen durchströmten Platte unbegrenzt genähert wird, nur von denjenigen Stromtheilen, welche in einer unmittelbaren Nähe liegen, eine zur Platte parallele Kraft erfährt.

Die in unserem Falle untersuchte Stromplatte ist nicht unendlich dünn, und der prüfende Magnet schwebt nicht in unmittelbarer Nähe ihrer Mittelebene, sondern 12 mm über der letzteren. Es kann daher mit seiner Hülfe nur die Vertheilung des Potentials in einer Ebene erforscht werden, welche 12 mm über der Mittelebene der Luftschicht liegt. Aber die magnetischen Kräfte in dieser Ebene werden denjenigen im Inneren der Luftschicht nahezu gleich sein, es werden daher auch die Niveaulinien des Potentials in derjenigen Ebene, in welcher der Magnet beweglich ist, den Stromlinien äusserst ähnlich sein. Die eleganteste Methode, diese Niveaulinien zu erforschen, bestände darin, dass man die Platte in solcher Weise unter dem Magnet verschöbe, dass der letztere beständig unabgelenkt bliebe; die Linie, welche die Projection des Magnets auf die Platte dabei beschreibt, ist eine Niveaulinie, also eine Stromlinie. Da aber die Ablenkung des Magnets aus der Entfernung mit Spiegel

1) Maxwell, Treatise on electricity and magnetism 2. p. 264. 1873.

und Scala abgelesen werden musste, so war diese Methode nicht ohne weitläufige Mechanismen anzuwenden. Es wurde deshalb das folgende Verfahren eingeschlagen. Die Platte wurde so unter dem Magnet verschoben, dass die Projection des letzteren auf sie eine Parallele zu einer Seite der quadratischen Platte beschrieb, und dass der Magnet dabei in seiner unabgelenkten Lage senkrecht zu dieser Parallelen stand. Für eine Reihe von Punkten dieser Geraden wurden dann die Ablenkungen bestimmt, welche das Einsetzen des immer auf gleicher Stärke gehaltenen Stromes veranlasste. Dieselben waren proportional dem Differentialquotienten des Potentials längs der untersuchten Geraden. Diese Differentialquotienten wurden dann graphisch aufgetragen, nach bestem Ermessen interpolirt und durch mechanische Integration der erhaltenen Curve die Aenderung des Potentials längs der untersuchten Geraden bestimmt. Das gleiche Verfahren wurde auf eine Reihe von Geraden, welche der ersten parallel waren, und auf eine dazu senkrechte Gerade angewandt. Es ist klar, dass dadurch schon der Werth des Potentials für alle Punkte der untersuchten Ebene angebbar wurde, und dass es dann leicht war, Punkte mit gleichem Werthe des Potentials zu verbinden und diese Verbindungslinien in solchen Abständen zu ziehen, dass von der einen zur anderen das Potential um gleiche Werthe wuchs. In dessen infolge der Methode musste nothwendig den erhaltenen Werthen eine gewisse Unsicherheit anhaften, und es war erforderlich, ein Maass für diese zu gewinnen. Zu dem Ende wurde nicht nur für eine Gerade, welche zu den zuerst untersuchten Parallelen senkrecht war, der Lauf des Potentials ermittelt, sondern für mehrere solche Geraden. Es konnte dann der Werth des Potentials für einen jeden Punkt auf ebenso viele unabhängige Weisen ermittelt werden, und es wurde so Ausgleichung nicht nur ein zuverlässigeres Resultat erhalten, sondern auch ein Maass der Unsicherheit gewonnen. Es zeigte sich, dass dieselbe nicht so gross war, dass sie die Resultate hätte wesentlich beeinträchtigen können.

Diese Resultate lassen sich nicht besser darstellen, als durch die Figuren 5a, b, c. In denselben bezeichnet α das

blaue Kathodenlicht, β die positiven Schichten, die ausgezogenen Liniensysteme sind äquidistante Niveaucurven des Potentials. In a und c beträgt der Druck gegen $\frac{1}{10}$ mm, daher münden hier die Kathodenstrahlen frei, in b ist der Druck so klein gemacht, dass die Batterie nur eben noch den Raum continuirlich zu durchsetzen vermochte, es treffen daher hier die Kathodenstrahlen senkrecht auf die gegenüber liegende Wand. In Bezug auf die Bedeutung der gezeichneten Niveaucurven sind folgende Bemerkungen zu machen: 1) Zur Construction einer jeden Figur wurden etwa 50—60 Ablenkungen verwendet, die sich nicht gleichmässig über die ganze Fläche vertheilten, sondern sich auf diejenigen Gegenden concentrirten, welche als die wichtigsten erschienen. 2) Die Unsicherheit, welche blieb, ist durch die Zahl der gezeichneten Niveaucurven angedeutet. Von denselben sind nämlich so viele gezogen, dass die Unsicherheit in der Lage der einzelnen etwa gleich dem Intervall zwischen zwei benachbarten ist. 3) Um aus den gezeichneten Niveaulinien die eigentlichen Stromlinien zu erhalten, muss man sich die Endpunkte derselben auf die Electroden vereinigt und die Linien selbst etwas mehr gegen diejenigen Stellen zusammengerückt denken, an welchen sie am dichtesten sind. Die eigentlichen Stromlinien können natürlich die Wände des Gefässes nirgend schneiden, wie das die von uns gezeichneten Linien thun.

Die Betrachtung der Figuren ergibt nun eindeutig das Folgende: die Richtung der Kathodenstrahlen fällt durchaus nicht mit der Stromrichtung zusammen. An einzelnen Stellen sind die Stromlinien fast senkrecht zur Richtung der Kathodenstrahlen. Einzelne Theile des Gasraumes sind lebhaft vom Kathodenlicht erhellt, obwohl in ihnen die Intensität der Strömung verschwindend klein ist. Die Strömung geht in roher Annäherung von Pol zu Pol in ähnlicher Vertheilung, wie solche in einem festen oder flüssigen Leiter stattfinden würde. Daraus folgt, dass die Kathodenstrahlen mit der Bahn des Stromes nichts gemein haben.

1. Gegen die Vorversuche wird man einwenden: da der Magnet die Kathodenstrahlen ablenke, so müssen auch

rückwärts die Kathodenstrahlen den Magnet ablenken. Demgegenüber kann bestritten werden, dass der Ausdruck „der Magnet lenke jene Strahlen ab“, und der dadurch gegebene Vergleich mit der Ablenkung eines durchströmten elastischen Drahtes so passend gewählt sei, wie dies auf den ersten Blick den Anschein hat. Ein solcher Draht würde bei Beginn des Stromes gerade sein und erst nach einer endlichen Zeit in seine abgelenkten Lage gebracht werden. Wir wissen aber, dass auch Kathodenstrahlen, welche Entladungen von weniger als ein Milliontel Secunde Dauer angehören, schon vollständig gebogen erscheinen.¹⁾ Dass die electrodynamische Wirkung die Entladung in Gasen mit solcher Geschwindigkeit in Bewegung zu setzen vermöge, dagegen spricht die De la Rive'sche Rotation des Glimmlichts um den Magnetpol; diese ist unzweifelhaft eine electrodynamische Wirkung, aber sie erfolgt auch nur mit sehr messbarer Geschwindigkeit. Ferner wird bei jeder eigentlichen electrodynamischen Wirkung das ponderable Substrat der Strömung in Bewegung gesetzt, bei der Ablenkung der Entladung aber nicht.²⁾ Diese Ablenkung würde also vielmehr dem durch Hrn. Hall entdeckten Phänomen entsprechen. Aber auch diese Analogie wird mangelhaft, wenn man bedenkt, dass ja die Kathodenstrahlen als Strombahnen überhaupt nicht anzusehen sind. Endlich: dass die Wirkung des Magnets auf die Entladung nicht eine rein electrodynamische sein kann, beweist die Thatsache, dass die Annäherung eines kräftigen Magnets im Stande ist, die Batterieentladung auszulöschen, welche Entladung dann nach Entfernung des Magnets sich sofort wieder entzündet. Die Wirkung des Magnets, welche das Zustandekommen des Stromes verhindert, kann sicherlich nicht eine Wirkung auf den Strom sein, sondern nur eine Wirkung auf das zu durchströmende Medium. Diese Schwierigkeiten und die Thatsache, dass die Kathodenstrahlen auf den Magnet nicht zurückwirken, scheinen mir die Wahrscheinlichkeit nahezu legen, dass die Analogie zwischen der Ablenkung der Kathodenstrahlen und

1) Goldstein, Ueber eine Form der electr. Abstossung. III. Theil.

2) Goldstein, Wied. Ann. 12. p. 262. 1881.

der electrodynamischen Wirkung eine ganz äusserliche sei. Man entgeht jenen Schwierigkeiten und findet diese Thatsache gerechtfertigt, wenn man, auf eine Erklärung einstweilen verzichtend, aussagt: der Magnet wirke auf das Medium, die Kathodenstrahlen aber pflanzen sich anders fort in einem magnetisirten als in einem unmagnetisirten Medium. Ihre Ablenkung ist alsdann dem Vergleich mit der Ablenkung eines durchströmten Drahtes entzogen, vielmehr in Analogie gestellt mit der Drehung der Polarisationssebene des Lichtes in einem magnetisirten Medium.

2. Die Hrn. E. Wiedemann und Goldstein haben, wie mir scheint, auf Grund triftiger Erwägungen, ihre Ansicht dahin ausgesprochen, dass die Entladung eine an sich unsichtbare Bewegung des Aethers sei, welche sich in Licht nur dadurch umsetze, dass sie ihre Energie zunächst an die Gastheilchen abgebe. Ich wünschte indess, hierin an Stelle des Wortes „Entladung“ das Wort „Kathodenstrahl“ gesetzt zu sehen, welche Begriffe den genannten Forschern zusammenfielen, in Wahrheit aber strenge zu trennen sind. Der Ansicht, dass die Kathodenstrahlen an sich lichtlos seien und nur durch ihre Absorption im Gase Licht erzeugen, wird man sich kaum erwehren können, wenn man aufmerksam den folgenden Versuch erwägt. Das schon früher beschriebene Rohr, welches zu den Vorversuchen dieses Abschnittes gedient hatte, wurde so weit evacuirt, dass nur die Entladungen eines grossen Inductoriums noch hindurchgingen, und dass unter der Einwirkung solcher Entladungen an dem der Kathode gegenüberliegenden Ende helle Phosphorescenz auftrat. Nach dem Vorherigen kann man nicht zweifeln, dass sich die Strombahnen auf die nächste Umgebung der dicht beisammen liegenden Electroden beschränken, und dass nur die Kathodenstrahlen es sind, welche das Rohr der Länge nach durchsetzen. Es befand sich nun in dem Rohr an dem phosphorescirenden Ende ein Quecksilbertropfen. Wurde durch Erhitzen des Rohres an dieser Stelle das Quecksilber verdampft und dadurch ein Gas von grösserer Dichte daselbst erzeugt, so füllte sich das Ende des Rohres mit rosaweissem Licht, welches das Quecksilberspectrum

zeigte. Die grüne Phosphorescenz des Glases erblasste dabei und hörte ganz auf, wenn die durchstrahlte Schicht von Quecksilberdampf eine gewisse Dicke erreichte. Wurde durch den Magnet den Kathodenstrahlen ein Weg gewiesen, bei welchem sie nicht den Dampf zu durchsetzen hatten, so hörte der letztere auf, zu leuchten, und es erschien dafür die Stelle der seitlichen Glaswand, auf welche nun die Strahlen fielen, in grünem Phosphorescenzlicht. Man konnte so beliebig das Glas oder den Quecksilberdampf leuchten lassen. Füllte sich dann durch weiteres Erhitzen und Destilliren ein immer grösserer Theil des Rohres mit dem dichteren Dampfe, so leuchtete von dem dampferfüllen Theile immer nur die der Kathode zunächst gelegene Strecke auf eine Länge von 5—6 cm, der dahinter gelegene Theil des Rohres blieb dunkel. War schliesslich das ganze Rohr mit dem dichteren Dampfe gefüllt, so umgab das Leuchten als gewöhnliches Kathodenlicht die Kathode bis auf eine Entfernung von einigen Centimetern. Es erregen also die Kathodenstrahlen das Leuchten da, wo sie zuerst auf ein dichteres Medium treffen und von demselben absorbiert werden, zu ihrer Absorption reicht eine verschwindend dünne Schicht eines festen Körpers aus, aber es ist eine Schicht von endlicher Dicke eines Gases hierzu erforderlich. Je dichter das Gas, auf eine um so kürzere Strecke vermögen die Kathodenstrahlen dasselbe zu durchdringen, dies ist vermuthlich einer der Gründe, aus welchen in dichteren Gasen das Kathodenlicht sich auf die nächste Nähe der Kathode beschränkt.

3. Bei dem vorigen Versuche konnte man nicht zweifelhaft sein, dass das Gas auch dann, wenn es in unmittelbarer Nähe der Kathode leuchtete, doch nicht leuchtete unter dem Einfluss des Stromes, sondern unter dem Einfluss der Kathodenstrahlen. Denn dies Leuchten konnte durch unmerkliche Uebergänge übergeführt werden in ein ganz ähnliches Leuchten, welches in grossem Abstand von der Kathode stattfand in einem Raume, in welchem der Strom Null war. Es ist aber sehr unwahrscheinlich, dass in diesem besonderen Falle zwar das Kathodenlicht keine directe Wirkung des Stromes sollte gewesen sein, dass dies aber im allgemeinen der Fall sein sollte. Da ferner nach den Untersuchungen

des Hrn. Goldstein das Kathodenlicht so viele Analogien mit den einzelnen positiven Schichten zeigt, dass es selbst als eine degenerirte solche Schicht angesehen werden kann, so ist es sehr unwahrscheinlich, dass das Leuchten der Gase in den positiven Schichten ganz andere Ursachen haben sollte, als das Leuchten im Kathodenlicht. Man wird so zu der anfangs gewagt scheinenden Annahme geführt, dass das Leuchten des Gases in der Glimmentladung überhaupt keine unmittelbare Wirkung des Stromes sei, sondern mittelbar entstehe durch Absorption der durch den Strom erzeugten Kathodenstrahlen.¹⁾ Könnten wir die Entstehung der Kathodenstrahlen verhindern, so wäre das Gas überall so dunkel wie in den doch auch vom Strom durchflossenen dunklen Zwischenräumen der Schichten, könnten wir umgekehrt Kathodenstrahlen erzeugen auf anderem Wege als durch die Entladung, so könnten wir das Gas erleuchten auch ohne Strom. Einstweilen ist allerdings diese Trennung nur in der Vorstellung ausführbar.

4. Eine Reihe von Erscheinungen, welche anders nur schwer zu erklären sind, stellen sich fast als selbstverständlich dar, wenn man die Kathodenstrahlen als eine von der eigentlichen Entladung gänzlich unabhängige Bewegung auffasst, welche mit derselben nicht mehr zusammenhängt, als das Licht, welches von der Entladung ausstrahlt. Ich nenne nur die Durchdringung der Schichten; die Reflexion der Kathodenstrahlen von der Anode, das Heraustreten dieser Strahlen aus engen Metallgittern, welche die Anode bilden und die Kathode vollständig umgeben. Ich sah unter diesen Umständen voll entwickelte Kathodenstrahlen durch ein Drahtgitter treten, welches nicht weniger als 36 Maschen auf den Quadratmillimeter hatte.

III. Haben die Kathodenstrahlen electrostatische Eigenschaften?

Gibt man zu, dass die Kathodenstrahlen nur eine Begleiterscheinung des eigentlichen Stromes sind, und dass dieselben

1) d. h. von Strahlen, welche ihrer Natur nach identisch sind mit den Kathodenstrahlen. Der Name wird offenbar unpassend, wenn er auch die Strahlen der positiven Schichten umfassen soll.

electrodynamische Wirkungen nicht ausüben, so ist wohl die nächstliegende Frage die nach ihrem electrostatischen Verhalten. Leider konnte ich die darauf bezüglichen Versuche nicht mehr mit der Batterieentladung ausführen, sondern musste mich mit den Entladungen eines kleinen Inductoriums behelfen. Da die letzteren wegen ihrer Unregelmässigkeit und der Plötzlichkeit ihres Verlaufes zu electrostatischen Messungen sehr ungeeignet sind, so erhielten die Versuche nicht die Schärfe, deren sie sonst vielleicht fähig gewesen wären, doch darf das Hauptresultat wohl als feststehend betrachtet werden. Die in der Ueberschrift aufgeworfene Frage kann in zwei einfachere zerlegt werden, nämlich erstens: Veranlassen die Kathodenstrahlen das Auftreten electrostatischer Kräfte in ihrer Umgebung? und zweitens: Werden sie selbst in ihrem Verlauf beeinflusst durch äussere electrostatische Kräfte? Unter Kathodenstrahlen sind hier durchaus solche zu verstehen, welche von der sie erzeugenden Strombahn getrennt sind, dieselben sollen der Einfachheit halber als reine bezeichnet werden.

A. Auf die erstgenannte Frage wurde eine Antwort gesucht mittelst der in Fig. 6 dargestellten Anordnung. *AB* ist das 25 mm weite, 250 mm lange Glasrohr, in welchem der Strahl erzeugt wurde, α ist die Kathode; alle mit β bezeichneten Theile sind gut metallisch miteinander verbunden und bilden, soweit sie im Inneren des Glasrohres liegen, die Anode. Sie bestehen erstens aus einem Messingrohr, welches die Kathode zum grössten Theil umgibt und nur gegenüber derselben eine 10 mm im Durchmesser haltende, kreisförmige Oeffnung besitzt, durch welche die Kathodenstrahlen austreten können, zweitens aus einem Drahtnetz, dessen Maschen etwa 1 qmm bedecken, und durch welches die Kathodenstrahlen hindurchpassiren müssen, drittens aus einem metallischen Schutzkasten, welcher den grössten Theil des Glasrohres völlig umgibt und verhindert, dass in dem ausserhalb des Drahtnetzes gelegenen Theil des Gasraumes durch Influenz von aussen, z. B. von der Kathode her, electrostatische Kräfte auftreten können. Wenn die früher erhaltenen Resultate nur halbwegs Bedeutung haben, so sind

die Kathodenstrahlen, nachdem sie die Mündung des Metallcylinders und obenein das Drahtnetz passirt haben, als rein zu betrachten. Sie sind aber deshalb nicht minder lebhaft, sondern lassen bei geringer Dichte die Glaswand bei *B* in lebhaftem grünen Phosphorescenzlicht erglänzen, in welchem sich der Schatten des Drahtnetzes genau abzeichnet. Es war nun der in den Schutzkasten hineinragende Theil des Glasrohres umgeben mit einem metallischen Mantel γ , welcher mit dem einen Quadranten eines empfindlichen Electrometers verbunden war, während der Schutzkasten mitsammt dem anderen Quadranten zur Erde abgeleitet wurde. Wurde in das Innere dieses Mantels eine auch nur kleine Menge Electricität gebracht, so entzog dieselbe durch Influenz dem Electrometer die entgegengesetzte Electricität, sodass ein Ausschlag erfolgte. Das Einbringen von Electricität konnte z. B. in der Weise geschehen, dass an Stelle des Glasrohres *AB* in das Innere des geschützten Raumes und des Mantels γ hineinragend ein Metallstab angebracht wurde, welcher ungefähr Gestalt und Lage des Kathodenstrahles hatte und mit der Kathode leitend verbunden war, während der Strom des Inductoriums wie bei den eigentlichen Versuchen das Rohr durchsetzte. Der Ausschlag, welchen das Electrometer alsdann annahm, war zu gross, um gemessen zu werden, er konnte aber geschätzt werden auf zwei bis drei Tausend Scalentheile. Wurde dann der Strom unterbrochen, so ging das Electrometer nahezu in die alte Lage zurück, und dies Spiel konnte beliebig wiederholt werden. Quantitativ ähnliche Wirkungen hätte nun der Kathodenstrahl hervorbringen müssen, wenn er aus einem Strom von Theilchen, die auf das Potential der Kathode geladen waren, bestand, qualitativ ähnliche aber überhaupt dann, wenn er irgend electrostatische Kräfte in seiner Umgebung erregte. Dies war nun das Resultat des Versuchs: Wurden die Quadranten des Electrometers leitend verbunden und nun das Inductorium in Gang gesetzt, so blieb natürlich zunächst die Nadel in Ruhe, wurde nun die Verbindung der Quadranten gelöst, so fing infolge von Unregelmässigkeiten der Entladung die Nadel an, Schwankungen bis zu 10 bis 20 Scalentheilen um die

Ruhelage zu machen, wurde dann das Inductorium unterbrochen, so blieb die Nadel ruhig auf ihrer Ruhelage, um beim Wiedereinsetzen des Stromes wieder um dieselbe zu schwanken u. s. w. Hieraus ist mit Sicherheit zu schliessen, dass, soweit die Genauigkeit des Versuches geht, sich eine electrostatische Wirkung des Strahles nicht wahrnehmen lässt; insbesondere, dass, falls derselbe aus einem Strom electricisirter Theilchen bestand, dann das Potential auf seiner Mantelfläche doch höchstens $\frac{1}{100}$ desjenigen an der Kathode betrage. Dieser Schluss bleibt genau bestehen, wenn sich nun auch zeigt, dass der ausserhalb des Drahtnetzes gelegene Theil des Rohres keineswegs einfach unelectrisch ist, sondern dass etwas complicirtere Verhältnisse vorliegen. Setzt man nämlich das Inductorium in Bewegung, nachdem der Apparat durch lange Ruhe unelectrisch geworden ist, so erhält das Electrometer eine bedeutende Ablenkung (150 bis 200 Scalentheile), eine negative Ladung des Glasrohres anzeigend. Aber diese Ladung und Ablenkung bleibt constant, wenn man auch beliebig das Inductorium in Thätigkeit und ausser Thätigkeit setzt. Dieselbe hält stundenlang nach Unterbrechung des Apparates an. Die Stellung der Nadel verändert sich aber augenblicklich, wenn man während der Thätigkeit des Apparates dem Rohre einen Magnet nähert, um dann wieder in der neuen Lage constant zu bleiben, solange der Magnet seine Lage beibehält. Es dringt also thatsächlich durch das Drahtnetz hindurch Electricität in den geschützten Raum, solange bis das gesteigerte Potential das weitere Eindringen verhindert. Die Gesetze, welchen dies Eindringen unterliegt, sollen hier nicht festgestellt werden, es genügt, dass dasselbe mit den Kathodenstrahlen nichts zu thun hat. Denn weder wird das Eintreten der letzteren irgend wie beeinträchtigt, wenn das weitere Eindringen der Electricität verhindert ist, noch wird, wie der zuerst beschriebene Versuch zeigt, die Menge der im Glasrohr einmal vorhandenen Electricität dadurch um ein Bemerkbares vermehrt, dass die Kathodenstrahlen den Raum zu durchströmen beginnen.

B. Um Aufschluss zu geben, ob die reinen Kathoden-

strahlen durch electrostatische Kräfte beeinflusst würden, wurden die folgenden Versuche angestellt. Die Kathodenstrahlen wurden in einem 260 mm langen Glasrohr von einer kreisförmigen Aluminiumkathode von 5 mm Durchmesser aus erzeugt. Die Kathode war, ähnlich wie in den vorigen Versuchen fast völlig von der Anode umgeben, und nur durch ein Drahtnetz traten die Strahlen nach aussen. In ihren weiteren Weg war ein feiner Draht gestellt, dessen scharfer Schatten, in einer Entfernung von 120 mm im Phosphoreszenzbild erscheinend, ein genaues Merkmal einer etwaigen Ablenkung abgab. Es zeigte sich, dass eine auf den Strahl senkrecht zu seiner Richtung wirkende magnetische Kraft, welche nur halb so gross wie die horizontale Intensität des Erdmagnetismus war, hinreichte, die Lage dieses Schattens sehr merklich zu verändern. Das Rohr wurde nun zwischen stark und entgegengesetzt electricisirte Platten gebracht, ohne dass indess eine Einwirkung auf das Phosphoreszenzbild sichtbar wurde. Es war aber hierbei zweifelhaft, ob die grosse electrostatische Kraft, welchem das Rohr ausgesetzt war, im Inneren nicht compensirt würde durch eine daselbst eintretende electriche Vertheilung. Um diese Zweifel zu heben, wurden im Inneren des Rohres zwei Metallstreifen in 20 mm Abstand angebracht, zwischen welchen auf eine Länge von 120 mm der Strahl von dem schattengebenden Draht aus hindurchgehen musste, und welche durch Leitungen nach aussen auf verschiedenes Potential gebracht werden konnte. Wurden dieselben zunächst mit den Polen einer Batterie von 20 kleinen Daniell'schen Elementen verbunden, so zeigte Schluss und Oeffnung dieser Verbindung nicht den mindesten Einfluss auf das Phosphoreszenzbild, also dass eine auf den Strahl senkrecht zu seiner Richtung wirkende Kraft von einem Dan. auf 1 mm jedenfalls noch keine Wirkung auf denselben äusserte. Es wurden sodann 240 Planté-Elemente der grossen Batterie geladen, und ihre Pole mit den beiden Metallplatten verbunden. Diese 240 Elemente waren allein durchaus nicht fähig, den Gasraum zu durchbrechen, sobald aber das Inductorium einsetzte, und die Kathodenstrahlen den Raum zwischen den Platten

erfüllten, entstand zwischen den Platten die Batterieentladung, welche, da kein Flüssigkeitswiderstand eingeschaltet war, sofort in Bogenentladung überging. Die gleiche Erscheinung konnte dann auch schon mit einer viel geringeren Zahl von Elementen, bis herab zu 20 bis 30 hervorgerufen werden. Dies entspricht einer von Hrn. Hittorf gemachten Entdeckung, wonach der von den Kathodenstrahlen erfüllte Raum schon sehr kleinen Kräften gegenüber durchlässig ist. Wurden die 240 Elemente mit einem grossen Widerstand zwischen die Platten geschaltet, so ging nur während jeder einzelnen Entladung des Inductoriums eine ebenso kurz andauernde schwache Batterieentladung über. Dabei erschien dann das Phosphoreszenzbild der Ruhmkorffentladung in der Nähe der negativen Platte durch Deflexion etwas verzerrt, der in der Mitte zwischen beiden Platten befindliche Schatten des Drahtes aber war nicht sichtbar verschoben. Man kann daher als Resultat angeben: Unter den Umständen des Versuches wurde der Kathodenstrahl durch keine electromotorische Kraft abgelenkt, welche überhaupt in dem von ihm durchsetzten Raume zu Stande kommen kann, jedenfalls aber noch nicht durch eine electromotorische Kraft von ein bis zwei Dan. auf das Millimeter. Hieran knüpfen sich die folgenden Bemerkungen.

1. Soweit die unter III beschriebenen, allerdings unvollkommenen Versuche ein Urtheil zulassen, sind an den Kathodenstrahlen electrostatische Eigenschaften nicht wahrzunehmen. Unter II wurde theils bewiesen, theils wahrscheinlich gemacht, dass auch electrodynamische Wirkungen im engeren Sinne von ihnen nicht ausgehen. Daher kann die Frage aufgeworfen werden, ob wir überhaupt berechtigt seien, die Kathodenstrahlen an sich als eine electriche Erscheinung anzusehen? Es erscheint nicht als unwahrscheinlich, dass dieselben ihrer Natur nach keine engeren Beziehungen zur Electricität haben, als das Licht, welches von einer electricen Lampe ausgeht.

2. Die unter II mitgetheilten Versuche lassen sich ganz wohl mit der von verschiedenen Seiten vertretenen Ansicht vereinigen, nach welcher der Kathodenstrahl gebildet werden solle aus einem Strom electricisirter materieller Theilchen.

Aber die unter III erhaltenen Resultate scheinen einer solchen Ansicht entgegen zu treten. Dass sich die Kathodenstrahlen ganz unähnlich verhalten einem mit der Kathode verbundenen Stab von gleicher Gestalt, ist wohl nahezu das Gegentheil von dem, was man nach jener Anschauung erwarten sollte. Man kann ferner fragen, wie gross die Geschwindigkeit electricisirter Theilchen sein müsse, damit eine senkrecht zur Bahn derselben wirkende magnetische Kraft von der absoluten magnetischen Intensität Eins stärker ablenkend wirke als eine electrostatische Kraft von einem Dan. auf 1 mm. Man findet, dass jene Geschwindigkeit elf Erdquadranten in der Secunde übersteigen müsse. Ohne eine solche Geschwindigkeit anzunehmen, könnte jene Anschauung, nach dem unter B dargestellten Versuch, von der Einwirkung des Magnets auf die Strahlen keine Rechenschaft ablegen, aber eine solche Geschwindigkeit wird man nicht für wahrscheinlich halten.

Schluss.

Durch die beschriebenen Versuche glaube ich bewiesen zu haben:

1. Dass bis zur Beibringung stärkerer Beweismittel für das Gegentheil wir die Batterieentladung als continuirlich, also die Glimmentladung nicht als nothwendig disruptiv anzusehen haben.

2. Dass die Kathodenstrahlen eine die Entladung nur begleitende Erscheinung sind, mit der Bahn des Stromes in erster Annäherung aber nichts zu thun haben.¹⁾

3. Dass den Kathodenstrahlen entweder gar keine oder doch nur sehr schwache electrostatische und electrodynamische Eigenschaften zukommen.

Ausserdem aber habe ich versucht, eine ganz bestimmte Anschauung über das Wesen der Glimmentladung als wahrscheinlich hinzustellen, deren Hauptzüge diese sind:

Das Leuchten des Gases in der Glimmentladung ist

1) Da das Vorhandensein der Kathodenstrahlen in einem Gasraum die Durchlässigkeit desselben wesentlich beeinflusst, so kann man kaum zweifeln, dass in zweiter Annäherung die Lage und Entwicklung der Kathodenstrahlen auf die Bahn des Stromes mitbestimmend einwirkt.

kein Phosphoresciren unter dem directen Einfluss des Stromes, sondern ein Phosphoresciren unter dem Einfluss der durch den Strom erregten Kathodenstrahlen. Diese Kathodenstrahlen sind electricisch indifferent, unter den bekannten Agentien ist das Licht die ihnen am nächsten verwandte Erscheinung. Die Drehung der Polarisationssebene des letzteren ist das Analogon zur Beugung der Kathodenstrahlen durch den Magnet.

Wenn diese Anschauung richtig ist, so ist man durch die Erscheinungen gezwungen, verschiedene Arten von Kathodenstrahlen anzunehmen, deren Eigenschaften in einander übergehen, welche den Farben des Lichts entsprechen und welche sich unterscheiden nach Phosphorescenzerregung, Absorbirbarkeit und Ablenkbarkeit durch den Magnet.

Die diesen Ansichten am nächsten stehenden früheren sind die von den Herren E. Wiedemann¹⁾ und E. Goldstein²⁾ geäußerten. Wenn man die unten citirten Stellen mit dem Gegenwärtigen vergleicht, wird man ebenso leicht die Uebereinstimmungen, wie die Abweichungen erkennen. Die beschriebenen Versuche wurden im physikalischen Institut der Universität Berlin ausgeführt.

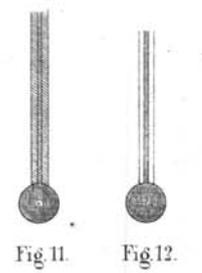
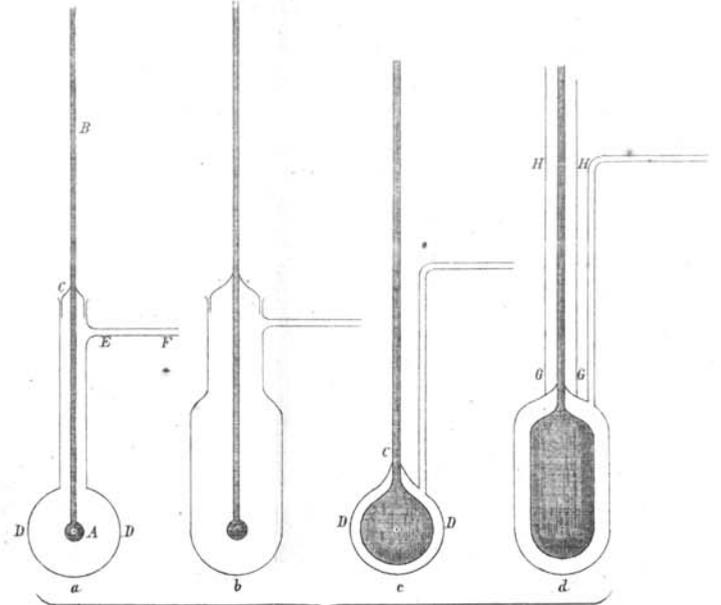
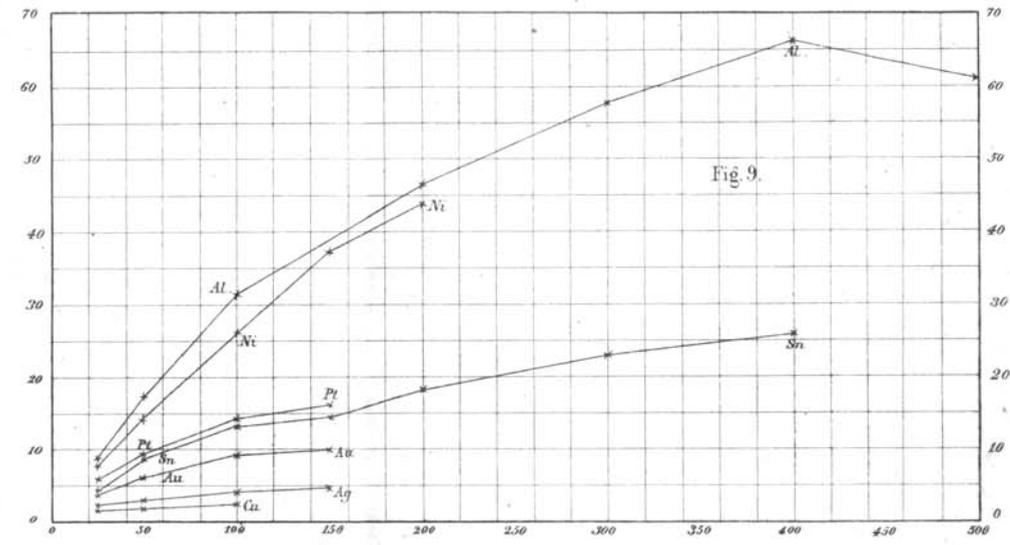
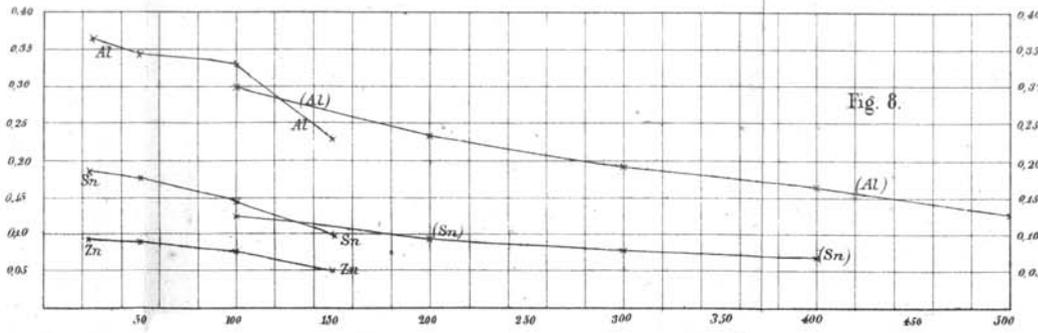
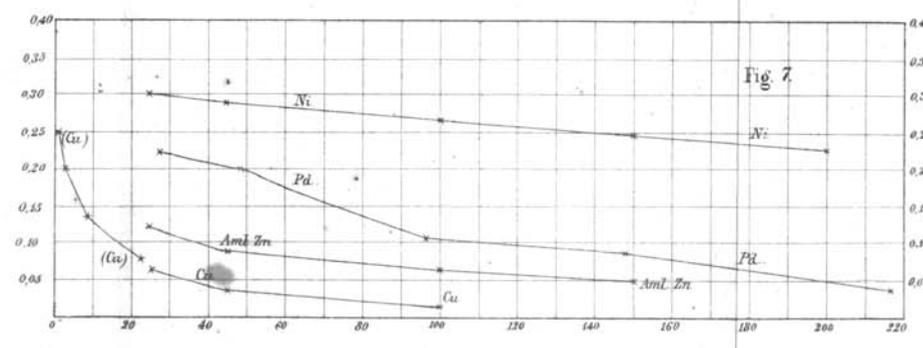
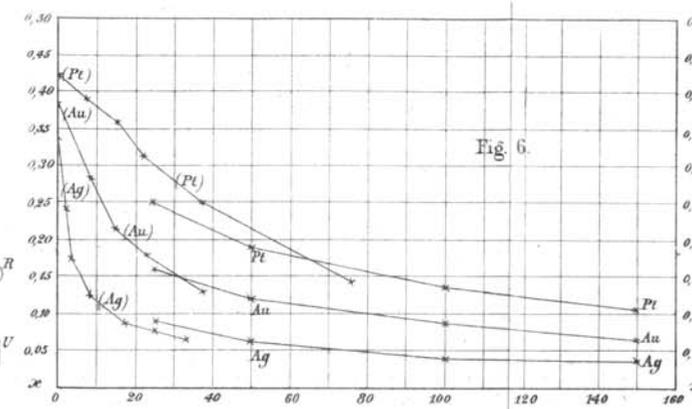
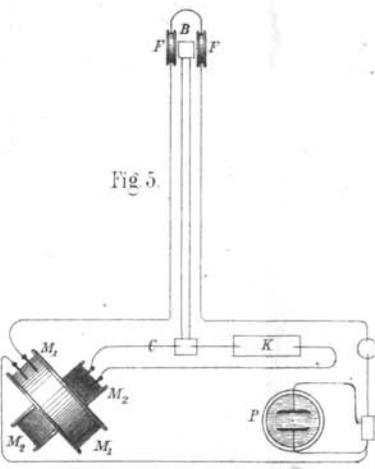
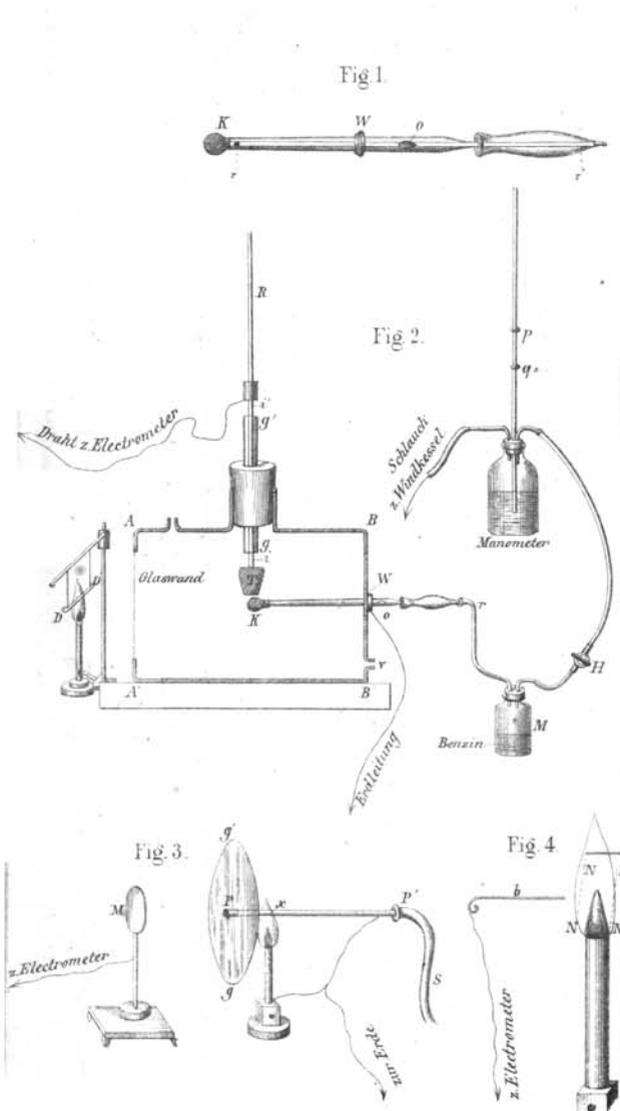
Kiel, im Mai 1883.

III. *Ueber den Unterschied der positiven und negativen Entladung;* *von H. Hellmann in Riga.*

Obwohl seit dem Jahre 1881 durch Hrn. Dr. E. Goldstein die Frage studirt ist, ob sich die Unterschiede in den Erscheinungsformen des sogenannten positiven und negativen Lichtes in Vacuumröhren nicht als allein abhängig von den äusseren Entladungsbedingungen, nicht aber von der Art der Electricität erweisen dürften, so ist es — so weit meine Literaturkenntniss reicht — doch noch nicht gelungen, die positive und negative Entladung in völlig gleicher Form zu

1) E. Wiedemann, Wied. Ann. 10. p. 249. 1880.

2) E. Goldstein, Wied. Ann. 12. p. 265. 1881.



Elster und Geitel Fig. 1-4. Oberbeck Fig. 5-9. Winkelmann Fig. 10-12.