

### III. Ueber die Electricitätsleitung der Gase; von W. Hittorf.

(Dritte Mittheilung.<sup>1)</sup>)

Im Jubelbande von Pogg. Ann. habe ich eine galvanische Kette von 400 Bunsen'schen Elementen von kleinen Dimensionen, aus denen jedes aus Zink, Kohle und Chromsäurelösung besteht, beschrieben, welche als Tauchbatterie eingerichtet ist. Als die Aufforderung, einen Beitrag zur Feier des Jubilar's zu liefern, an mich erging, war diese Kette eben fertig geworden; einige Versuche, die ich mit derselben gemacht, bilden den Inhalt jener kurzen Mittheilung. Seitdem habe ich meine kärgliche Musse der Electricitätsleitung der Gase wieder gewidmet. Um alle an der Funkenentladung bekannten Erscheinungen mit Hülfe der Volta'schen Electricität, wenn auch nur in bescheidenem Maasstabe zu erhalten, vermehrte ich allmählich die Zahl der Elemente und verfüge seit 1 $\frac{1}{2}$  Jahren über eine Tauchbatterie von 1600 Stück derselben. Eine wesentliche Verbesserung besitzen die 1200 Elemente, welche später hinzugekommen sind. Statt der Glasylinder von 120 mm Höhe sind zur Aufnahme der Flüssigkeit, der Vorschrift Bunsen's entsprechend, solche von 300 mm genommen worden. Die Herstellung der ersten 800 Elemente war eine sehr beschwerliche, indem die kleinen Kohlenparallelepipeda aus grösseren Stücken Retortenkohle gesägt und, wie früher angegeben, an einem Ende cylindrisch abgerundet werden mussten. Auf der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London lernte ich 1876 die Kohlencylinder, welche Carré in Paris für die electricische Beleuchtung herstellt, kennen und benutzte sie für weitere 800 Elemente. Dadurch, dass jetzt Kohlencylinder sowie Zinkdrähte im Handel zur Verfügung stehen, ist die Anfertigung solcher vielpaarigen

---

1) Erste Mittheilung: Pogg. Ann. CXXXVI. p. 1. 1869. Zweite Mittheilung: Jubelbd. p. 430. 1874.

Ketten, die zum Studium des electricischen Verhaltens der Gase unentbehrlich sind, sehr leicht geworden, und ich zweifle nicht, dass sie bald Eingang in die Laboratorien finden werden. Um die Handhabung möglichst bequem zu machen, habe ich jedesmal 200 Elemente auf einem Brette in der früher mitgetheilten Weise befestigt. Sie können auf beliebige Tiefe in die Flüssigkeit getaucht werden.

§ 1. Der Gedanke, welcher mich zur Herstellung einer solchen Kette veranlasste, liegt nahe. Ich erwartete, mit Hülfe dieser ergiebigsten aller bekannten Electricitätsquellen die sogenannte Glimmentladung in den Gasen stetig zu gewinnen und dadurch für die Untersuchung die ausserordentlichen Vortheile, welche der continuirliche Strom gegenüber dem discontinuirlichen bietet, zu erlangen.

Gassiot hat bekanntlich zuerst die Erscheinungen, welche die Electricirmaschine und der Inductionsapparat in den verdünnten Gasen hervorrufen, in ganz gleicher Weise durch eine Kette von 3620 Elementen, die aus Zink, Kupfer, Regenwasser bestanden, sowie später durch eine Kette von 400 Grove'schen Elementen erhalten. Er fand mit Hülfe des rotirenden Spiegels, dass beide Ketten in seinen Röhren entschieden discontinuirliche Entladungen gaben, indem rasch aufeinander folgende, durch dunkle Räume getrennte Bilder im Spiegel erschienen.<sup>1)</sup> Dagegen zeigte sich ihm das Licht des Davy'schen Bogens im rotirenden Spiegel als continuirlicher Streifen. Letzteres ist auch von anderen Physikern festgestellt. Aus diesen Resultaten zog Gassiot den Schluss, dass die geschichtete Entladung in Gasen niemals eine continuirliche ist, ein Schluss, der von vielen Physikern als richtig angenommen wurde. Wenigstens pflichten ausdrücklich dieser Auffassung Stokes<sup>2)</sup>, De la Rive<sup>3)</sup> und G. Wiede-

1) Pogg. Ann. CXIX. p. 131. 1863.

2) Pogg. Ann. CXXIII. p. 489. 1864.

3) Pogg. Ann. CXXXI. p. 457. 1867.

mann<sup>1)</sup> bei. Als ich im Kreise geschätzter deutscher Physiker während der internationalen Ausstellung im Herbste 1876 Zweifel an der Richtigkeit äusserte, fand ich mich mit meiner Auffassung alleinstehend.

Folgende Erwägung liess mich früh die Resultate von Gassiot in einem andern Lichte erblicken und einen innern Widerspruch in seinem Schlusse erkennen. Mit den 400 Elementen erhielt Gassiot, als sie mit den Electroden eines äusserst verdünnten Gases verbunden wurden, zuerst die Glimmentladung mit dem geschichteten positiven Lichte, dem dunkelen Raume, dem Glimmlichte und der starken Erwärmung der Kathode. Sie verwandelte sich bald, scheinbar von selbst, (die Ursache wird später erörtert werden) in die Bogenentladung, bei welcher das negative Glimmlicht fehlt, und eine zusammenhängende Lichtmasse die Electroden verbindet. Diese besitzt, wie auch Gassiot beobachtete, eine unvergleichlich grössere Stromstärke. Ist sie trotzdem continuirlich, kann also die Grove'sche Kette derselben die grosse Electricitätsmenge liefern, so war nicht einzusehen, warum sie für den viel schwächern Bedarf der Glimmentladung nicht ausreichen sollte.

Dass die Elemente aus Zink, Kupfer, Regenwasser die Glimmentladung überall discontinuirlich liefern, liess sich leicht begreifen und aus dem geringen Leitungsvermögen des Wassers erklären. Mit denselben ist aber auch kein Davy'scher Lichtbogen zu erhalten. Der Strom, wie gross auch die Zahl der Elemente ist, kann ja nach dem Ohm'schen Gesetze niemals die Stärke eines einzigen Elementes, welches ohne äussern Widerstand in sich geschlossen ist, erreichen.

Die Studien, welche ich früher über das Verhalten des negativen Glimmlichtes in sehr verdünnten Gasen unter Anwendung des Inductionsstromes gemacht und in der ersten Mittheilung veröffentlicht habe, liessen mich das

---

1) Pogg. Ann. CXLV. p. 235. 1872 und CLVIII. p. 35. 1876.

Resultat, welches die 400 Grove'schen Elemente Gassiot's ergaben, ganz anders deuten. Ich habe dort auf den ausserordentlichen Widerstand, welcher in der Umgebung der Kathode auftritt und unterhalb der Spannkraft von 2 mm mit weitergehender Verdünnung der Gase so rasch sich vergrössert, aufmerksam gemacht. Derselbe bedingt wesentlich die Thatsache, dass selbst grosse Spannungen bei kleinstem Abstände der Electroden sich nicht mehr in Röhren entladen, in welchen die Luft mit der Quecksilberpumpe möglichst weit verdünnt ist. Gassiot studirte die Glimmentladung mit den 400 Grove'schen Elementen in seinen Vacuumröhren, in denen Kohlensäure durch caustisches Kali entfernt war, und daher eine grosse Verdünnung bestand. Als Electroden dienten Metallkugeln von blos  $\frac{1}{3}$  Zoll Durchmesser, also von verhältnissmässig kleiner Oberfläche. Demnach waren hier genau die Verhältnisse vorhanden, welche ich als die Entladung sehr erschwerend in meiner ersten Mittheilung bezeichnet habe. Auf den Strom hat nach dem Ohm'schen Gesetze ein gegebener Widerstand denselben Einfluss, an welcher Stelle im geschlossenen Bogen er sich befinden mag. Es ist ganz gleichgültig, ob er in den erregenden Elementen, oder an irgend einer Stelle des äussern Schliessbogens, oder, wie hier, in einem Theile des Gases selbst sich findet. Aus diesen Gründen erwartete ich, die Glimmentladung continuirlich überall zu erhalten, wo solche grossen Widerstände vermieden sind, und habe mich nicht geirrt. Meine Tauchbatterie liefert innerhalb weiter Grenzen die Glimmentladung in den verdünnten Gasen stetig; sie liefert sie discontinuirlich, wenn hinreichend grosse Widerstände in den äussern Schliessbogen aufgenommen sind, oder wenn sie in einem Theile des Gases selbst sich finden, wie es in den Gassiot'schen Vacuumröhren der Fall war.

§ 2. Um den experimentellen Beweis für diese Behauptung zu geben, muss ich einiges über die von mir benutzten Mittel und Einrichtungen vorausschicken.

Das Bunsen'sche Element ist von Bunsen selbst in neuerer Zeit<sup>1)</sup> so genau nach Wirksamkeit und Verhalten beschrieben worden, dass jeder weitere Zusatz überflüssig wird. Bunsen findet die electromotorische Kraft seiner Kette im frischen Zustande und bei Einschaltung grösserer Widerstände noch etwas beträchtlicher, als diejenige eines Grove'schen Elementes. Meine kleinen Elemente, deren Kohlencylinder 8 mm Durchmesser haben, besitzen, wenn die Füllung frisch ist, und Zink und Kohle 80 mm eintauchen, einen Widerstand, der je nach der Entfernung zwischen  $1\frac{1}{4}$  und  $1\frac{3}{4}$  S.-E. beträgt. Dieser Widerstand wird natürlich mit dem Gebrauche grösser, in dem Maasse als die gut leitenden freien Säuren verschwinden. Nach sehr langer Benutzung habe ich ihn schon über 5 S.-E. gefunden. Darnach kann man leicht den Gesamtwiderstand einer Kette von einer gegebenen Elementenzahl überschlagen. Lässt man die Zink- und Kohlencylinder nicht bis zur obigen Tiefe eintauchen, so vergrössert er sich natürlich entsprechend. Gegenüber den Widerständen, welche beim Studium der Glimmentladung nöthig werden, ist derjenige der Tauchbatterie sehr klein und kann in vielen Fällen ganz vernachlässigt werden. Man hat nur stets darauf zu achten, dass die Oberfläche des Zinks rein und nicht mit einer Salzkruete bedeckt ist, da diese bekanntlich einen grossen Widerstand erzeugt. Meine Kette ist so eingerichtet, dass das Holzgestell mit dem Brette, in welchem die Kohlen und Zinkstücke befestigt sind, von den Gläsern sich abheben lässt. Die Zinkdrähte können daher leicht in eine Kufe mit verdünnter Säure getaucht und von einer schlecht leitenden Oberflächenschicht befreit werden.

Die Stärke des Stromes, welche die Kette in unseren Versuchen gibt, kann, wie gross auch die Zahl der Elemente ist, niemals diejenige überschreiten, welche ein Element, wenn es ohne äussern Widerstand geschlossen

---

1) Pogg. Ann. CLV. p. 230. 1875.

ist, liefert, und bildet in den meisten Fällen nur einen sehr kleinen Bruchtheil dieses Maximums. Da nach dem Weber'schen Maasssystem die electromotorische Kraft eines Bunsen'schen Elementes ungefähr  $194 \cdot 10^9$  Einheiten und 1 S.-E. =  $9717 \cdot 10^6$  Einheiten betragen, so muss der Maximalstrom, den 1 Element in der Leitung vom Widerstande 1,5 S.-E. erregt, in der Minute  $6,779 \cdot \frac{194 \cdot 10^9}{1,5 \cdot 9717 \cdot 10^6} = 90,2$  mg Silber reduciren.<sup>1)</sup> Nach einem Versuche, den ich anstellte, entsprach der Ablenkung, welche der Maximalstrom eines frisch gefüllten Elementes gab, eine Abscheidung von 86,2 mg Silber in der Minute.

Für die Messung der Stromstärke wurde meistens das in meiner zweiten Mittheilung bereits erwähnte Meyerstein-Meissner'sche Spiegelgalvanometer<sup>2)</sup> benutzt. Der dünne Draht desselben bildet 18000 Windungen und besitzt einen Widerstand von 3620 S.-E. Er zweigte entweder von Siemens'schen Widerstandsrollen oder von zwei 1,1 mm dicken, parallel laufenden Platindrähten eines Rheostaten von gewöhnlicher Beschaffenheit ab, welche bei einer Länge von  $2 \times 100$  cm und der Temperatur  $12^\circ$  C. den Widerstand 0,5873 S.-E. besitzen. Dadurch, dass man die beiden Drähte durch den Schieber auf verschiedene an der Theilung ablesbare Längen begrenzt, kann die Stromstärke innerhalb weiter Grenzen in bekannter Weise mit dem Galvanometer bestimmt werden. Der Magnet behielt stets seine volle Richtkraft. Der Spiegel befand sich 4285 mm von der Scale des Beobachtungsfernrohres. Obiger Maximalstrom, der 86,2 mg Silber in der Minute reducirte, bewirkte, wenn der Draht des Galvanometers von  $2 \times 1$  cm der Rheostadtdrähte abzweigte, eine Ablenkung des Magneten von 320 mm. Darnach sind leicht die späteren Angaben über die benutzten Stromstärken verständlich.

Um die Stromstärken beliebig abändern zu können, wurden Widerstände, die viele Millionen S.-E. betragen

1) Siehe F. Kohlrausch. Leitfäden der praktischen Physik.

2) Siehe G. Wiedemann. Lehre vom Galvanismus II. p. 233. 1872.

müssen, nöthig. Es können hierzu nicht gut Metalldrähte dienen; insbesondere dürfen die grösseren Siemens'schen Widerstandsrollen nicht benutzt werden, da bei der bekannten zweckmässigen Art der Wickelung Fünkchen an den Enden entstehen und dieselben zerstören. Diese grossen Widerstände durch feste mittelmässige Leiter zu gewinnen, habe ich nicht versucht. Denn bei meiner Erstlingsarbeit<sup>1)</sup> hatte ich erfahren, wie veränderlich und vom Drucke abhängig der Widerstand an der Berührungsstelle solcher Leiter und der Metalle ist, eine Veränderlichkeit, die in neuester Zeit so hübsche praktische Verwendungen gefunden hat. Meine Wahl richtete sich daher allein auf die electrolytischen Flüssigkeiten. Destillirtes Wasser, welches, in Glasgefässen aufbewahrt, als eine sehr verdünnte Salzlösung anzusehen ist, wird gewöhnlich für obige Zwecke benutzt. Ich habe es nur im Anfange meiner Arbeit verwendet. Es besitzt den grossen Nachtheil, dass sein Widerstand fortwährend sich vermindert, indem aus dem Glase und der Luft Salztheilchen hinzukommen. In meinen electrolytischen Arbeiten bin ich einer Flüssigkeit von sehr grossem Widerstande begegnet, die für die obigen Zwecke sich sehr gut eignet und später allein benutzt worden ist. Es ist eine Auflösung von Jodcadmium in Amylalkohol. Um das Salz sicher wasserfrei zu haben, schmelze ich es vor der Lösung; letztere bereite ich aus 1 Gewichtstheil Salz auf 10 Theile Amylalkohol. Die Lösung befindet sich in cylindrischen Röhren mit einer Theilung in Millimetern zwischen kreisförmigen Platten von amalgamirtem Cadmium, die nahezu denselben Durchmesser wie erstere haben. Die untere Scheibe, welche als Kathode dient, reicht gerade bis zum Nullpunkte der Theilung und ist folgendermassen befestigt (Taf. IV B Fig. 1). An die getheilte Glasröhre ist ein Endstück mit einem Tubulus angeschmolzen, der sich conisch nach unten verengt. In den Tubulus war vorher ein Glasrohr eingeschliffen,

1) Pogg. Ann. LXXXIV. p. 8. 1851.

welches in der Axe einen dicken, mit beiden Enden herausragenden, eingeschmolzenen Platindraht enthält. Letzterer ist mit der Cadmiumplatte fest verbunden, indem ein Ansatz derselben ihn umgibt und durch Zusatz von etwas Quecksilber in ein festes anschliessendes Amalgam verwandelt wurde. Auf diese Weise ist der Kork vermieden und ein Herausfallen des eingeschliffenen Stückes durch den Flüssigkeitsdruck unmöglich: Die Anodescheibe lässt sich mittelst eines langen Cadmiumdrahtes, welchem eine umhüllende Glasröhre die nöthige Steifigkeit gibt, auf jede beliebige Entfernung bis zu 800 mm von der Kathode einstellen. Die beiden Electroden müssen stets in der angegebenen Lage verwendet werden, damit die grossen Veränderungen in der Concentration, welche die Electrolyse an der Oberfläche derselben bewirkt<sup>1)</sup>, sich von selbst ausgleichen, und die Flüssigkeit in allen Querschnitten dieselbe Beschaffenheit behält. Der Amylalkohol hat vor dem Wasser einmal den Vorzug geringerer Flüchtigkeit, da sein Siedepunkt 132° C. beträgt. Sodann besitzt er gegen die Bestandtheile des Glases kein Lösungsvermögen, die Flüssigkeit bleibt unverändert. Das Cadmium, welches auf der Kathode abgeschieden wird, verbindet sich leider mit derselben selbst dann nicht, wenn flüssiges Quecksilber die Oberfläche bildet. Es scheiden sich schwarze feine Theilchen ab, die ohne Zweifel eine allotropische Modification des gewöhnlichen Metalles sind. Die Lösung des Jodcadmiums in gewöhnlichem Alkohol verhält sich ebenso. Das Nähere muss ich einer besondern Mittheilung vorbehalten. Jene Widerstandsröhren benutzte ich von vier verschiedenen Durchmesser, nämlich 4 mm (I), 9,7 mm (II), 17 mm (III), 32 mm (IV). Mit den zugefügten römischen Ziffern sollen sie in der Folge kurz bezeichnet werden. Da stärkere Ströme die Temperatur dieser schlechtleitenden Flüssigkeiten merklich steigern und den Widerstand derselben dadurch vermindern, so befindet sich jede Röhre

1) Pogg. Ann. CVI. p. 554. 1859.

von einem weitem Kühlrohre, dessen Wasser, wenn nöthig, erneuert werden kann, umgeben. Die Widerstände dieser Flüssigkeitssäulen wurden mit Siemens'schen Rollen vermittelst der Wheatstone'schen Brücke verglichen. Bei der Temperatur  $14,6^{\circ}$  C. besaßen  $27\frac{1}{2}$  mm der weitesten Röhre (IV) einen Widerstand von 10,000 S.-E. Wenn später Widerstände durch die eingeschalteten Längen der bezüglichen Flüssigkeitssäulen bezeichnet werden, so lassen sich dieselben mittelst dieser Zahlen leicht auf S.-E. reduciren.

Als Apparat für die Rotation der Spiegel diente mir ein Räderwerk, wie es Feddersen<sup>1)</sup> benutzt hat, welches durch ein fallendes Gewicht in Bewegung gesetzt wird. Eine verticale Axe, an welcher zwei leichte Planspiegel befestigt sind, kann durch dasselbe bis zu 100 Umdrehungen in der Secunde gezwungen werden.

Bei den electricischen Spannungen, welche eine grosse Zahl von Elementen erzeugt, müssen alle Theile des Schliessungsbogens vom Boden sorgfältig isolirt sein. Ich benutzte zur Isolirung meistens Glas, welches auf der Oberfläche mit einer Lackschicht bedeckt war.

Die Apparate waren in folgender Weise aufgestellt. Von einer Wand, welche zwei Zimmer meines Laboratoriums trennt und eine Verbindungsthür enthält, dient die eine Seite zur Aufstellung der 1600 Elemente, welche zwei übereinander liegende Reihen bilden. Die mit den Polen der Kette verbundenen, mit Guttapercha überzogenen Drähte gelangen durch Löcher in der Wand, welche mit Glasröhren ausgefüllt sind, auf die andere Seite derselben. An dieser ist der Arbeitstisch befestigt, auf dem die Mehrzahl der Apparate ihren Platz findet. Das Versuchszimmer enthält zwei auf dem Gewölbe aufgemauerte Steinplatten. Die eine unmittelbar vor dem Arbeitstische ist für das Fernrohr mit Scale, sowie für das Spectrometer und Kathetometer bestimmt; auf der andern in der schon

---

1) Pogg. Ann. CXIII. p. 437. 1861.

oben bemerkten Entfernung steht das Galvanometer. Die Verbindungsdrähte des letztern laufen unter der Decke des Zimmers über längere, in den Wänden befestigte und mit Schellack überzogene Glasröhren bis zu den Klemmschrauben des Rheostaten.

§ 3. Die Glasröhren, welche für die hier zu besprechenden Versuche dienten, besaßen die Taf. IV B Fig. 2 und 3 gezeichneten Formen und Dimensionen. Die Electroden bildeten 2 mm dicke Aluminiumdrähte, welche 45 mm hineinragten und einen gleichen Abstand von 50 mm voneinander im Innern beider Röhren hatten. Das Haarröhrchen der einen war etwa 15 mm lang. Wie bei den Versuchen der ersten Mittheilung schmelze ich die Electroden nicht ein, sondern kittle sie mit feinstem Siegelack. Meine Röhren endigen stets in 4—5 mm weite cylindrische Röhrchen, durch welche der Draht hinausragt, und in welchen er, noch von einem zweiten eng anliegenden Glasröhrchen umgeben, sich findet. Letzteres reicht stets etwas in das weite Rohr hinein. Der flüssige Siegelack umgibt, durch Einsaugen gezwungen, auf einer längern Strecke die äussersten Enden von Draht und Röhrchen und bildet nach dem Erkalten einen ganz dichten, leicht herzustellen und zu lösenden Verschluss. Bei den stärkeren Strömen der Tauchbatterie, welche die Kathode bedeutend erhitzen, ist das entsprechende Endrohr von einem weiten Gefässe mit kaltem Wasser umgeben, welches, wenn der Strom längere Zeit dauert, durch Zu- und Abfluss sich erneuert.

Ich bemerke schon hier, dass man die Electroden von Röhren mit verdünnten Gasen, welche enge Theile, wie jene capillaren, enthalten, nicht direct durch Kupferdrähte mit den Polen der Tauchbatterie verbinden darf. Die Temperaturerhöhung, welche das Gas daselbst bei Benutzung einer grössern Zahl von Elementen erleidet, zersplittert die Glaswand. Durch Einschaltung einer jener Widerstandssäulen und Regulirung der Abstände der Cadmiumplatten kann jede beliebige Abschwächung gewonnen werden.

Obige Glasröhren befanden sich an der Quecksilberpumpe und enthielten Wasserstoffgas, welches den Druck einer Quecksilbersäule von 8 mm Höhe ausübte. Die engste Widerstandssäule (I) war eingeschaltet. Wurde der Abstand der Cadmiumplatten grösser als 150 mm, betrug also der aufgenommene Widerstand mehr als 3,500,000 S.-E., so war der Strom, den 800 Elemente erzeugten, welche der beiden Röhren auch benutzt wurde, discontinuirlich. Im verfinsterten Zimmer zeigten sich die Spiegelbilder, welche das geschichtete positive Licht der Capillarröhren lieferte, durch dunkle Zwischenräume getrennt und nicht wahrnehmbar verbreitert. Die dunkelen Zwischenräume wurden um so grösser, je länger die aufgenommene Säule der Jodcadmiumlösung gewählt war. Ebenso verhielt sich das Licht der weiten Röhre (Taf. IV B Fig. 2), wenn es durch einen engen Spalt auf die Spiegel fiel. Obiger Widerstand, welcher hier den Grenzwert für den Uebergang der discontinuirlichen Entladung in die continuirliche bildet, gilt für beide Röhren. Befanden sich die Cadmiumplatten in kleinerem Abstände, so bildete das reflectirte Licht einen lückenlosen Streifen, wie gross auch die Rotationsgeschwindigkeit der Spiegel wurde.

Der Strom, bei welchem das Licht der Röhren im rotirenden Spiegel stetig erschien, lenkte das von  $2 \times 96$  cm des Rheostatendrahtes abgezweigte Galvanometer 8 mm ab. Seine Intensität betrug also nur  $\frac{1}{3840}$  derjenigen des Maximalstromes der Tauchbatterie von den gegebenen Dimensionen. Der Zusammenhang, in welchem der Grenzwert des Widerstandes und der Stromstärke zur Länge und Dichte der benutzten Gassäule und zur electromotorischen Kraft der Kette steht, kann erst später näher dargelegt werden. Ich bemerke hier nur, dass er nicht sehr variirt, wenn die Spannkraft des Wasserstoffgases innerhalb 8 und 2 mm Quecksilberdruck bleibt. Das angeführte Beispiel soll für jetzt bloss zeigen, dass innerhalb weiter Grenzen die Glimmentladung mit obigen Mitteln stetig gewonnen werden kann.

Dasselbe lehrt auch sogleich, warum Gassiot mit der Regenwasserbatterie keine stetige Glimmentladung erhalten hat. Denn ein einzelnes Element aus destillirtem Wasser, sowie den Metallen amalgamirtes Zink und Kupfer in der Form von Cylindern, welche die Höhe 55 mm und die Durchmesser 35 mm und 19 mm hatten, lenkte mein von derselben Drahtlänge abgezwiegttes Galvanometer, wenn letztere allein den äussern Schliessungsbogen bildete, bloss 9 mm ab. Dieses Element wird, soweit man aus der Abhandlung<sup>1)</sup>, welche die Dimensionen nicht angibt, ersehen kann, den von Gassiot benutzten entsprechen.<sup>2)</sup>

Viel weniger noch ist die Holtz'sche Maschine im Stande, die Glimmentladung stetig zu liefern. Bei dem mir zur Verfügung stehenden, vom Ruhmkorff bezogenen Exemplare besitzt die rotirende Scheibe 55 cm Durchmesser. Sind als metallische Verbindung der Kämme 10 S.-E. aufgenommen, und zweigen die Drähte meines Galvanometers hiervon ab, so erhalte ich bei so rascher Rotation, als ohne Nachtheil für die Scheibe möglich ist, nur eine Ablenkung von 18 mm; wurden 100 S.-E. benutzt, so trat eine solche von 180 mm ein. Der Maximalstrom dieser Quelle beträgt daher nur  $\frac{1}{8}$  des obigen Grenzstromes.

Durch Rosetti's Arbeit<sup>3)</sup> ist festgestellt, dass der Strom der Influenzmaschine dem Ohm'schen Gesetze gerade

1) Phil. Trans. p. 39. 1844.

2) Erst kurz vor der Absendung meines Aufsatzes habe ich in den Fortschritten der Physik vom Jahre 1863 eine kurze Notiz gefunden, wonach Gassiot später mit einer Kette von 3360 Elementen, die aus Zink, Kupfer und gesättigter Kochsalzlösung bestand, die Entladungen in verdünnten Gasen schon continuirlich erhalten hat. Die Originalmittheilung (Proceed. Roy. Soc. XII. p. 329. 1863) findet sich nicht auf unserer Bibliothek und ist mir daher nicht zugänglich geworden. In England selbst scheint diese spätere Angabe Gassiot's ebenfalls unbeachtet geblieben zu sein. Siehe darüber Gerland im Berichte über die wissenschaftl. Apparate der internationalen Ausstellung p. 95. (Vgl. auch Wiedemann, Galvanismus II, 2. § 967.)

3) Pogg. Ann. CLVI. p. 507. 1875.

so folgt, wie derjenige aller andern bekannten Electricitätsquellen. Die Unabhängigkeit der Intensität vom äussern Widerstande, welche Gauss für den Strom der Reibungselektromaschine, Poggendorff für denjenigen der Holtz'schen Maschine angenommen haben, ist nur eine scheinbare und von dem grossen hier bestehenden innern Widerstande bedingt. Als Rosetti hinreichend lange und enge Röhren mit destillirtem Wasser einschaltete, nahm die Stromstärke beträchtlich ab. Dasselbe konnte ich schon durch kürzere Säulen des schlechter leitenden Amylalkohols erzielen. G. Wiedemann hat zu seinen Arbeiten über die electrischen Entladungen in Gasen stets sich des Stromes der Holtz'schen Maschine bedient. Er konnte deshalb die Widerstände seiner Gassäulen und ihre Abhängigkeit von den Dimensionen nicht erkennen, da sie gegen den innern Widerstand so gut wie verschwinden.

Der Oeffnungsinductionsstrom der Ruhmkorff'schen Rolle, mit welchem ich die Resultate meiner ersten Mittheilung erhielt, ist eine viel ergiebigere und günstigere Electricitätsquelle. Jeder Unterbrechungsstrom besitzt nämlich eine nicht unbeträchtliche Dauer und liefert, wenn er das verdünnte Gas der obigen Röhren durchströmt, im rotirenden Spiegel einen ausgedehnten stetigen Streifen. Die in meiner ersten Mittheilung besprochenen Erscheinungen, welche mit dem schwachen Strom der Influenzmaschine zum grossen Theile nicht erhalten werden können, treten auffallender bei Benutzung der galvanischen Kette auf; diese ergiebige aller Electricitätsquellen setzte mich, wie ich erwartet hatte, in den Stand, sie genauer und quantitativ zu verfolgen.

Wie schon bemerkt, gestattete der mir zur Verfügung stehende Apparat nicht, die Zahl der Spiegelrotationen erheblich über 100 in der Secunde zu steigern, ohne die Stabilität der Axe zu gefährden. Dennoch zweifle ich nicht, dass ein beliebig schnell rotirender Spiegel das obige Resultat bestätigen wird. Was mir diese Ueberzeugung gibt, ist zunächst eine Thatsache, die sich stets,

sowie die Entladung discontinuirlich wird, einstellt. Das leuchtende Gas wird alsdann bei der Berührung der Röhre mit der Hand durch die Influenz abgelenkt und in der Gestalt verändert, während es bei der stetigen Entladung ganz indifferent hiergegen bleibt. Bei einiger Erfahrung erkennt man sogleich an dem Lichte, ob der Strom constant und continuirlich ist. Es bleiben dann Zahl und Lage der positiven Schichten sowie der dunkle Raum ganz unverändert. Beim discontinuirlichen Strome wechselt das Aussehen der Röhre vielfach. Der dunkle Raum wird bald grösser, bald kleiner, und häufig schießt das positive Licht bis fast zur Berührung mit der Kathode.

In der discontinuirlichen Gasentladung, welche die Tauchbatterie bei Einschaltung grosser Widerstände liefert, haben wir offenbar die Partialentladungen der geladenen Leiter, welche sich auf beiden Seiten der Gassäule im Schliessungsbogen befinden. In der Zeit, in welcher die einzelne Partialentladung im Gase erfolgt, vermag die electromotorische Kraft der Kette den Verlust der Leiter wegen des geringen Leitungsvermögens der Jodcadmiumlösung nicht zu ersetzen. Vermehrt man die Capacität dieser Leiter, nimmt man insbesondere einen Condensator auf, so muss, wenn das Licht derselben Gassäule wieder einen stetigen Streifen liefern soll, der Widerstand der Jodcadmiumlösung weiter verkleinert werden. Die getrennten Bilder rühren hier von den aufeinander folgenden Entladungsfunken des Condensators her. Das Verhalten desselben ergibt am schlagendsten, wann die Entladung stetig wird, und besitzt in mehrfacher Hinsicht grosses Interesse.

Für diese Versuche diente mir ein Paraffincondensator, wie er von englischen Physikern vielfach in neuerer Zeit benutzt wird. Starkes ungeleimtes Druckpapier, welches vorher, um es von seinem hygroskopischen Wasser zu befreien, über  $200^{\circ}$  C. erhitzt worden war, wurde noch heiss durch geschmolzenes Paraffin gezogen. Je zwei solcher paraffinirter Papierblätter bildeten das Dielectricum zwischen Stanniolstreifen, welche auf einer 42 cm langen und 30 cm

breiten Fläche sich gegenüber lagen und in bekannter Weise abwechselnd nach entgegengesetzter Seite aus ersteren herausragten. Diese hervorragenden Stücke der Stanniolblätter wurden über eine Glasröhre gerollt und durch eine passende metallische Klemmschraube zusammengehalten. Ein einzelnes Papierblatt erwies sich ungenügend, um der Spannung meiner 1600 Elemente zu widerstehen, und wurde von Funken durchlöchert. Die Blätter lagen, stark zusammengedrückt, zwischen zwei Deckplatten.

Die schematische Fig. 4 Taf. IV B gibt die Anordnung der Versuche wieder und ist wohl ohne weitere Erklärung verständlich. Ich habe bloß zu bemerken, dass die vier Kreise *a*, *b*, *c*, *d* gutisolierte Quecksilbernäpfchen bedeuten. Sie lassen sich durch isolierte Kupferdrähte in verschiedener Weise untereinander verbinden und ermöglichen dadurch folgende Combinationen.

Wird *b* mit *d* allein verbunden, so ist der Condensator noch ausgeschlossen. Die Cadmiumplatte der Widerstandsröhre kann jetzt leicht so eingestellt werden, dass das Licht im rotirenden Spiegel eben continuirlich erscheint. Fügt man nun den Verbindungsdraht *dc* hinzu, so ladet sich der Condensator und entladet sich durch die Gassäule; das Licht ist wieder in hohem Grade discontinuirlich. Die Entladungen folgen sich in der Röhre um so langsamer, je grösser die Zahl der Stanniolblätter und je länger die Widerstandssäule ist. Indem man die positive Cadmiumplatte allmählich herabzieht, treten erstere immer schneller hintereinander auf. Bei genügender Verminderung des Widerstandes erscheint plötzlich das Licht im Spiegel wieder stetig.

Bestehen Condensator und Batterie aus einer grössern Zahl von Stanniolblättern und Elementen, so ist das Licht, welches jede Entladung in der Gassäule erzeugt, nicht mehr dasjenige der Glimmentladung, sondern hat das Aussehen, welches durch die Leydener Flasche allbekannt ist. Die Schichtung, der dunkle Raum und das negative Glimmlicht fehlen; eine zusammenhängende Lichtmasse füllt den

Zwischenraum der Electroden ganz aus und endigt auf der Kathode in einzelnen, hellen Metallfünkchen. Wir werden dasselbe später erörtern.

In dem Maasse, als die Verkürzung der Widerstandssäule nur einem immer kleiner werdenden Bruchtheile der Ladung des Condensators Zeit zur Entladung durch das verdünnte Gas lässt, erscheint das charakteristische Licht der Glimmentladung in demselben wieder. Dies gilt natürlich auch für den Grenzfall, wo das Licht stetig geworden ist. Der Condensator entladet sich nun nicht mehr, sondern bleibt mit der Spannungsdifferenz der Electroden des leuchtenden Gases geladen, ganz wie wenn er zwischen den Enden eines metallischen Stromleiters läge. Hiervon überzeugt man sich leicht, indem man die Verbindung *cd* aushebt und diejenige von *ac* herstellt. Ein lebhafter Funke an der Oberfläche des Quecksilbers zeigt dann die eintretende Entladung des Condensators. Die Spannungsdifferenz, welche letzterer behält, nachdem das Licht stetig geworden ist, genügt nicht, um in der Röhre, wenn das Gas seinen gewöhnlichen Zustand besitzt, eine Entladung in demselben zu bewirken. Dies erkennt man, indem man während des stetigen Durchganges des Stromes, wenn die Verbindungen *bd* und *cd* bestehen, zuerst letztere und dann erstere entfernt. Der Schliessungsbogen der Kette wird dadurch vollständig unterbrochen, der Condensator bleibt aber geladen. Stellt man jetzt die Verbindung *bc* her, so entladet sich letzterer nicht durch die Gassäule, welche dunkel bleibt. Würde man die Verbindung *bd* zuerst entfernen, so würde sich natürlich der Condensator auf eine Spannungsdifferenz laden, welche zur Entladung in der Gassäule genügt.

Nicht nur das Auge nimmt den Moment, wo die Entladungen des Condensators aufhören, und der Strom im Gase stetig wird, wahr; auch das Ohr erhält hiervon Kunde. Jede Entladung des Condensators begleitet nämlich ein eigenthümlich trockenes Geräusch, welches in demselben entsteht und um so stärker ist, je grösser die

Electricitätsmenge jeder einzelnen Entladung ist. Bei genügender Verkleinerung des Widerstandes erzeugen die schnell aufeinander in gleichen Intervallen sich folgenden partiellen Entladungen einen Ton, dessen Höhe die Zahl derselben in der Zeiteinheit angibt. Sowie das Licht in der Röhre stetig wird, hört das Tönen des Condensators auf.

Als ich das Tönen des Condensators zum ersten Male beobachtete, glaubte ich einer ganz neuen Thatsache begegnet zu sein. Beim Nachschlagen der Literatur fand ich aber, dass Foucault 1856 und W. Thomson 1863<sup>1)</sup> sie schon bemerkt hatten. Mit Recht hob letzterer dieselbe als schlagenden Beleg für die Richtigkeit der Faraday'schen Auffassung über die Rolle des Dielectricums hervor. G o v i<sup>2)</sup> beobachtete 1866 während der Ladung einer Leydener Flasche eine Vergrößerung ihres innern Volumens, die bei der Entladung sogleich verschwindet. Diese Erscheinung verfolgt gegenwärtig D u t e r<sup>3)</sup> im Laboratorium von Jamin und hat bereits nachgewiesen, dass diese Volumenvergrößerung durch eine Ausdehnung des Glases bedingt ist.

Dass man unter den gewöhnlichen Verhältnissen das Geräusch bei der Leydener Flasche nicht bemerkt, kommt nur davon her, dass der Knall, den der Entladungsfunke in der freien Luft erzeugt, dasselbe verdeckt. Als ich den Paraffincondensator durch drei grosse Leydener Flaschen ersetzte, tönten dieselben deutlich.

Ich habe bis jetzt dieser Veränderung des Dielectricums des Ansammlungsapparates nur nebenbei meine Aufmerksamkeit zuwenden können. Es fiel mir auf, dass bei der obigen Anordnung das Geräusch nur die Entladung des Condensators begleitet und bei der Ladung desselben fehlt. Die Ursache hiervon erkannte ich bald in dem Umstande, dass im erstern Falle die Veränderung im Dielectricum rasch verläuft, indem im Schliessungsbogen kein solcher

---

1) Reprint of papers. p. 263. 1872.

2) Compt. rend. LXXXVII. p. 857. 1878.

3) Compt. rend. LXXXVII. p. 828. 1878.

Widerstand wie die Jodcadmiumlösung sich findet. Als ich zwischen die Näpfchen *bd* die weiteste Röhre (IV) einschaltete, konnte ich das Geräusch bei der Entladung beliebig schwächer und bald unhörbar machen, indem ich den Abstand der Cadmiumplatten vergrösserte. Dasselbe Geräusch stellt sich auch bei der Ladung des Condensators ein, wenn der aufgenommene Widerstand hinreichend klein gemacht wird.

Erwähnung verdient noch die Veränderung, welche bei rasch aufeinander folgenden partiellen Entladungen des Condensators der Ton jedesmal erfährt, wenn man die Glaswand des leuchtenden Gases von aussen mit der Hand berührt. Die Störung, welche durch die Influenzwirkung herbeigeführt und vom Auge an dem veränderten Aussehen des geschichteten Lichtes erkannt wird, macht sich auf diese Weise auch für das Ohr geltend.

Wenn man bei derselben Zahl von Elementen für einen gegebenen Condensator die Länge der Widerstandssäule, bei welcher er geladen bleibt, mehrmals hintereinander aufsucht, so erkennt man bald, dass dieselbe nicht genau in dieser Weise bestimmbar ist und nicht unbeträchtlich variirt. Ist der Strom stetig geworden, so lässt sich, vorausgesetzt, dass keine Unterbrechung desselben eintritt, die Jodcadmiumlösung wieder bedeutend verlängern, ohne dass die Stetigkeit des Lichtes aufhört, und das Geräusch beginnt. Der Strom wird selbstverständlich dadurch bedeutend geschwächt, und die Intensität des Leuchtens verringert. Aber der Condensator bleibt geladen, bis plötzlich, wenn der Widerstand eine gewisse Grösse erreicht, seine Entladungen mit dem oben beschriebenen Geräusche erfolgen. Sollen dieselben wieder aufhören, und soll der Strom jetzt wieder stetig werden, so muss man die Widerstandssäule, wie das erste Mal, bedeutend verkürzen.

Um den äussersten Grenzwert des Widerstandes, bei welchem der Condensator nicht mehr geladen bleibt, zu erhalten, muss man daher den Strom in der angegebenen

Weise erst stetig werden lassen und dann langsam die bewegliche Cadmiumplatte der Jodcadmiumlösung so lange zurückschieben, bis das Geräusch und die Discontinuität des Lichtes eintreten.

Dieser letztere Grenzwert ist für dieselbe Gassäule in erster Linie von der electromotorischen Kraft der Kette abhängig. Verhältnissmässig wenig wird er von der Capacität des Condensators beeinflusst. Als die Zahl der Stanniolblätter von 2 auf 48 allmählich vermehrt wurde, und 1000 Elemente die Kette bildeten, konnte ich bei vorsichtigem, langsamem Zurückschieben der Cadmiumplatte die Jodcadmiumlösung (III) bis gegen 800 mm verlängern, ehe die Stetigkeit des Stromes im Gase aufhörte. Bestand der Condensator aus 100 Stanniolblättern, der grössten Zahl, über welche ich verfügte, so liess sich die Widerstandssäule bis gegen 600 mm verlängern. Bei diesen grösseren Capacitäten erfolgen die einzelnen Entladungen, wenn der Widerstand jene Grösse überschreitet, in sehr langsamem Tempo, jede von jenem Geräusche, dass hier den Eindruck eines nicht unkräftigen Stosses macht, begleitet.

Das Gas war bei diesen Condensatorversuchen Wasserstoffgas von 5 mm Spannkraft und befand sich in einer 8 mm weiten cylindrischen Glasröhre von der Gestalt, wie Taf. IV B Fig. 5 sie wiedergibt. Die Kathode bildete eine 30 mm lange, dünnwandige eiserne Röhre von 3 mm Durchmesser, welche an einem von einem Glasröhrchen umgebenen und herausragenden Drahte befestigt war. Als Anode diente eine Aluminiumscheibe, welche im Abstände von 68 mm an dem andern, ebengeblasenen Ende der Röhre aufgestellt war. Ihr Verbindungsdraht ging durch ein Haarröhrchen, an welches ein anderes, mit einem kleinsten Geissler'schen Hähnchen versehenes angeschmolzen war. Letzteres vermittelte die Verdünnung und Füllung durch die Quecksilberpumpe.

Das beschriebene merkwürdige Verhalten des Condensators ist dadurch bedingt, dass seine Ladung trotz der

grossen Veränderungen, welche die Intensität des Stromes, der die Gassäule durchfliesst, durch die Verschiebung der Cadmiumplatte in der Widerstandsröhre erleidet, so gut wie constant bleibt. Auf diese Thatsache wird man beim Entladen des Condensators aufmerksam. Wird nämlich, während der stetige Strom in der Gassäule besteht, der Verbindungsdraht aus den Nöpfchen *cd* ausgehoben und in die Nöpfchen *ac* eingelegt, so nimmt man an dem Entladungsfunken des Condensators, der auf der Oberfläche des Quecksilbers entsteht, keinen Unterschied in der Stärke wahr, wie verschieden auch die Intensität des Stromes war. Ich habe genauer diese Beziehung festgestellt, indem ich die Ladung des Condensators durch das Galvanometer leitete und den ersten Ausschlag des Magneten beobachtete. Zu dem Ende waren neben den vier isolirten Quecksilbernöpfchen *abcd* noch zwei solche *fg* aufgestellt und unter sich durch einen leitenden Bogen verbunden, welcher die ganze Länge der engsten Widerstandssäule (I), sowie einen langen, über Glasröhren ausgespannten Neusilberdraht enthielt. Von letzterem zweigte der Draht eines Spiegelgalvanometers ab. Die Gassäule bestand aus Wasserstoff von 3 mm Spannkraft; sie war in der Glasröhre (Taf. IV B Fig. 5) enthalten und durch das Glashähnchen stets abgeschlossen. Wenn das Licht der Glimmentladung stetig war, und der Condensator nicht tönte, wurde der Verbindungsdraht *cd* ausgehoben. Zwei an derselben Glasröhre befestigte und voneinander isolirte Drähte stellten unmittelbar darauf die Verbindungen der Nöpfchen *af* und *cg* her und bewirkten die Entladung des Condensators durch den vorher beschriebenen Schliessungsbogen. In der folgenden Tabelle sind die Resultate übersichtlich zusammengestellt. Der Condensator bestand aus 12 Stanniolblättern. 1200 Elemente wurden benutzt, deren Zinkstäbe durch den Gebrauch sehr kurz geworden waren.

Länge der eingeschalteten Widerstandssäule (III)	Ablenkung des von 2 × 50 cm Rheostaten-draht abgezeigten Galvanometers	Erster Ausschlag von der Ladung des Condensators	Das Glimmlicht bedeckte die Kathode auf der Länge:
30 mm	510 mm	100 mm	30 mm (ganz)
132 „	122 „	98 „	25 „
350 „	46,5 „	88 „	10 „
730 „	21,5 „	84 „	5 „

Während die Intensität des Stromes in der Gassäule zwischen 1 und 24 variierte, blieb die Stärke der Ladung des Condensators zwischen 84 und 100. Die Ausschläge, welche dieselbe gibt, würden ganz constant sich gezeigt haben, wenn die Länge der Gassäule, welche an der Fortpflanzung des Stromes sich beteiligt, unverändert geblieben wäre. Dieses ist aber nicht der Fall gewesen. Das negative Glimmlicht bedeckte bei den starken Strömen die ganze Länge der eisernen Röhre und nahm, wie die letzte Columnne angibt, mit der Intensität des Stromes in der Ausdehnung stetig ab. Wir kommen darauf später, wenn wir das Wesen des negativen Glimmlichtes im Zusammenhange besprechen, zurück.

Wenn die Gassäule durch einen metallischen oder electrolytischen Leiter in obiger Versuchsreihe ersetzt wird, erscheint die Spannungsdifferenz seiner Enden, und daher die Grösse der Ladung des Condensators, bekanntlich proportional der Stromstärke. Das Leitungsvermögen der Gassäule kann daher nicht, wie dasjenige jener Leiter, constant gewesen sein, es muss, da die Spannungsdifferenz constant geblieben, proportional mit der Stromstärke sich geändert haben. Diese für die Gasleitung fundamentale Beziehung werden wir direct im § 9 nachweisen und in ihrer Bedeutung würdigen.

Bei diesen Bestimmungen und bei allen Messungen, welche über die Leitungsverhältnisse der Gase angestellt werden, muss man auf eine Fehlerquelle aufmerksam sein, welche vollständig zu entfernen, mir bis jetzt noch nicht gelungen ist. Alle Metalle, und ganz besonders das Aluminium, welches, als schwerflüchtigstes, erst bei sehr starken

Strömen durch die heisse Schicht des Glimmlichtes verdampft und daher zur Kathode so gut sich eignet, enthalten Gase occludirt. Dieselben bestehen, wie die Arbeiten Graham's und H. Deville's zuerst gelehrt, vorzugsweise aus Wasserstoff und Kohlenoxyd. Sie werden jedesmal in den Spectralröhren mit metallischen Electroden in grösserer oder geringerer Menge frei, wenn die Kathode durch den Strom sich erhitzt, und bedingen die Linien des ersten Gases und die sogenannten Felder des zweiten, welche sich in dem Spectrum jedes Gases, wie rein dasselbe auch ursprünglich war, einstellen. Es ist nicht der Wassergehalt des Gases oder die Fettsubstanz der Stöpsel die Ursache dieser allbekannten Thatsache, wie man vor der Arbeit von Graham angenommen hat. Ich habe schon viel Zeit und Mühe darauf verwendet, für diese Untersuchung gasfreie Electroden herzustellen, und werde diese Studien noch fortsetzen, da die Genauigkeit der Messungen so wesentlich hiervon abhängig ist. Auf dem Wege Graham's, welcher die Metalle längere Zeit bei mässiger Glühhitze im Vacuum erhielt, ist mir dies bis jetzt, wie auch anderen Physikern<sup>1)</sup>, nicht vollständig gelungen. Für unsere Zwecke ist eigentlich ein metallischer Leiter, welcher absolut unfähig ist, Gase zu occludiren, nöthig. Metalle, welche ganz von Gasen befreit sind, genügen, solange sie jene Fähigkeit besitzen, dem hier bestehenden Bedürfnisse nicht vollständig, indem sie, je nach der Temperatur, welche sie als Kathoden durch den Strom erhalten, bald Gas der Röhre entziehen, bald wieder an dieselbe abgeben, und so die Masse des Gases, die constant bleiben soll, verändern.

Bei jeder quantitativen Bestimmung muss man sich überzeugen, wie weit letzteres stattgefunden hat. Zu dem Ende wurden bei allen Messungen die Glasröhren von der Form Taf. IV B Fig. 5 mit dem Haarröhrchen auf eine Barometerröhre gekittet, neben welcher eine zweite, gleich-

---

1) vgl. Beetz, Wied. Ann. V. p. 4. 1878.

weite sich befand. (Siehe Taf. IV B Fig. 6.) Beide Barometer stehen in derselben, Quecksilber enthaltenden und mit einem Abflusshahne versehenen Glasschale und communiciren durch Haarröhrchen und Glashähnchen mit der Quecksilberpumpe. Werden die Hähnchen geschlossen, nachdem überall dieselbe Spannkraft des Gases hergestellt ist, so kann man controliren, ob der Strom occludirte Gase aus der Kathode frei gemacht hat. Ist es der Fall gewesen, so wird, nachdem derselbe unterbrochen, und die Röhre erkaltet ist, beim Oeffnen des bezüglichen Hähnchens der Stand des Quecksilbers in dem betreffenden Barometer unter denjenigen des andern sinken.

Bis jetzt habe ich den grossen Uebelstand einigermaßen dadurch zu entfernen vermocht, dass ich vor der eigentlichen Bestimmung einen viel stärkern Strom, als denjenigen, den ich anzuwenden beabsichtigte, einige Zeit hindurchgehen liess, dadurch die Kathode stärker, wie später, erhitze und einen Theil ihrer occludirten Gase frei machte. Dann wurde die Röhre vollständig ausgepumpt, wieder mit dem Gase gefüllt und der eigentliche Versuch mit dem schwächeren Strome angestellt. Das Resultat der Messung betrachtete ich nur dann als brauchbar, wenn das Gas nach derselben seine Spannkraft unverändert behalten hatte. War es nicht der Fall, so wurde der Versuch in der angegebenen Weise wiederholt.

In der letzten Zeit habe ich es vortheilhaft gefunden, die Kathode aus einer dünnwandigen Metallröhre zu bilden, wie schon oben angegeben ist, indem sich hier besser occludirte Gase durch starke Ströme entfernen lassen.

§ 4. Nachdem durch die Versuche des vorigen Paragraphen dargelegt ist, dass der Blitz durch unsere ergiebigste Electricitätsquelle, den chemischen Process, stetig erhalten werden kann, sind für das experimentelle Studium der Leitung der Gase diejenigen günstigen Bedingungen gewonnen, welche Carlisle und Nicholson mit dem Beginne dieses Jahrhunderts bezüglich der Electrolyse durch die Beobachtung der Wasserzersetzung im Kreise

der Volta'schen Säule herstellten. Den Physikern des vorigen Jahrhunderts, welche nur über die ärmste Quelle der Electricität, die Reibung, verfügten, blieb an den schwachen, discontinuirlichen chemischen Wirkungen derselben, trotzdem dass van Marum sie mit seiner grossen Electrisirmaschine studirte, das an den Polen gesonderte Auftreten der Bestandtheile des Electrolyten vollständig verborgen. In ähnlicher Weise liessen bis jetzt Electrisirmaschine und Inductionsrolle in ihren Strömen den so grundverschiedenen Charakter der Licht- und Wärmerscheinungen, welche bei der Glimmentladung an den beiden Electroden stattfinden, nicht genügend erkennen. Er tritt uns dagegen sogleich bei Benutzung der stetigen Entladungen der galvanischen Kette entgegen. Wenn nämlich der eingeschaltete Widerstand noch gross, das Licht aber bereits continuirlich ist, so erwärmt dasselbe bei beliebiger Dauer, auch wenn es den Durchmesser der Röhre ganz füllt, selbst in den capillaren Theilen, das Glas so wenig, dass die Hand die Temperaturerhöhung ohne Beschwerden ertragen kann. Die Intensität des stetigen Lichtes erscheint in weiteren Röhren da, wo die leuchtenden Gastheilchen die Glaswand unmittelbar berühren, ebenso gross wie in der Mitte. Dasselbe gilt für die Oberfläche der Anode, wie gut auch ihr Metall die Wärme leitet. Und doch müsste die starke Abkühlung beträchtliche Unterschiede erzeugen, wenn das positive Licht an eine hohe Temperatur gebunden wäre. Die innere Oberfläche des Glases im capillaren Theile wird von dem hellleuchtenden Wasserstoffe erst angegriffen, gelbe Färbung durch Natriumdampf und schwarze Flecken reducirten Siliciums treten hier erst auf, wenn die Stärke des Stromes seinen Grenzwert, bei welchem er stetig wird, mehr als hundertmal überschreitet. Dann wird aber auch das Glas bei kurzer Dauer des Stromes so heiss, dass es zersplittert, und nur momentan darf derselbe hindurchgelassen werden. Ganz anders verhält sich, wie wir später sehen werden, die Schicht des Gases, welche in dem negativen Glimm-

lichte die Kathode unmittelbar umgibt, und welche trotz ihrer hohen Temperatur gewöhnlich dunkel erscheint.

Bezüglich des Charakters des positiven Lichtes bei der Glimmentladung kann kein Zweifel bestehen bleiben, wenn man in der Fig. 5. Taf. IV B abgebildeten, 8 mm weiten cylindrischen Glasröhre, während sie in der am Schlusse des vorigen Paragraphen angegebenen Weise auf dem Barometerrohre befestigt ist, den Strom durch das verdünnte Gas leitet. Durch Einschaltung eines geeigneten Widerstandes kann man letztern leicht so wählen, dass er stetig ist und das Leuchten auf dem ganzen Querschnitte gleichmässig erzeugt. Bestehen beide Electroden aus Metallscheiben, und legen sie sich dicht gegen die eben geblasenen Wände an, so wird der ganze Gasinhalt, mit Ausnahme des dunkeln Raumes vor der Kathode, leuchtend. Man kann, wenn das eine Hähnchen offen, das andere geschlossen bleibt, wie an einem Luftthermometer die Temperatur während des stetigen Durchganges des Stromes mittelst des Kathetometers aus der Aenderung der Spannkraft an der Höhe der Quecksilbersäule erkennen. Gibt die Kathode kein Gas ab, so sind bereits stärkere Ströme nöthig, um hier eine deutliche Depression des Quecksilbers zu bewirken. Letztere rührt zum Theil noch von der hohen Temperatur der dunkeln Schicht des negativen Glimmlichtes, wie später erörtert werden wird, her. Die Temperatur der Gastheilchen, welche positives Licht ausstrahlen, ist hier bei den stetigen Strömen nicht viel von derjenigen der innern Glasoberfläche verschieden. Sie entspricht ganz dem bekannten Verhalten der Gase, welche durch ihre geringe Masse und bei der grossen Beweglichkeit ihrer Theilchen bei Berührung mit festen Körpern rasch den Wärmezustand letzterer annehmen. Ich habe manchmal feinste Streifen dünnsten Papiers lange Zeit in das positive Licht weiterer Röhren aufgehängt und nicht die geringste Spur von Verkohlungs bemerkten können.

Es war daher ein grosser Irrthum, in welchen Plücker und ich bei unserer gemeinschaftlichen Arbeit über die doppelten Spectra der Gase<sup>1)</sup> geriethen, als wir den Gastheilchen, welche Spectra der ersten Ordnung geben, sehr hohe Temperaturen vindicirten, welche diejenigen unserer heissesten Flammen meist übersteigen sollten. Dieser Irrthum entsprang wesentlich dem Umstande, dass nur bei den heissesten Flammen eine kleine Zahl von Spectren sich fand, welche mit electricen Spectren der ersten Ordnung identisch waren. Dieses ist, wie in jenem Aufsätze angegeben und von Salet<sup>2)</sup> und anderen später bestätigt wurde, für Schwefeldampf der Fall. Sein electrices Spectrum erster Ordnung fällt mit demjenigen, welches seine mit Sauerstoff gespeiste Flamme gibt, zusammen. Die in der Luft brennende Schwefelflamme liefert nur ein schwaches, continuirliches Spectrum. Dasselbe fanden wir beim Selen. Ebenso geben die Kohlenstoff enthaltenden Gase in der Spectralröhre dieselben Liniengruppen, welche in ihren Flammen erscheinen und insbesondere bei Speisung derselben mit reinem Sauerstoff so hell auftreten. Als wir nun das Stickstoffspectrum erster Ordnung bei keiner in Luft brennenden Flamme und ebenso wenig in der mit Sauerstoff gespeisten Cyanflamme fanden, als wir ferner die charakteristischen Linien des Wasserstoffes, welche umgekehrt unter den wichtigsten dunkeln Fraunhofer'schen Linien bereits erkannt waren, in der Knallgasflamme vergebens gesucht, zogen wir den irrigen Schluss, dass für diese electricen Spectra höhere Temperaturen, welche nur die electriche Entladung erzeuge, nöthig wären.

In den zahlreichen Arbeiten, welche seitdem über die electricen Spectra mit Hülfe der Inductionsrolle ausgeführt sind, wird von den Autoren, so weit ich die Literatur kenne, bis in die neueste Zeit unserem Schlusse zugestimmt. Nur Kirchhoff hatte in seinem classischen

1) Phil. Trans. p. 1. 1865.

2) Ann. de chim. et phys. (4) XXVIII. p. 1.

Aufsätze<sup>1)</sup> die richtige Auffassung angedeutet. Es heisst daselbst p. 276:

„Ein jeder Körper sendet Strahlen aus, deren Qualität und Intensität von seiner Natur und seiner Temperatur abhängig sind. Zu diesen können unter gewissen Umständen noch andere Strahlen hinzukommen; es findet das z. B. statt, wenn der Körper bis zu einem genügenden Grade electricirt ist, oder wenn er phosphorescirt oder fluorescirt. Solche Fälle sollen hier ausgeschlossen sein. Wird der Körper von aussen her von Strahlen getroffen, so absorbirt er einen Theil derselben und verwandelt ihn in Wärme. Zu dieser Absorption kann unter gewissen Verhältnissen noch eine andere kommen, was z. B. geschieht, wenn der Körper ein Lichtsauer ist, oder wenn er fluorescirt. Es wird hier vorausgesetzt, dass alle absorbirten Strahlen in Wärme verwandelt werden.“

Und p. 295: „Die Spectren, welche andere Salze, wenn sie in die Flamme gebracht werden, hervorrufen, sind meistens weniger einfach und bieten selten Linien dar, die so hell als die Lithiumlinie sind. Alle diese Spectra muss man aber auf ähnliche Weise umkehren können; gibt man der Flamme die hinreichende Dicke und lässt Licht von genügender Intensität durch sie hindurch gehen, so müssen die vorher hellen Linien in dunkle übergehen. Eine Ausnahme könnte nur eintreten bei einer Flamme, bei der ein Theil des Lichtes unmittelbar durch chemischen Process hervorgerufen würde, oder bei einer Flamme, die fluorescirt. Die Versuche müssen entscheiden, ob es solche Flammen gibt.“

Erst in den letzten Monaten wurden bezüglich der hohen Temperaturen der leuchtenden Gase Zweifel geäussert. So bespricht Spörer im Novemberhefte der Monatsberichte der Berliner Academie eigenthümliche Formen der Protuberanzen, welche von dem Sonnenkörper durch dunkle Räume getrennt bleiben, und vindicirt dem

1) Pogg. Ann. CIX. p. 275. 1860.

chemischen Prozesse den Ursprung ihres Lichtes. Ferner kommt E. Wiedemann im Februarhefte der *Annalen* infolge von Messungen der Wärme, welche der Inductionsstrom in einer capillaren Röhre erzeugte, unter Berücksichtigung einer von seinem Vater gefundenen und § 9 zu besprechenden Beziehung zu dem Schlusse, dass die Gastheilchen, welche in den 3 cm weiten Theilen der von ihm benutzten Röhre gleichmässig leuchteten, Temperaturen unter  $60^{\circ}$  C. gehabt haben mussten. Der letztgenannte Aufsatz zwang mich, meine ausgedehnten Beobachtungen und Messungen, die ich gern noch vervollkommen hätte, zusammenzustellen und zu veröffentlichen. —

Die stetigen Ströme, welche die galvanische Kette in den Gasen hervorzubringen gestattet, lassen keinen Zweifel, dass den Spectren der ersten Ordnung der Charakter des Phosphorescenzlichtes zukommt. Alle nichtmetallischen Gase, sie mögen elementare oder Verbindungen sein, lassen sich wahrscheinlich durch den electricischen Strom in den phosphorescirenden Zustand versetzen und besitzen daher ein Spectrum erster Ordnung. Dasselbe ist bei manchen nur ein continuirliches und daher nicht charakteristisch. Die galvanische Kette ist die günstigste Electricitätsquelle, um diese Spectren zu gewinnen und genau zu studiren; denn hier lässt sich electromotorische Kraft wie Widerstand beliebig variiren. Die von Plücker und mir früher mit Hilfe des Inductionsstromes ausgeführte Spectraluntersuchung bedarf einer Ergänzung unter Anwendung der galvanischen Kette, welche ich einer besondern Mittheilung vorbehalte. Hier beschränke ich mich auf die Erörterung der Phosphorescenzspectra zweier der wichtigsten Gase, des Stickstoffes und des Wasserstoffes, welche als Beispiele dienen mögen.

Eine hübsche Erscheinung bildet die allmähliche Verstärkung des positiven Lichtes und seines Spectrums, wie sie sich in den Spectralröhren (Taf. IV B Fig. 3) einstellt, wenn man bei hinreichender Zahl von Elementen die Länge der eingeschalteten Säule Jodcadmiumlösung stetig ver-

mindert. Bildet Luft oder Stickstoff den Inhalt der Röhre, so werden die zahlreichen feinen Linien des wohlbekannten Spectrums erster Ordnung immer deutlicher und in ihren Einzelheiten bestimmter. Die Gesamtfarbe des leuchtenden Gasfadens geht immer mehr in weiss über. Die Stromdichte bedingt die Helligkeit, welche daher um so grösser erscheint, je enger der Querschnitt der Röhre ist. Wird kein Widerstand neben der Gassäule aufgenommen und eine grössere Zahl von Elementen benutzt, so ist, wie schon oben bemerkt, in einer Capillarröhre die gleichzeitig eintretende Erhitzung so stark, dass dieselbe wenige Augenblicke nach dem Schlusse der Kette in zahllose feine Risse zersplittert. Liess man aber den Strom nur einen Moment dauern, schaltete man ein Quecksilbernäpfchen in die Bahn und stellte durch rasches Eintauchen und Ausheben des Verbindungsdrahtes Discontinuität her, so gelang es, das lichtstärkste Spectrum, welches meine Tauchbatterie liefern kann, zu beobachten. Es war selbst bei Benutzung einer Capillarröhre von nur  $\frac{1}{2}$  mm Durchmesser immer noch dasjenige der ersten Ordnung. Keine Linie des Spectrums zweiter Ordnung trat auf. Um letzteres zu erhalten, ist der Condensator hier unentbehrlich.

Von grösserem Interesse sind die Modificationen, welche in dem Spectrum des Wasserstoffes je nach der Stromdichte auftreten. Bringt man vor den Spalt ein weiteres Röhrchen (4—9 mm), so erhält man bei Spannkraften von 2—8 mm, sobald der eingeschaltete Widerstand gross ist, ein Spectrum, welches nur eine grüne Linie ganz schwach zeigt. Gewöhnlich gesellen sich dazu Felder des Kohlenoxydes, welches den Electroden entstammt. Indem man den Widerstand vermindert, kommen zur grünen Linie, deren Intensität zunimmt, zuerst zwei gelbe Linien, welche etwa den dreifachen Abstand der Natriumlinien voneinander haben; die genaue Charakterisirung durch die Wellenlänge muss ich der spätern Mittheilung vorbehalten. Sinkt der Widerstand noch weiter, so erscheinen die zahlreichen scharfen Linien im rothen und gelben Theile des Spectrums, auf

die wir bereits in unserer Mittheilung 1865 aufmerksam gemacht, von denen wir aber keine Zeichnung gegeben haben. Diese ist später von Wüllner<sup>1)</sup> geliefert worden. Nach einer Anzeige<sup>2)</sup> haben Paalzow und H. W. Vogel dieses Spectrum photographisch aufgenommen. Es bedarf jetzt nur noch einer kleinen Verstärkung des Stromes, um auch  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  neben jenen Linien zu erhalten.

Dieses vollständige Phosphorescenzspectrum des Wasserstoffes trat in einer 9 mm weiten Röhre und bei einer Spannkraft von 4—5 mm erst auf, als die Ablenkung, welche der Strom an dem von  $2 \times 10$  cm Rheostatdraht abgezweigten Galvanometer bewirkte, gegen 100 mm betrug. Je enger die Röhre, je geringer die Dichte des Gases, mit desto schwächerem Strome erhält man es. Dasselbe Spectrum besteht auch noch in Capillarröhren, wenn die Widerstandssäule ganz ausgeschaltet und der Strom, um die Zersplitterung zu verhüten, discontinuirlich gemacht ist. Nur übertreffen dann  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  bereits an Intensität bedeutend die übrigen Linien. Letztere verschwinden und erstere erbreitern erst, wenn der Condensator hinzugefügt wird.

Mit dem Phosphorescenzcharakter jener Spectren steht im Einklange, dass sich die hellen Linien, obgleich ihr Licht stetig ist, nicht umkehren lassen. Hiervon habe ich mich an einer 4 mm weiten, 3 cm langen leuchtenden Wasserstoffsäule überzeugt. Die Glasröhre, welche sie enthielt, war an beiden Enden mit parallelen Glasplatten versehen und hatte ihre Electroden in zwei seitlich angeschmolzenen Tubulus. Während Ströme sehr verschiedener Intensität das Gas leuchtend machten, wurde das Licht verschieden stark glühender fester Körper in bekannter Weise hindurchgesandt. Die Umkehrung der vier Wasserstofflinien  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  und  $h$ , wie sie in der Sonne stattfindet, wird wahrscheinlich erst in der hohen Temperatur, welche die tieferen Schichten der Sonnenatmosphäre be-

1) Lehrbuch II. Taf. IV.

2) Ber. d. deutsch. chem. Ges. XII. p. 334. 1879.

sitzen, möglich werden. Es ist gewiss sehr beachtenswerth, dass beim Wasserstoffe Linien, welche bereits im Phosphorescenzspectrum enthalten sind, auch bei Temperaturen, in denen das Gas selbständig leuchtet, auftreten, während beim Stickstoffe andere, ganz neue Linien erscheinen. Ich gedenke darauf näher in der besondern Mittheilung einzugehen.

§ 5. Als Quellen der Phosphorescenz, des Leuchtens bei niederer Temperatur, waren bis jetzt die Reibung, der chemische Process und die Bestrahlung bekannt und benutzt. Dass die Reibung Phosphorescenzlicht erzeugen kann, und nicht bloß durch eine über die Glühhitze reichende Temperaturerhöhung Leuchten bewirkt, lehren solche Stoffe, welche die Glühhitze ohne chemische Zersetzung nicht annehmen. So bleiben bekanntlich Rohrzucker und eine Menge andere organische Verbindungen auf den geriebenen Stellen einige Zeit mit schwachem Lichte, das nur im Dunkeln erkennbar ist, bedeckt. Ein anderes Beispiel geben die gewässerten Krystalle des salpetersauren Uranyls ( $\text{NO}_3(\text{UrO}) + 3\text{H}_2\text{O}$ ) ab, welche beim Zerstoßen lebhaft im Dunkeln leuchten, aber nach Entfernung des Krystallwassers durch mässiges Erwärmen kein Licht mehr entwickeln.

Leuchten bei niederer Temperatur durch den chemischen Process ist bei der langsamen Verbrennung des Phosphors schon lange beobachtet und hat die übliche Nomenclatur veranlasst. Die langsame Oxydation bewirkt bei vielen organischen Verbindungen, beim Schwefel, Kalium, Natrium u. a. eine ähnliche schwache Lichtentwicklung. Ohne Zweifel rührt die Phosphorescenz, welche gewisse Thiere und Pflanzen zeigen, von demselben Vorgange her.

Die Bestrahlung wurde bis jetzt am meisten als Mittel, Phosphorescenzlicht zu erhalten, benutzt. Ihr verdanken wir hauptsächlich unser heutiges Wissen. Sie bewirkt bei den festen Körpern ausserdem noch eine eigenthümliche bleibende Veränderung der getroffenen Molecüle, welche darin sich kundgibt, dass das Nachleuchten, wenn es bei

constant bleibender Temperatur vollständig aufgehört hat, beim Erwärmen kürzere oder längere Zeit hindurch wieder auftritt. Nachdem die Körper dann erloschen und im Dunkeln erkaltet sind, erfolgt bei nochmaliger Erwärmung bis zur nämlichen Temperatur die Phosphorescenz nicht wieder. Soll es der Fall sein, so müssen sie einer neuen Bestrahlung unterworfen werden. Die Erwärmung wirkt daher secundär; sie darf nicht zu den primären Quellen der Phosphorescenz gerechnet werden. Diese Auffassung wird auch von Kirchhoff getheilt, indem er p. 38 seiner Untersuchungen über das Sonnenspectrum<sup>1)</sup> sich also äussert:

„Draper hat aus Versuchen den Schluss gezogen, dass alle festen Körper bei derselben Temperatur zu glühen beginnen. Bei seinen Versuchen hat er aber bemerkt, dass gewisse Körper, wie Kalk, Marmor, Flussspath schon bei einer niedrigeren Temperatur leuchteten, als wie sie nach diesem Satze hätten thun sollen; er nennt dieses Leuchten Phosphoresciren und sagt, dass es durch die Farbe deutlich von dem Glühen sich unterscheide. Welchen Namen man auch diesem Leuchten geben möge, so ist es im Widerspruche mit dem Satze § 3, und ein Körper, der es zeigt, muss daher der Voraussetzung nicht genügen, die beim Beweise dieses Satzes gemacht ist, er muss bei gleichbleibender Temperatur nicht unverändert bleiben; das Phosphoresciren ist nicht eine reine Wirkung der Wärme, ist nicht ausschliesslich durch die Temperatur bedingt, sondern wird durch Veränderungen in dem Körper hervorgebracht; haben diese Veränderungen, mögen sie chemische oder von anderer Natur sein, aufgehört, so muss auch die Phosphorescenz verschwunden sein.“

Erwärmt man die Molecüle während der Bestrahlung, so tritt das Leuchten bedeutend stärker auf. Davon habe ich mich bei den besten Phosphoren, den Schwefelverbindungen der Metalle der alkalischen Erden, überzeugt, indem ich sie gepulvert im dunkeln Zimmer auf ein horizontales dünnes Platinblech streute, welches durch einen

1) Abhandlungen der Berliner Akademie. 1861.

galvanischen Strom erhitzt werden konnte. Fiel gewöhnliches Tageslicht, das durch zwei mit Braunstein und Kobalt gefärbte, aufeinandergelegte Glasscheiben gegangen war und dadurch die weniger brechbaren Strahlen verloren hatte, auf das Pulver, so wurde das gelbe Phosphorescenzlicht desselben jedesmal beim Schliessen des Stromes lebhafter. Das verstärkte Leuchten hörte bald auf, wenn die Temperaturerhöhung constant geworden war. Wurde letztere für das Pulver bis zum anfangenden Glühen gesteigert, so verschwand das Phosphorescenzlicht ganz.

Die Unterscheidung zwischen Phosphorescenz und Fluorescenz, welche Stokes gemacht, und welche wesentlich auf der Annahme basirt, dass letztere nur während der Bestrahlung bestehe und ohne Nachdauer sei, ist gleichzeitig mit dieser Annahme durch die Untersuchung von E. Becquerel unhaltbar geworden. Mittelst seines Phosphoroskops konnte bekanntlich letzterer bei vielen fluorescirenden Stoffen eine merkliche Nachdauer des Leuchtens feststellen.

Die genannten drei Mittel erzeugen das Leuchten bei niederer Temperatur so schwach, dass zur Wahrnehmung gewöhnlich ein dunkles Zimmer nöthig wird. Aus diesem Umstande war bei mir früher die Meinung entstanden, dass Phosphorescenzlicht überhaupt nicht mit einer Intensität auftreten könne, wie sie das Leuchten der Molecüle bei sehr hoher Temperatur so leicht annimmt. Das negative Glimmlicht hat mir zuerst gezeigt, dass diese Auffassung eine irrige ist. Geissler lieferte seit langer Zeit Glasröhren mit verdünnten Gasen und eingeschmolzenen Drähten, welche Schwefelverbindungen der alkalischen Erdmetalle, hauptsächlich Schwefelcalcium, als Pulver oder in kleinen Stücken enthalten. Durch den Inductionsstrom werden diese Phosphore zum Leuchten, das lange nachdauert, gebracht. Wenn das Pulver auf der ganzen Länge der Röhre vertheilt ist und daher sowohl vom positiven wie negativen Lichte berührt wird, so nimmt man eine stärkere Phosphorescenz bei den Theilchen wahr, welche

von letzterem getroffen werden. Dieser Unterschied wird bedeutend grösser, wenn man Glimmlicht, welches ein kräftiger Inductionsstrom in stark verdünnten Gasen an einer Kathode mit kleiner Oberfläche erzeugt, benutzt. Ich gebe der Röhre die Gestalt Taf. IV B Fig. 7. Ein 2–3 mm dicker Aluminiumdraht (*c*) ist von einem Glasröhrchen so umgeben, dass nur der äusserste Querschnitt innerhalb der Röhre frei bleibt. Ein zweiter, dünnerer Aluminiumdraht (*a*) befindet sich in dem seitlich angeschmolzenen Theile derselben. Nachdem die Röhre mit Schwefelcalciumpulver versehen ist, wird sie an der Quecksilberpumpe mit Luft oder Wasserstoff von geringer, etwa  $\frac{1}{2}$  mm betragender Spannkraft gefüllt und zugeschmolzen.<sup>1)</sup> Wie ich in meiner ersten Mittheilung gezeigt, entstehen an dem kleinen Querschnitte, wenn er negativ ist, sehr heisse, wenig leuchtende, aber Licht von hoher Brechbarkeit ausstrahlende Gastheilchen, welche sich geradlinig durch die ganze Röhre (*mn*) bis zur gegenüberliegenden Wand erstrecken und dieselbe phosphoresciren machen, obgleich die Anode hinter dem Querschnitte liegt. Das positive Licht, welches von dem seitlichen Drahte (*a*) ausgeht, sucht die Verbindung mit jenen Glimmstrahlen. Bei der Umkehr des Stromes bleibt der Röhrentheil (*mn*) lichtleer. Das positive Licht am Querschnitte des Drahtes *c* biegt sogleich vor demselben um und schlägt den kürzesten Weg zur Verbindung mit dem negativen Glimmlichte ein, welches die Oberfläche des Drahtes (*a*) umgibt. Lässt man nun mit dem negativen Glimmlichte, das vom Querschnitte ausgeht, das Schwefelcalcium in Berührung kommen, so zeigen die getroffenen Stellen unter Erwärmung ein so intensives weisses Leuchten, dass es in dem nahe befindlichen Auge starke Nachbilder erzeugt und im vollen Mittagslichte noch unterschieden wird. Es gibt ein helles Spectrum, das continuirlich von roth bis violett wie von einem weissglühenden Körper erscheint. Beim Unterbrechen des Stromes

1) Drei dieser Röhren waren auf der internationalen Ausstellung in London 1876. Siehe Biedermann, Bericht p. 319. Nr. 1765.

nimmt sogleich die Stärke des Leuchtens bedeutend ab. Die Röhre eignet sich vortrefflich, um auch andere Körper stark phosphorescirend zu machen. So leuchten alle Sorten Kalkspath, deren Phosphorescenz bei der Bestrahlung durch das Sonnenlicht nur im Phosphoroskop erkannt wird, in der Berührung mit den Glimmstrahlen mit gelbrothem Lichte, das nach dem Aufhören des Stromes noch lange Zeit, wohl 10 Minuten, im Dunkeln wahrgenommen wird. Wenn ich den in meiner ersten Mittheilung erwähnten Ruhmkorff'schen Inductionsapparat mittlerer Grösse durch mehr als zwei grosse Grove'sche Elemente erzeuge, so erwärmen die Glimmstrahlen die Oberfläche des Schwefelcalciums an manchen Stellen bis zum Rothglühen. Dieselben erscheinen dann ganz dunkel neben den hell phosphorescirenden, weniger warmen und zeigen, dass mit der beginnenden Glühhitze die festen Körper nicht mehr zu phosphoresciren vermögen.

Durch eine andere Anordnung des Versuches lässt sich dieses Verhalten noch überzeugender darlegen. Die Röhre (Taf. IV B Fig. 7) wurde aus möglichst schwerflüssigem, etwas dickwandigem, böhmischem Glase angefertigt. Solches Glas erweicht bei der dunkeln Glühhitze noch so wenig, dass es evacuirt den Luftdruck aushält. Es liess sich daher das Röhrenstück (*mn*), welches den Canton'schen Phosphor einschloss, durch zwei Flammen mit seinem Inhalte bis zum dunkeln Glühen erwärmen. Gegen die Glimmstrahlen war jetzt das Pulver indifferent; es phosphorescirte nicht. Bei der Siedehitze des Schwefels ( $447^{\circ}$  C.) trat die Phosphorescenz noch auf, war aber von sehr kurzer Nachdauer.

Alle festen Körper phosphoresciren wahrscheinlich bei der Temperatur, in welcher sie rothes Licht auszusenden beginnen, bei der sogenannten dunkeln Glühhitze, nicht mehr. Die gewöhnlichen nichtmetallischen Gase verhalten sich anders. Denn die Spectra erster Ordnung, welche schon in niederer Temperatur bei der Leitung des electricen Stromes auftreten, zeigen manche Gase noch in ihren mit

Sauerstoff gespeisten Flammen. Das Licht unserer gewöhnlichen Flammen, welche keine festen Theilchen enthalten, ist noch nicht durch die Temperatur, sondern durch den chemischen Process bedingt und muss als Phosphoreszenzlicht betrachtet werden. Denn haben dieselben Gase die Temperatur der Flamme angenommen, ohne in dem chemischen Prozesse begriffen zu sein, so strahlen sie noch kein vom Auge wahrnehmbares Licht aus. Davon kann man sich überzeugen, wenn man in den heissesten Theil der Flamme, welche die Bunsen'sche Lampe mit ganz geöffneten Schieber gibt, einen an beiden Enden offenen, aus möglichst dünnem Platinbleche gerollten Cylinder von kleinem Durchmesser horizontal aufhängt, und um die Strahlen des glühenden Metalles vom Auge abzuhalten, durch eine enge Röhre nach der Axe des Cylinders im dunkeln Zimmer blickt. Das Gas innerhalb der Röhre erscheint dem Auge dunkel und verschieden von demjenigen der leuchtenden Flamme. Dasselbe Resultat geben die Gase, welche sich im Innern einer durch Kohlenfeuer weissglühend gemachten Röhre befinden.

Ein späterer Paragraph wird ausserdem darthun, dass das electriche Verhalten der Flammengase verschieden ist von demjenigen, welches dieselben Gase in derselben Temperatur zeigen, wenn sie nicht im chemischen Prozesse begriffen sind.

Diese Verhältnisse stehen mit dem Satze, dass alle Körper bei derselben Temperatur Licht von derselben Wellenlänge auszustrahlen beginnen, nicht im Widerspruche. Die gewöhnlichen Gase besitzen bei diesen Temperaturen noch kein merkliches Absorptionsvermögen und können daher nach Kirchhoff's Satze auch kein solches Emmissionsvermögen haben.

Die Tauchbatterie von 1600 Elementen lässt, wenn kein Widerstand eingeschaltet wird, das Verhalten der gewöhnlichen Gase in hohen Temperaturen am besten erkennen. Um die starke Abkühlung, welche enge Röhren erzeugen, zu vermeiden, wurde eine Röhre von 35 mm

Durchmesser und 25 cm Länge aus dickwandigem, schwerflüssigem Glase genommen. Durch die Korke an beiden Enden gingen zwei 6 mm dicke Messingdrähte und endigten im Innern in Platindrähten, welche 20—25 mm Abstand voneinander hatten (Taf. IV B Fig. 8). Dem obern Platindrahte, welcher als Kathode diente, musste ein Durchmesser von 4 mm gegeben werden, damit er durch die hohe Temperatur des Gases in seiner Umgebung nicht abschmolz. Der untere Draht konnte dünner (1,8 mm Durchmesser) genommen werden. Damit die Wärme, welche der negative Messingdraht ableitet, den zum Verdichten der Korke nöthigen Siegellack nicht erweicht, war ein Kühlgefäss aufgesetzt.

Ich beschränke mich hier wieder auf das Verhalten, welches Luft und Wasserstoffgas zeigen. Besass die Luft der Röhre eine Spannkraft unter 50 mm, so gingen die 1600 Elemente bei jenem Abstände der Electroden von selbst hindurch. War kein Widerstand eingeschaltet, so trat beim Schliessen noch das gelbrothe Licht am positiven Pole, der dunkle Raum und das blaue Glimmlicht am negativen auf. In dem Maasse als beide Platinmassen sich erhitzen, verschwanden diese Lichter bald vollständig, wenn die Spannkraft mehr als 15 mm betrug. Die Wärmentwicklung in der Gasschicht um die Kathode blieb stets beträchtlicher, wie in derjenigen um die Anode. Wenn die Platinelectroden stark weissglühen, liegt schwaches, bläuliches Licht auf der Anode und füllt den Zwischenraum der Electroden bald aus, bald lässt es vor der Kathode eine dunkle Lücke. Dieses positive Licht liefert ein äusserst schwaches continuirliches Spectrum, in welchem keine der Linien des ersten Spectrums des Stickstoffes erkennbar ist. Es fehlten auch die Linien des Platindampfes; sie waren nur vorhanden, wenn der Abstand weniger als 10 mm betrug. Die Luftschicht, welche die auf der Länge von 10 mm weissglühende Kathode umgibt, erscheint dem Auge ganz dunkel, besitzt also noch kein Emissionsvermögen. Und doch muss ihre Temperatur

sehr hoch sein, da sie trotz ihrer geringen Masse das schwerflüssige Metall am untern Ende zum Schmelzen bringt und dünnere Drähte desselben, wie Wachs, abtropfen lässt. Der Contrast mit dem hellen Lichte des Metalles macht nicht etwaiges schwaches Leuchten ihrer Theilchen unwahrnehmbar: Das lehrt das benachbarte positive Licht, welches trotz seiner Schwäche gesehen wird. Sobald die Kathode weissglühend geworden und das Glimmlicht um dieselbe verschwunden war, verflüchtigte sich kein Metall mehr von ihrer Oberfläche, während bei Gegenwart dieses Lichtes das Platin bekanntlich starke Spiegel auf die umgebende Glaswand absetzt.

Der Strom der 1600 Elemente, welcher diesen Zustand der Lufttheilchen unterhielt, lenkte das von  $2 \times 2$  cm des Rheostatendrahtes abgezweigte Galvanometer 180 mm ab, betrug also ungefähr  $\frac{1}{3,5}$  des Maximalstromes. Der Zustand dauert fort, wenn man langsam Luft zuströmen lässt. Es gelang, ihn noch zu erhalten, als die Spannkraft im Innern gleich derjenigen der äussern Luft geworden war. Die Ablenkung des Galvanometers veränderte sich dabei wenig, sie ging nur auf 165 mm zurück. Dieses Verhalten ist für die stark erhitzten Gase charakteristisch; wir werden uns später eingehend damit zu beschäftigen haben. Noch leichter bleibt der Strom bei der Vergrösserung der Dichte erhalten, wenn als Kathode der schlechtere Wärmeleiter, die Retortenkohle, dient.

Gibt man der Luft eine Spannkraft unter 15 mm, so verschwindet das blaue Glimmlicht der Kathode und das gelbrothe positive Licht nicht. Das erstere bedeckt beim Schliessen des Stromes die ganze Länge des Drahtes, welche in der Röhre sich befindet, verkürzt sich aber bedeutend in dem Maasse, als das Platinende stärker glüht.

Bei jeder beliebigen Dichte kann man die Bogenentladung verhindern und die Glimmentladung erhalten, wenn man durch Einschaltung von Widerstand die Stromstärke genügend schwächt und jene hohen Wärmezustände unmöglich macht.

Das Wasserstoffgas zeigte in der Röhre ein ganz ähnliches Verhalten, wie die Luft. Nur blieben die oben besprochenen Linien des Phosphoreszenzspektrums in der weisslich gefärbten positiven Lichtzunge bei grösseren Spannkraften noch bestehen, und ebenso erhielten sich kleine Fleckchen Glimmlicht länger auf dem Ende des weissglühenden Platins. Zuletzt verschwanden jedoch beide bei genügender Dichte.

Beim langsamen Zuströmen des Wasserstoffs verminderte sich die Stromstärke beträchtlich, der Durchgang hörte bereits auf, als die Spannkraft gegen 550 mm geworden und die Ablenkung auf 65 mm gesunken war. Die bessere Wärmeleitung des Wasserstoffes machte sich noch in einer andern Thatsache geltend. Ich hatte die Röhre anfangs aus leichtflüssigem Glase hergestellt. Der heisse Wasserstoff erhitze aber die gegenüberliegende Wand trotz des beträchtlichen Durchmessers bis zum Erweichen und bewirkte, dass der Luftdruck sie hier einbog und ein Loch hineinblies.

Es ist kaum nöthig hinzuzufügen, dass die Glimmentladung im Wasserstoffe blieb, wenn ein genügender Widerstand aufgenommen war. Ohne Hülfe desselben unterhält man auch das Glimmlicht, wenn die Erhitzung der Kathode durch rasche Entziehung der Wärme, welche das Gas mittheilt, verhindert wird. Ich wählte zu dem Ende als Kathode eine dünnwandige, unten geschlossene Kupferröhre mit einem Glasröhrchen in der Axe, durch welches ein Strom kalten Wassers geleitet wurde. Bei geringen Dichten bedeckte das blaue Glimmlicht die ganze Oberfläche, verlor mit der Zunahme der Spannkraft immer mehr an Ausdehnung, bis es auf einige Quadratmillimeter an der Kuppe der Röhre sich reducirte. Es enthielt stets zahlreiche feine hellleuchtende Pünktchen, welche aus Kupferdampf bestanden, und war so heiss, dass das Geräusch des beginnenden Siedens auftrat, sowie das Wasser etwas langsam floss. Die Ablenkung der 1600 Elemente an dem gleich abgezwigten Galvanometer betrug hier 115 mm.

§ 6. Auf den Experimental-Untersuchungen Coulomb's<sup>1)</sup> basirt wesentlich die noch immer herrschende Annahme, dass die electriche Ladung eines isolirten Leiters nicht allein durch den festen Isolator, da er in allen Fällen nur ein schlechter Leiter ist, sondern auch durch die berührende Luft bei gewöhnlicher Temperatur zerstreut werde. Coulomb gibt in seiner Abhandlung über letztern Vorgang folgende Auffassung kund:

„Die zweite Ursache ist, dass die aus verschiedenen Elementen zusammengesetzte atmosphärische Luft, welche den electricirten Körper umgibt, mehr oder weniger ideoelectriche ist, sei es infolge der Natur ihrer Elemente, sei es infolge der Verwandtschaft derselben zu den Wassermoleculen; welche Verwandtschaft noch entsprechend dem Wärmegrade sich ändert, sodass die Luft als zusammengesetzt angesehen werden kann aus einer unendlichen Zahl theils ideoelectriche, theils leitender Elemente. Da aber ein Leiter sich stets mit einem Theile der Electricität des ihn berührenden Körpers ladet, und da er nach dieser Ladung von dem Körper abgestossen wird, so folgt daraus, dass jedes Molecul der Luft, welches einen electriche Körper berührt, sich mehr oder weniger schnell mit der Electricität dieses Körpers ladet, je nachdem die electriche Dichtigkeit des Körpers grösser oder kleiner oder die Luft mehr oder weniger mit Feuchtigkeit oder die Electricität leitenden Theilchen erfüllt ist. Sobald ein Luftmolecul mit Electricität geladen ist, wird es von dem electriche Körper abgestossen und durch ein anderes ersetzt, welches sich electricirt und wiederum abgestossen wird. Jedes dieser Moleculé führt so einen Theil der Electricität des von ihnen umgebenen electricirten Körpers fort, die electriche Dichtigkeit derselben vermindert sich je nach dem Zustande der Atmosphäre schneller oder langsamer.“

Diese Auffassung Coulomb's stützt sich zunächst auf die Voraussetzung, dass das gasförmige Wasser ein Electricitätsleiter sei und weit besser, wie die übrigen Gase der

1) Hist. de l'Acad. roy. des scienc. Année 1785 p. 612.

Luft, bei niederer Temperatur leite. Diese Annahme, welche das electriche Verhalten des tropfbar flüssigen Zustandes eines Körpers ohne nähere experimentelle Prüfung dem gasförmigen vindicirt, ist in keiner Weise begründet. Denn wenn man den Dampf des kochenden Wassers durch einen seitlichen Tubulus in eine verticale, an beiden Enden offene Metallröhre strömen lässt, welche mit dem einen Pole einer galvanischen Kette verbunden ist, während ein Draht, in der Axe dieser Röhre aufgestellt, mit dem andern Pole communicirt, so gibt das empfindlichste Galvanometer, welches in den Schliessungsbogen aufgenommen ist, keinen Ausschlag, solange nicht die Zahl der Elemente genügt, um eine leuchtende Entladung zu bewirken.

Wie wenig das Leitungsvermögen des flüssigen Aggregatzustandes maassgebend für den gasförmigen ist, zeigt sehr schön das Quecksilber, welches flüssig zu unsern besten Leitern gehört, aber als Dampf, solange die Temperatur unter der Glühhitze bleibt, wie alle Gase isolirt. Hiervon habe ich mich in folgender Weise überzeugt. Eine schwerflüssige Glasröhre, etwa 20 cm lang und unten zugeschmolzen, ist auf dem obern Rande von einer mit drei Tubulus versehenen und mit Siegelack dicht aufgekitteten Glasglocke bedeckt (Taf. IV B Fig. 9). In die zwei parallelen verticalen Tubulus sind zwei Eisendrähte, welche bis auf die Enden von Glasröhrchen umgeben sind, eingekittet und bilden die Electroden. Damit der Siegelack nicht erweichen kann, wird er durch fließendes Wasser in einem Kühlgefässe kalt gehalten. Den Boden des letztern schützt eine eiserne Platte gegen die aufsteigenden heissen Flammengase. Die dritte Tubulusröhre der Glasglocke gestattet, mittelst der Quecksilberpumpe die Luft durch Wasserstoff von beliebiger Spannkraft zu ersetzen. Durch eine Flamme lässt sich dann das auf dem Boden der Röhre befindliche Quecksilber siedend erhalten. In dem Maasse als der Dampf unten entsteht, condensirt er sich oben und fällt in feinen Tröpfchen an der Innenwand herab. Wenn die Eisendrähte, deren freie Enden fortwährend im

Quecksilberdampfe sich befanden, mit der galvanischen Kette und dem Galvanometer verbunden waren, wurde letzteres erst abgelenkt, als die Zahl der Elemente so gross war, dass eine leuchtende Entladung, welche schön grünes Licht entwickelte, eintreten konnte. Bei Einschaltung eines genügenden Widerstandes besitzt dieselbe ganz den Charakter der Glimmentladung.

Das entgegengesetzte Resultat Herwig's<sup>1)</sup> ist durch die nicht richtige Anordnung des Versuches bedingt. Derselbe erhitzte nämlich eine mit Quecksilber gefüllte Glasröhre an einer Stelle so stark, dass hier der Dampf das flüssige Metall in zwei Theile getrennt hielt, welche als Electroden für den galvanischen Strom benutzt wurden. Ausser dem Quecksilberdampfe liegt hier das heisse, leitende Glas zwischen den Electroden. Herwig betrachtete die Leitung des Glases als gering, weil er in derselben Röhre bei derselben Temperatur durch zwei aufgerollte, an die Glaswände sich anlegende und ein Bündel feiner Messingdrähte umschliessende Platinbleche, welche als Electroden dienten, unter Benutzung derselben Kette viel kleinere Ablenkungen am Galvanometer erhielt. Aber die Berührung ist im letztern Falle eine weit schlechtere, wie bei den flüssigen Quecksilbersäulen. Das Mikrophon zeigt, welche grosse Schwächungen des Stromes solche mangelhaften Contactstellen bewirken. Die rasche Abnahme, welche bei diesen Versuchen die Ablenkungen der Nadel erlitten, rührte nicht von einer „Abschwächung der Dampfleitung“ her, sondern war durch die ausgeschiedenen Ionen des Glases verschuldet. Durch den Gegenstrom, welchen sie erzeugen, kann man sich leicht hiervon überzeugen.

Coulomb benutzte bei seinen Bestimmungen des Zerstreungscoëfficienten der Luft noch keine der werthvollen Trockensubstanzen, die uns die Chemie zur Verfügung stellt, beobachtete aber sorgfältig den Feuchtigkeitsgehalt am Saussure'schen Hygrometer. Bei der Deutung der Resultate, welche er mit der Torsionswaage erhielt,

1) Pogg. Ann. CLI. p. 350. 1874.

machte er die Voraussetzung, dass seine beiden electricisirten Hollundermarkkugeln, welche ihr Leitungsvermögen bekanntlich nur ihrem hygroskopischen Wasser verdanken, keinen Verlust durch die Schellackstäbchen erlitten. Diese Annahme will er durch die Bemerkung rechtfertigen, dass die Kugeln in derselben Luft und in derselben Zeit den nämlichen Electricitätsverlust erfuhren, wenn sie von vier Schellackstäbchen, anstatt von einem, getragen waren. Der grosse Einfluss der Feuchtigkeit an der Oberfläche des Schellacks gibt sich aber unzweideutig in seinen gefundenen Zahlen kund. Er erhielt nämlich in zwei Luftmassen, deren Wassergehalt im Verhältnisse von 2 : 3 stand, als Zerstreungscoefficienten für die Zeit einer Minute  $\frac{1}{60}$  und  $\frac{1}{14}$ . Ausserdem sind diese Coefficienten ausserordentlich gross, wenn man die langsame Abnahme einer electricischen Ladung in Luft, welche durch unsere Trockensubstanzen sorgfältig getrocknet, kein Wasser an die Oberfläche der festen Stützen abgeben kann, damit vergleicht. Zahlreiche Erfahrungen dieser Art liegen aus neuerer Zeit von W. Thomson und anderen Physikern vor.

Zur eigenen Belehrung über diesen wichtigen Punkt habe ich folgende einfache Vorrichtung benutzt. Ein Glasgefäss (Taf. IV B Fig. 10), welches mit der Quecksilberpumpe verbunden werden konnte, enthält ein langes Schellackstäbchen (*a*), welches am untern Ende einen Messingdraht mit zwei Goldblättchen trug. Der seitliche Tubulus mit einem eingeschliffenen, hohlen Glasstöpsel gestattete durch einen eingekitteten Draht, die Goldblättchen zu laden, ohne das Gefäss zu öffnen. Der Draht endigte nämlich im Innern in eine Stahlfeder (*b*), welche bei der Drehung des Stöpsels mit dem Messingdrahte der Goldblättchen in Berührung gebracht werden konnte. So liessen sich letztere electricisiren, nachdem sie längere Zeit in der Luft des Gefässes, welches wasserfreie Phosphorsäure auf dem Boden enthielt, gewesen waren. Auch liess sich der Electricitätsverlust in beliebig verdünnter Luft hier verfolgen. Als im wohlgetrockneten Wasser-

stoffe von gewöhnlicher Dichte die Goldblättchen durch momentane leitende Verbindung mit dem Pole von 200 Elementen zur Divergenz gebracht worden waren, bestand nach  $4 \times 24$  Stunden noch ein deutlicher kleiner Ausschlag, der bei Berührung mit der abgeleiteten Stahlfeder sogleich verschwand. Ebenso gut hielt sich die Ladung bei starker Verdünnung des Gases.

Diese Erfahrung in Verbindung mit dem electricischen Gesamtverhalten der Gase lässt mich der Auffassung Faraday's<sup>1)</sup> beipflichten, dass die Gase bei niedriger Temperatur geringe Grade von Spannungen vollkommen isoliren, und dass der langsame Verlust allein durch die festen Isolatoren verschuldet wird, ein Schluss, dem gegenwärtig englische Physiker, wie Maxwell<sup>2)</sup>, zustimmen. Nach einer Mittheilung von Boltzmann<sup>3)</sup> hat auch Warburg, nachdem er eingehende Studien über die Zerstreuung der Electricität in Gasen mit der Torsionswaage gemacht<sup>4)</sup>, denselben als richtig angenommen.

Um die Frage vollständig durch den Versuch zu entscheiden, müssten wir einen geladenen Leiter ohne feste Stütze bloß mit Gasen in Berührung lassen. Dies scheint gegenwärtig gemäss einer interessanten Mittheilung von Reuleaux<sup>5)</sup> möglich. Während der Ausstellung in Philadelphia 1876 wurde nämlich das hübsche Experiment, eine Kugel durch einen schräg austretenden starken Luftstrom, ähnlich wie durch einen Wasserstrahl, schwebend zu erhalten, ausgeführt. Man hätte hierbei ganz staubfreie Luft, sowie eine electricisirte hohle Metallkugel zu benutzen und letztere hinreichend lange schwebend zu erhalten.

§ 7. Der Vorgang, durch welchen Coulomb in dem wörtlich angeführten Satze die Zerstreuung der Ladung an

1) Experimental-Untersuchungen Nr. 1336. Pogg. Ann. XLVII. p. 43. 1839.

2) A Treatise on Electricity and Magnetism I. p. 49. 1873.

3) Pogg. Ann. CLV. p. 415. 1875.

4) Pogg. Ann. CXLV. p. 578. 1872.

5) Pogg. Ann. CLIX. p. 165. 1876.

der ganzen Oberfläche eines Leiters durch die umgebenden Gastheilchen bewirken lässt, findet bekanntlich unzweideutig statt, wenn an Spitzen die electriche Spannung eine bestimmte Grösse erreicht. Letzterer unterscheidet sich jedoch von jenem fictiven wesentlich dadurch, dass alsdann in dem Gase auf einer endlichen, wenn auch noch so kleinen Strecke eine leuchtende Entladung, also ein wirklicher electriche Strom besteht. Denn der Wind ist stets von Spitzenlicht, das wegen seiner Schwäche nur im Dunkeln sichtbar ist, begleitet.

Faraday hat zuerst die richtige Erklärung des Spitzenlichtes gegeben.<sup>1)</sup> Die electriche Erscheinungen, welche in gasförmigen Medien auftreten, werden nur verständlich, wenn wir uns auf den Boden der Vertheilungstheorie des grossen britischen Forschers stellen. Die scholastische Theorie der electriche Fluida wird hier noch unnatürlicher, wie bei der Electrolyse.

Ich erinnere daher vor allem an den gewichtigen Satz Faraday's:

Nr. 517. „Blos nach den Thatsachen zu urtheilen, gibt es nicht den geringsten Grund, das Wesen, welches in dem, was wir in Metallen, geschmolzenen Körpern, feuchten Leitern oder selbst in Luft, in Flammen und verdünnten elastischen Mitteln einen electriche Strom nennen, als ein zusammengesetztes oder complicirtes zu betrachten. Es ist niemals in einfachere oder elementarere Wesen zerlegt worden und lässt sich vielleicht am besten betrachten als die Axe einer Kraft, die nach entgegengesetzten Richtungen genau gleichstarke aber entgegengesetzte Wirkungen ausübt.“

Das Wesen der Ladung zweier entgegengesetzt electriche Leiter, die durch ein gasförmiges Medium getrennt sind, besteht in dem Vertheilungs- oder Polarisationszustande der Molecüle dieses Dielectricums. Dieser Zustand wird durch einen electriche Strom von äusserst

1) Experimental-Untersuchungen Nr. 1434—47.

kurzer Dauer hervorgerufen, der in den begrenzenden Leitern durch die allbekannten Erscheinungen nachweisbar, in allen Querschnitten des Dielectricums in analoger Weise anzunehmen ist.

„Die Ladung der Leiter ist eine oberflächliche, weil an der Oberfläche eben das Medium beginnt, welches des inducirten Zustandes fähig ist.“

„Die herrschende Theorie der electricischen Fluida lässt den Druck der Luft die Electricität an der Oberfläche der Leiter zurückhalten und verknüpft zwei so unähnliche Dinge, wie die wägbare Luft und die freie hypothetische Flüssigkeit der Electricität durch die Bande eines blossen statischen Druckes.“ (1377)

Für den Strom, welcher im Dielectricum den Polarisationszustand erzeugt, wies Faraday durch seine classischen Vertheilungsversuche dieselbe Beziehung nach, welche in den Leitern so wohlbekannt ist.

1634. „Der Querschnitt eines Stromes, verglichen mit anderen Querschnitten desselben Stromes, muss eine constante Grösse sein, wenn die ausgeübten Wirkungen von gleicher Art sind; oder wenn sie von ungleicher Art sind, müssen die Formen, unter welchen die Effecte erzeugt werden, zueinander äquivalent sein und sich experimentell nach Belieben ineinander umwandeln lassen. Es ist also in den Querschnitten, wo wir die Identität der electricischen Kraft suchen müssen, selbst in den Querschnitten von Funken und fortführenden Wirkungen so gut, wie in denen von Drähten und Electrolyten.“

1369. „Jeder Querschnitt des Dielectricums muss an Summe der Kräfte jedem andern Querschnitte gleich sein, mithin der Gesamtbetrag der Spannungen in jedem solchen Querschnitte gleich sein.“

Je kleiner nun der Querschnitt des Dielectricums an einer Stelle ist, desto höher wird der Polarisationszustand der einzelnen Molecüle, welche denselben bilden, desto mehr nähert sich letzterer dem Grenzzustande, bei welchem sie leiten und die Entladung bewirken können. Das ist aber in der

Umgebung der Spitze der Fall. Es erfolgt daselbst die leuchtende Entladung bis zu einem gewissen Querschnitte, dessen Molecüle unter dem erforderlichen Polarisationszustande geblieben sind. Diese übernehmen daher jetzt die Rolle, welche vorher die metallischen Theilchen an der Oberfläche der Leiter hatten, und werden geladen. Da sie aber in hohem Grade beweglich sind, so müssen sie der gegenseitigen Abstossung und Anziehung folgen und ihren Platz verlassen, auf welchem sogleich andere Molecüle anlangen und dasselbe Loos erfahren.

Die Theilchen, welche geladen sind, können, da das Medium ein Nichtleiter ist, diesen Zustand nicht den benachbarten mittheilen.

„Sie wandern daher unter dem Einflusse der anziehenden und abstossenden Kräfte von dem geladenen Leiter gegen den nächsten nicht isolirten Leiter oder den nächsten Körper, der zu ihnen in einem verschiedenen Zustande befindlich ist, gerade wie Staubtheilchen wandern würden, und werden dann entladen; jedes Theilchen wirkt dabei auf seinem Wege als ein Centrum von Vertheilungskraft auf jeden ihm nahe kommenden Körper.“ (1442)

Wenn von meiner Tauchbatterie mehr als 800 Elemente hintereinander verbunden werden, so tritt an den Enden feiner Drähte, die als Electroden einander hinreichend genähert werden, dasselbe Spitzenlicht in Luft von gewöhnlicher Dichte auf, welches die Electrisirmaschine gibt. Diese fortführende Entladung interessirte mich wegen des Vorganges in den dunkeln Schichten des positiven Lichtes in hohem Grade, und ich habe sie daher unter den neuen Bedingungen sorgfältig studirt.

Ehe ich die Ergebnisse mittheile, muss ich noch einige Bemerkungen über die Entladung meiner Kette zwischen ausgedehnten Flächen vorausschicken.

In meiner zweiten Mittheilung zeigte ich, wie sich mit dem Sphärometer die Schlagweite der Kette sehr gut bestimmen lässt, und theilte einige Messungen derselben für die damals aus 400 Elementen bestehende Tauch-

batterie mit. Mit der nämlichen Vorrichtung und in derselben Weise haben De la Rue und Müller später eine grosse Anzahl Bestimmungen mit ihrer über 8000 Elemente enthaltenden Chlorsilberbatterie ausgeführt und veröffentlicht.<sup>1)</sup> Dieselben machten zunächst eine Fortsetzung meinerseits überflüssig. Meine Tauchbatterie hat, wenn sämtliche 1600 Elemente verbunden sind, in Luft von gewöhnlicher Dichte zwischen den 15 mm dicken Kugeln meines Funkenmikrometers eine Schlagweite von ungefähr 1 mm. Ist kein Widerstand eingeschaltet, so tritt die Bogenentladung mit hoher Temperatur ein; das Metall der Kugeln verdampft und bildet das gutleitende Medium des Stromes. Zieht man die Electroden jetzt auseinander, so erhält sich bei leicht verdampfbarren Metallen auf der Länge von mehreren Centimetern der glänzende, das Metallspectrum liefernde Funken. Zwischen Kohlenelectroden bildet sich in jenem Abstände von 1 mm der Davy'sche Lichtbogen. Alle diese Bogenentladungen sind schwächer wie diejenigen, welche Ketten von viel weniger, aber grossen Elementen erzeugen, nachdem die Electroden bis zur Berührung genähert und dann auseinander gerückt werden.

Durch Einschaltung immer grösserer Widerstände, wie sie in den Jodcadmiumlösungen zur Verfügung stehen, lässt sich der Charakter der Entladung ganz, wie in den verdünnten Gasen, verändern. Die Bogenentladung geht zunächst in die stetige Glimmentladung über. Der Unterschied in der Temperatur der beiden Electroden ist hier ausserordentlich gross. Beträgt der aufgenommene Widerstand weniger als 50,000 S.-E., und bestehen die Electroden aus 2 mm dicken Platindrähten, so erhitzt das blaue Glimmlicht, welches bei dieser Dichte der Luft kaum  $\frac{1}{4}$  qmm bedeckt, den negativen Draht zum heftigsten Weissglühen, schmilzt das Ende desselben zu einer dicken Kugel und erhält sie flüssig, während das Ende des

1) Phil. Trans. Vol. CLXIX. p. 55. 1878.

positiven Drahtes nur stark rothglüht. Recht auffallend contrastirt diese ausserordentlich hohe Temperatur der Gasschicht um die Kathode gegen die nicht empfindbare Erwärmung, welche derselbe Strom in den dünnen, ihn leitenden Metalldrähten bewirkt. Wie Platin verhalten sich alle Metalle. Auch zwischen Kohleelectroden ist diese Glimmentladung, bei welcher der negative Pol weit stärker glüht, durch Einschaltung von passenden Widerständen zu erhalten. Dieselbe Umkehrung in der Stärke des Glühens lässt sich zwischen Quecksilberelectroden bewirken. Schaltet man keinen Widerstand ein, so erhält man die Bogenentladung mit weissglühendem Quecksilberdampfe als leitendes Medium und dem heller glühenden positiven Ende. Ist aber ein solcher von etwa 50,000 S.-E. vorhanden, so ist auf der Oberfläche des Quecksilbers ein kleines Fleckchen heisses Glimmlicht, welches lebhaftere Verdampfung und Weissglühen des Dampfes veranlasst, während das positive Licht die Oberfläche wenig erhitzt. Die Temperaturen werden natürlich mit der Vergrösserung des Widerstandes immer kleiner, aber ein grosser Unterschied zwischen der negativen und positiven Electrode bleibt. Es lässt sich leicht der Widerstand so reguliren, dass der negative Draht allein glüht, und der positive fast kalt ist. Die Glimmentladung wird bei weiterer Zunahme des Widerstandes discontinuirlich, und ein starker Ozongeruch macht sich geltend. Wird endlich der Widerstand grösser als 9,000,000 S.-E., so ist jede Spur des blauen Glimmlichtes in der Entladung verschwunden. Es erscheinen jetzt in dem Abstände von 1 mm der Kugeln des Mikrometers rasch aufeinander folgende, gerade, äusserst dünne Fünkchen; sie haben in jeder Beziehung dasselbe Aussehen, wie diejenigen, welche meine Influenzmaschine ohne die Doppelflasche zwischen denselben Electroden liefert. Die Fünkchen aus beiden Quellen endigen auf der Oberfläche der Electroden in hellen Pünktchen, welche die Farbe des Lichtes von dem Dampfe des begrenzenden Metalles zeigen. Die Ursache,

weshalb die Holtz'sche Maschine blos die feinen Fünkchen und keine Spur des blauen Glimmlichtes liefert, rührt nur, wie wir oben gesehen, von der Armuth der Quelle her.

Bestehen die Electroden der 1600 Elemente aus feinen Metalldrähten, so erscheinen die gegenüberstehenden äussersten Enden noch in der Entfernung von 15—18 mm mit einem sehr schwachen, nur in voller Dunkelheit erkennbaren Lichte bedeckt. Es ist hierbei ganz gleichgültig, ob ein grosser Widerstand aufgenommen ist, oder nicht. Unter dem Mikroskope erkennt man deutlich den Unterschied der Pole. Auf dem Ende der Kathode liegt nämlich ein Fleckchen blaues Glimmlicht, gegen welches, durch eine schmale dunkle Stelle getrennt, ein feiner kleiner Büschel seine Spitze richtet. An der Anode findet sich blos ein solcher kleiner Büschel, der dieselbe mit der Spitze direct berührt und keinen dunkeln Raum hier lässt. Wird dieses Spitzenlicht durch Verringerung des Abstandes stärker, so verbreitet es einen starken Geruch nach Ozon. In diesem phosphorischen Spitzenlichte fehlen die Metaldämpfe, welche die Enden der feinen Fünkchen bilden, vollständig. Sie traten erst auf, wenn man nach Einschaltung der oben genannten grossen Widerstände die Enden der feinen Drähte in Abstände  $< 3$  mm bringt. Jene feinen geraden Fünkchen füllen dann die Länge des Zwischenraumes aus. Das Spitzenlicht ist stets discontinuirlich und mit Luftströmen verbunden. Nimmt man nur zu einer Electrode eine Spitze, zur andern eine grössere Fläche, etwa eine Kugel des Mikrometers, so wird nur erstere leuchtend und zwar mit dem ihrer Electricität entsprechendem Lichte. Die Oberfläche der Kugel bleibt dunkel. Die von der Spitze electricisirten Lufttheilchen wandern zur Kugel und entladen sich ohne Lichtentwicklung an derselben. Nur äusserst schwache Ablenkungen des Galvanometers werden von allen diesen discontinuirlichen fortführenden Entladungen erzeugt. Die Einschaltung meiner sämmtlichen Jod-

cadmiumlösungen bewirkt kaum eine Veränderung in der Ablenkung des Galvanometers; so gross ist der Widerstand bei der fortführenden Entladung.

Das Spitzenlicht lässt sich, natürlich schwächer und bei geringeren Abständen noch mit 800 Elementen erhalten. Ja das positive Spitzenlicht tritt noch bei weit kleineren electromotorischen Kräften auf, sobald man an der Kathode den Widerstand entfernt. Dies gelingt durch Anwendung einer Flamme, wie bereits in meiner zweiten Mittheilung erwähnt ist. Zu dem Ende versieht man die Oese eines dünnen Platindrahtes, wie er zu Spectralversuchen dient, mit einem Kaliumsalze und stellt sie in die schwachleuchtende Bunsen'sche Flamme als Kathode auf. Ich benutze jetzt als zweckmässigstes Salz wolframsaures Kalium und gewinne dasselbe, indem ich Wolframsäure so lange in die Lösung von kohlen saurem Kalium, die in einer Metallschale erhitzt wird, eintrage, als Aufbrausen stattfindet. Die klare Lösung wird abgedampft, und das Salz im Platintiegel geschmolzen. Da es sehr hygroskopisch ist, so muss es in geschlossener Flasche aufbewahrt werden. Eine kleine Perle dieses Salzes hält sich in jener Flamme sehr lange, da die Verdampfung langsam und für beide Bestandtheile gleichmässig erfolgt. Sie vermindert, weil die Perle heisser wird, den Widerstand an der Kathode noch etwas mehr, als die rascher verdampfende und daher kältere Perle von kohlen saurem Kalium, die ich früher angewendet habe. Bei diesen Versuchen mit der Flamme schaltet man zweckmässig einen grössern Widerstand in den Stromkreis ein, damit nicht bei kleiner werdendem Abstände der Electroden die Bogenentladung entsteht und die Drähte abschmelzen lässt. Bei dieser Anordnung sieht man im Dunkeln einen feinen positiven Büschel noch 1—2 mm von dem Saume der Flamme entstehen, wenn die Zahl der Elemente nur hundert beträgt. Der Abstand wächst mit dieser Zahl. Der Strom ist stets discontinuirlich und erzeugt nur geringe Ablenkungen am Galvanometer. Werden die Pole gewechselt,

so bleiben Licht und Strom aus, solange die Zahl der Elemente weniger als 600—800 beträgt.

Dass nun das Spitzenlicht, welches die Tauchbatterie erzeugt, mit einem Wandern der Lufttheilchen verbunden ist, kann man mit Hülfe des Flugrädchens am besten darthun, indem dasselbe durch die Reaction in lebhaftere Rotation versetzt wird. Das von mir benutzte Flugrädchen bestand einfach aus einem Aluminiumdrahte, dessen zugespitzte Enden abwärts und in horizontaler Richtung rechtwinklig in bekannter Weise umgebogen waren und dessen etwas vertiefte Mitte auf der Spitze einer Nadel lag. Letztere war in der Mitte des Tellers der Quecksilberpumpe an der metallischen Röhre befestigt und befand sich unter einer seitwärts tubulirten Glasglocke. Um die innere Oberfläche letzterer, und zwar in der Höhe des Tubulus und des Flugrädchens, lief ein Metallstreifen und stand durch einen Draht, der den Kork des Tubulus durchsetzte, mit dem einen Pole der Kette in leitender Verbindung. Das Rädchen gab die andere Electrode ab. So liess sich sowohl bei gewöhnlicher Dichte wie bei beliebiger Verdünnung das Verhalten desselben verfolgen. Der Abstand zwischen den Enden des Flugrädchens und dem Metallstreifen muss der Dichte des Gases angepasst werden, damit das Spitzenlicht für die zur Verfügung stehende electromotorische Kraft auftreten kann. Ich benutzte deshalb zwei tubulirte Glasglocken von verschiedenem Durchmesser (9 und 18 cm) und änderte die Länge des Flugrädchens, wenn nöthig, ab.

Die Angaben, welche unsere Lehrbücher über das Verhalten des Flugrädchens in verdünnter Luft bringen, sind dürftig und nicht correct. Gewöhnlich wird blos angeführt, dass dasselbe hier sich nicht mehr bewege, weil die Electricität an der Spitze nicht die nöthige Dichte erlange. Bei Spannkraften der Luft, die grösser als 40 mm bleiben, lässt sich aber die Rotation des Rädchens, es mag negativ oder positiv sein, bewirken. Beide Enden leuchten alsdann mit schwachem Lichte. Bei kleineren Spannkraften

gelang mir mit den angeführten Mitteln nicht mehr, das negative Rädchen in Rotation zu versetzen. Dagegen konnte ich das positive zu derselben noch bis zu einer Spannkraft von 9 mm veranlassen. Damit bei diesen grösseren Verdünnungen das Licht auf den Spitzen sich hält, war die ganze übrige Oberfläche mit einer Lack-schicht bedeckt.

Bei jeder Spannkraft der Luft lässt sich die Rotation des Rädchens verhindern, wenn man die Stärke des Stromes genügend steigern kann. Damit die Rotation erfolgt, darf eben die Glimmentladung nicht in dem Zwischenraume stattfinden, sondern muss auf die nächste Umgebung der Spitze beschränkt bleiben. Sehr leicht liess sich bei der mir zur Verfügung stehenden Elementenzahl für Spannkraft unter 70 mm die Rotation nach Belieben veranlassen und verhindern, indem der Widerstand, welcher in den Stromkreis aufgenommen war, passend verändert wurde. Bei jener kleinsten Spannkraft von 9 mm und der Anwendung von 1600 Elementen reichte der Widerstand meiner sämtlichen Jodcadmiumlösungen noch lange nicht hin, um die Rotation selbst in der 18 cm weiten Glocke bei einem Zwischenraume von 7 cm zwischen den Enden des Rädchens und dem Metallstreifen zu bewirken. Erst als eine 10 cm lange, 11 mm weite Säule reinen Amylalkohols aufgenommen war, trat Rotation ein. Der discontinuirliche Strom war dadurch so geschwächt, dass er das von 100 S.-E. abgezweigte Galvanometer bloß 30 mm ablenkte. Es unterliegt keinem Zweifel, dass man mit weiteren Glocken auch bei noch grösseren Verdünnungen die Rotation des positiven Rädchens erhalten kann. Dagegen scheint dies für das negative Rädchen nicht möglich zu sein. Wie schon oben bemerkt, hört dasselbe bei 40 mm Spannkraft der Luft zu rotiren auf, wie gross auch der eingeschaltete Widerstand ist.

Dieser Unterschied ist eine Folge der Leichtigkeit, mit welcher der sogenannte positive Theil der Glimmentladung in den verdünnten Gasen sich bildet. Man erkennt

im dunkeln Zimmer, wenn das negative Rädchen still steht, wie gewöhnlich nur eine seiner Spitzen mit dem blauen Glimmlichte bedeckt ist. Stets erscheint an der nächsten Stelle des Metallstreifens, oft auch im angrenzenden Zwischenraume schwaches, positives Licht. Wenn bei Umkehr des Stromes das positiv gewordene Rädchen rotirt, leuchten meistens seine beiden Enden allein. Weder an dem gegenüberliegenden Theile des Metallstreifens tritt negatives Glimmlicht auf, noch wird im Zwischenraume positives Licht wahrgenommen. Nur in kürzeren oder längeren Pausen schießt ein zusammenhängender Büschel positiven Lichtes durch den Zwischenraum zum Metallstreifen. Wenn das positive Rädchen nicht mehr rotirt, ist stets das negative Glimmlicht auf dem Metallstreifen erkennbar; auch leuchtet dann nur eine seiner Spitzen. Wenn das Rädchen die Kathode einer genügenden Anzahl von Elementen abgibt, entsteht der schwache, discontinuirliche Strom mit dem Spitzenlichte schon bei grösserer Spannung der Luft, als wenn es Anode ist. Im letztern Falle muss, um ihn zu erhalten, die Dichte des Gases, da der Abstand vom Metallstreifen constant bleibt, erniedrigt werden. Auch lenkt unter denselben Verhältnissen, also bei derselben Dichte der Luft, demselben Abstände der Electroden und derselben Elementenzahl der discontinuirliche Strom, welcher dem negativen Zustande des Rädchens entspricht, das Galvanometer stets und manchmal beträchtlich stärker ab, wie derjenige, welcher bei Umkehrung der Pole entsteht. So bewirkte z. B. bei der Spannkraft 120 mm und einem Zwischenraume von 25 mm das durch 1600 Elemente rotirende negative Rädchen an dem von 100 S.-E. abgezweigten Galvanometer 125 mm Ablenkung, dagegen das positive bloß 17 mm.

Um in verdünnten Gasen mit der galvanischen Kette eine Rotation zu erhalten, ist es nicht unumgänglich nöthig, dass das Rädchen in Spitzen endigt. Als zwei seitlich befestigte Scheibchen Aluminium von 3 mm Durchmesser die Enden bildeten, und die ganze Oberfläche des Rädchens mit

Ausnahme von zwei entgegengesetzt liegenden Flächen der Scheibchen mit Lack überzogen waren, rotirte dasselbe, wenn es positiv und die Spannkraft der Luft nicht kleiner als 20 mm war, unter den oben erörterten Bedingungen. Beide freie Flächen leuchteten mit rothgelbem Lichte, alles andere blieb dunkel.

Wenn bei kleineren Spannkraften, als 3 mm, dieses Rädchen mit Scheibchen negativ ist, so bedecken sich, wie ich in meiner ersten Mittheilung angegeben, beide Flächen mit blauem Glimmlichte, das mit zunehmender Verdünnung geradlinig immer weiter in den umgebenden Raum sich ausdehnt. Diese Glimmstrahlen erzeugen direct keine Rotation. Crookes hat in der letzten Zeit einen grossen Theil der Thatsachen, welche ich bezüglich des negativen Glimmlichtes in meiner ersten Mittheilung beschrieben habe, wiederholt und, ohne meine Arbeit zu nennen, als neu der Königlichen Gesellschaft in London und der französischen Akademie vorgelegt.<sup>1)</sup> Er benutzte seine Lichtmühle als Flugrädchen, indem er sie mit Aluminiumplatten ausstattete und deren abwechselnde Flächen mit Glimmer bedeckte. Bei grosser Verdünnung bedecken sich alle freien Flächen mit weit hinausfluthendem Glimmlichte. Die Mühle rotirte erst, wenn diese heissen Glimmstrahlen die Glaswand des Gefässes erreichten und die berührten Stellen erhitzen. Erst die Wärmestrahlung der Glaswand erzeugte daher eine Rotation.

Ausser dem Flugrädchen habe ich auch eine leicht bewegliche Windmühle für obige Zwecke benutzt. Wie bei der Lichtmühle von Crookes trug ein Glashütchen vier angeschmolzene Glasstäbchen mit Glimmerblättchen, welche unter  $45^\circ$  gegen den Horizont geneigt waren, und schwebte auf der Spitze einer kurzen Nadel. Diese Windmühle stand isolirt auf dem Messingteller der Luftpumpe in einer Glasglocke, welche oben in einem Tubulus endigte. Durch diesen ging ein Draht mit Spitze in die Glocke hinunter

1) Phil. Mag. S. 5. VII. p. 57. 1879.

und bildete die eine Electrode, während der Teller die andere abgab. Der Luftstrom von der Spitze stiess auf die Glimmerblättchen und setzte die Mühle in Rotation. Sie blieb stehen, wenn in dem ganzen Luftraume der Glocke die Glimmentladung entstanden war.

Ueberblicken wir sämtliche Thatsachen dieses Paragraphen und berücksichtigen die grosse Empfindlichkeit, welche Flugrädchen und Mühle besitzen, so kann kein Zweifel darüber sein, dass bei der Glimmentladung die Fortführung der Gastheilchen fehlt, und dass daher bei derselben die Fortpflanzung des Stromes überall, auch in den dunkeln Schichten des positiven Lichtes und in dem dunkeln Raume, durch einen andern Vorgang bewirkt wird. Diese Auffassung hat auch Faraday gehabt und Nr. 1551 ausgesprochen.

Es ist mir daher unmöglich, der Theorie, welche G. Wiedemann in seinen beiden Aufsätzen entwickelt hat, beizupflichten. Derselbe hat sich nur des Stromes der Holtz'schen Maschine bedient, weil er bei diesem die einfachsten und daher die günstigsten Verhältnisse für die Untersuchung voraussetzte. Er betrachtet denselben als continuirlich, wenn metallische Leiter die Kämme verbinden. Diese Annahme ist aber für diesen Strom ebenso wenig, wie für denjenigen der Reibungselectrisirmaschine, richtig. Bei beiden Strömen enthält der Schliessungsbogen stets Luftschichten zwischen den Kammspitzen und der rotirenden Scheibe. Mit Hülfe des rotirenden Spiegels wird man das Spitzenlicht hier ebenso discontinuirlich finden, wie unter den oben erörterten Bedingungen.

G. Wiedemann hat bei Benutzung des Influenzstromes analoge Verhältnisse festgestellt, wie sie für das Flugrädchen besprochen wurden. Durch sinnreiche Benutzung einer Heliometerlinse bestimmte er die Zeit, welche zwischen zwei Entladungen im verdünnten Gase verfliesst, und welche die arme Electricitätsquelle bedurfte, um die verschwundene Ladung herzustellen. War blos ein Kamm der Holtz'schen Maschine in directer metallischer Verbin-

dung mit der einen kugelförmigen Electrode des Gasraumes, und waren der andere Kamm und die zweite gleiche Electrode zur Erde abgeleitet, so fand die Entladung im verdünnten Gase bei derselben Spannkraft in kürzeren Intervallen statt, wenn die Kathode desselben mit dem Spitzenkamme communicirte, wie im umgekehrten Falle. Ich halte es für wahrscheinlich, dass dieser Unterschied durch den Fortführungsvorgang, welcher in der Luft von gewöhnlicher Dichte zwischen dem Spitzenkamme und der rotirenden Glasscheibe stattfindet, bedingt wird. Ich vermag dieser Thatsache nicht diejenige Bedeutung zuzuerkennen, welche G. Wiedemann ihr beilegt, wenn er aus derselben die grosse Ausdehnung, welche das positive Licht in Röhren mit verdünnten Gasen gegenüber derjenigen des negativen Glimmlichtes gewöhnlich besitzt, erklären will. Bestände ein solcher Zusammenhang, so müsste die Ausdehnung des negativen Glimmlichtes von dem Abstände der Electroden abhängig sein. Sie wird aber hiervon gar nicht beeinflusst, sondern ist, wie schon in meiner ersten Mittheilung gezeigt, blos von der Oberfläche der Kathode, der Dichte des Gases und der Stromstärke bedingt.

§ 8. Die Vertheilungstheorie Faraday's gibt im allgemeinen leicht von dem Einflusse, welchen Entfernung der Electroden und Dichtigkeit des gasförmigen Dielectricums auf das electricische Verhalten desselben haben, Rechen-schaft. Ich lasse wieder seine Darstellung dieser Verhältnisse wörtlich folgen:

1303. „Es ist vielleicht keine Entfernung zu gross, dass nicht eine Vertheilung durch sie geschehen könnte; allein bei derselben Zwangskraft findet sie um so leichter statt, als die Erstreckung des dielectricischen Mediums, durch welches sie ausgeübt wird, geringer ist.“

1375. „Verdünnung der Luft ändert die Intensität der vertheilenden Wirkung nicht; auch gibt es, so weit ich sehen kann, keinen Grund, warum sie es thun sollte. Wenn Electricitätsmenge und Abstand gleich bleiben und die Luft auf die Hälfte verdünnt worden, so ist zwar eine

Hälfte der Theilchen des Dielectricums entfernt; allein die zurückgebliebene Hälfte nimmt in ihrer Polarität die doppelte Spannung an; deshalb sind die Vertheilungskräfte balancirt, und das Resultat bleibt dasselbe, so lange als die Vertheilung und Isolation unterhalten werden. Allein bei der Entladung verhält es sich anders; denn da nur halb so viel dielectrische Theilchen in der Atmosphäre da sind, so werden diese schon durch die Hälfte der frühern Electricitätsmenge zur Entladungsintensität gebracht. Es erfolgt daher Entladung, und diese Folgerung aus der Theorie steht in vollem Einklange mit Harris' Resultaten.“

1364. „Harris untersuchte zuerst den Abstand der gebrauchten Kugeln oder, anders gesagt, die Dicke des dielectrischen Körpers, durch welche hin die Vertheilung unterhalten wurde. Die zur Erzeugung einer Funkenentladung erforderliche Electricitätsmenge der geladenen oder vertheilten Kugel, gemessen durch eine Maassflasche oder sonst nach einem mit dieser Flasche identischem Princip, ergab sich genau im Verhältnisse stehend mit dem gegenseitigen Abstände der Kugeln oder der entladenden Spitzen und zwar unter sehr verschiedenen Formen des Experimentes.“

1365. „In Bezug auf den Druck oder die Dichtigkeit der Luft fand er, dass die Electricitätsmengen, welche zur Hervorbringung durch einen constanten Zwischenraum erforderlich waren, sich genau wie die Dichtigkeit verhielten.“

Die in den beiden letzten Nummern von Faraday hervorgehobenen Resultate der Harris'schen Experimentaluntersuchung dürfen nicht als absolut richtige Gesetze betrachtet werden. Sie entfernen sich um so mehr von der Wirklichkeit, je kleiner die Dichtigkeit des Gases wird.

Harris<sup>1)</sup> zog aus seinem zweiten Gesetze den Schluss, dass in hinreichend verdünnter Luft ein isolirter Leiter

---

1) Phil. Trans. p. 243. 1834.

die schwächste electricische Ladung nicht mehr behalten könne. Matteucci<sup>1)</sup> pflichtete dieser Auffassung bei, welche für die herrschende Theorie, die den Druck der Luft das electricische Fluidum auf der Oberfläche der Leiter zurückhalten lässt, sich von selbst versteht.

Es lagen aber schon aus dem Ende des vorigen Jahrhunderts Erfahrungen vor, welche ganz entgegen diesem Schlusse zeigten, dass in der Leere eines sorgfältig ausgekochten Barometers beträchtliche electricische Spannungen bestehen können. Sie veranlassten Riess in seiner Lehre von der Reibungselectricität<sup>2)</sup> „es für wahrscheinlich zu erklären, dass ein electricisirter Körper in einem vollkommen luftleeren Raume seine Electricität für immer behalten würde.“

Als Gassiot durch Glasröhren mit eingeschmolzenen Drähten reine Kohlensäure leitete und nach dem Zuschmelzen durch caustisches Kali absorbiren liess, erhielt er Verdünnungszustände, durch welche eine kleinere Inductionsrolle sich nicht mehr entlud.

Durch die Geissler'sche Quecksilberpumpe lassen sich solche Vacuumröhren leichter und mit noch auffallenderem Verhalten herstellen. In meiner ersten Mittheilung habe ich gezeigt, wie bei den dort erzielten Verdünnungsgraden cylindrische Röhren von 1—2 cm Durchmesser, deren Drahtelectroden die Axe einnehmen und einen beliebig kleinen Abstand zwischen sich lassen, electricischen Spannungen, die in gewöhnlicher Luft Funken von 16 cm Länge geben, die Entladung versagen. Durch Geissler und Alvergriat sind solche Röhren sehr verbreitet worden. Bei ihrer Anfertigung ist zu beachten, dass die Drähte vorher von ihren occludirten Gasen möglichst befreit sind.

Diese Röhren werden gewöhnlich nur als Belege des Faraday'schen Satzes, dass das Vacuum nicht leite, aufgeführt. Ich habe aber, soweit es mit dem Inductionsstromen möglich war, gezeigt, dass ihr Verhalten wesentlich

1) Ann. de chim. et phys. (3) XXVIII. p. 385. 1850.

2) I. p. 40.

durch den grossen Widerstand bedingt ist, welcher bei geringen Dichten der Gase in der Umgebung der Kathode besteht. Am Schlusse meiner zweiten Mittheilung deutete ich an, dass bei diesen hohen Verdünnungen die Bildung des Stromes wieder mit überraschend wenigen Elementen möglich wird, sobald jenes Hinderniss an der Kathode entfernt ist. Wir werden unten diese Behauptung bestätigt finden, nachdem wir das Wesen des Glimmlichtes erkannt haben.

Solange aber an der Kathode jenes Hinderniss besteht, hat die electromotorische Kraft, welche die Glimmentladung bei constant bleibendem Abstände der Electroden erfordert, für eine gewisse Dichtigkeit eines Gases einen Minimumwerth und wächst wieder rasch bei weiterer Zunahme der Verdünnung. Für später zu besprechende Verhältnisse hatte es Interesse, diesen Minimumwerth zu kennen. Ich habe daher in einer cylindrischen Röhre von 4 cm Durchmesser mit drahtförmigen Electroden, welche in der Axe befestigt, einen Abstand von 1 cm zwischen sich liessen, die Verdünnung aufgesucht, bei welcher die kleinste Zahl meiner Elemente sich noch entlud. Dieselbe war für Luft und Wasserstoff nicht wesentlich verschieden und entsprach einer Spannkraft von  $\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$  mm. Die Zahl der Elemente, die hier noch eine Glimmentladung bewirkt, ist beim Wasserstoffe etwas, aber nicht bedeutend, kleiner, als wie bei Luft. Sie ist auch etwas von der Natur und Dicke der Electroden abhängig. Die folgenden Zahlen wurden für Wasserstoff gefunden.

Waren die Drähte von Eisen oder Platin und  $1\frac{1}{2}$  mm dick, so gingen erst 180 Elemente bei der günstigsten Verdünnung von selbst hindurch. Benutzte man den Kunstgriff von J. Herschel und liess gleichzeitig den Funken der Doppelflasche der Holtz'schen Maschine in jenem Abstände entstehen, so konnte man noch mit 148 Elementen eine dauernde Glimmentladung erzielen. Aluminiumdrähte liessen unter diesen Verhältnissen mit Hülfe des Funkens schon den Strom von 136 Elementen, der kleinsten Zahl,

bleibend hindurch. Retortenkohle gab das ungünstigste Material für die Electroden ab, indem erst 220 Elemente mit Hülfe des Funkens die dauernde Glimmentladung bewirkten. Damit nicht die Bogenentladung, welche zwischen Kohlenelectroden so leicht entsteht, sich bilden konnte, war hier ein geeigneter Widerstand in den Stromkreis aufgenommen.

Durch Verringerung des Abstandes unter 1 cm wird nicht die Entladung einer kleinern Zahl von Elementen ermöglicht. Welchen geringen Einfluss bei diesen kleinen Gasdichten die Länge der Strecke, welche vom positiven Lichte eingenommen wird, auf die Grösse der zur Glimmentladung erforderlichen electromotorischen Kraft hat, zeigte eine längere Röhre von gleicher Weite, welche Wasserstoff von derselben Dichte und Platindrähte mit dem Abstände von 16 cm enthielt. Mit Hülfe des Funkens gaben schon 200 Elemente auf dieser langen Strecke den bleibenden Glimmstrom.

Dass die Gasmolecüle, welche die sogenannte positive Entladung bewirken, sich in einem Zwangszustande nach Faraday befinden, geht schon aus dem früher festgestellten Phosphorescenzcharakter des Lichtes, welches sie ausstrahlen, und welches nicht dem Wärmezustande, in dem sie sich befinden, entspricht, hervor. Es folgt auch aus den Veränderungen, welche die Molecüle chemisch zusammengesetzter Gase während des Stromdurchganges trotz der niedrigen Temperatur in der Constitution erfahren. Berthelot hat sich in den letzten Jahren vielfach mit diesen Wirkungen der electricischen Entladung, welche er *effluve électrique* nennt, beschäftigt und den Inductionsstrom benutzt. Ohne Zweifel ist die galvanische Kette mit ihrem stetigen Strome viel vortheilhafter für das genauere Studium. Bis jetzt habe ich aber noch nicht Zeit gehabt, diese chemischen Wirkungen im Zusammenhange zu bearbeiten, und nur gelegentlich Beobachtungen und Erfahrungen gemacht. So zerfallen die Verbindungen  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , welche unter gewöhnlichen Verhältnissen starke

Glühhitze zur Zersetzung fordern, in dem Zwangszustande schon bei jenen niedrigen Temperaturen in ihre Bestandtheile.

Durch die Tauchbatterie lässt sich leicht noch eine dritte, in allen Gasen eintretende Veränderung während des Zwangszustandes nachweisen. Die Molecüle besitzen nämlich alsdann nicht allein Leitungsvermögen in der Richtung des Glimmstromes, sondern auch in der darauf senkrechten und demnach nach jeder Richtung. Zum Nachweise dieser Thatsache diente eine Glasröhre wie Fig. 11 Taf. IV B. Zwei feine, in Haarröhrchen gekittete Platindrähte, deren innere Enden 2—3 mm herausragten und einen Abstand von 2 mm zwischen sich liessen, befanden sich senkrecht gegen die Stromrichtung aufgestellt. Während 1000 Elemente bei Einschaltung eines passenden Widerstandes den ganzen Querschnitt des verdünnten Gases in der 8 mm weiten Röhre beim Durchgange mit positivem Lichte leuchtend machten, liess sich mittelst der dünnen Platindrähte die Leitung für wenige galvanische Elemente in dem Gase des Zwischenraumes, das ohne Strom ein Isolator für dieselben ist, feststellen. Bei diesem einfachen Versuche ist zu beachten, dass die beiden Platindrähte, da sie nicht unendlich dünn sind, stets einen geringen Theil des Hauptstromes durch den Schliessungsbogen, in dem sie sich befinden und in welchem ein zweites Galvanometer aufzunehmen ist, ablenken. Dieser Zweigstrom ist leicht für unsere Zwecke unschädlich zu machen, indem man rasch nacheinander die galvanischen Elemente in entgegengesetzter Richtung hindurch gehen lässt und die beiden entgegengesetzten Ablenkungen des zweiten Galvanometers beobachtet. Das arithmetische Mittel derselben entspricht der Intensität des aus jenen wenigen Elementen stammenden und von den Gasmolecülen im Zwangszustande geleiteten Stromes. Dieselbe zeigte sich, wenn der Hauptstrom constant blieb, der Zahl der aufgenommenen Elemente proportional, wenn diese unter 100 blieb. Mit der Stärke des Hauptstromes wuchs die Ablenkung, welche dieselbe

Zahl von Elementen bewirkte, und lehrte, dass das Leitungsvermögen des Gases, wie wir im nächsten Paragraphen näher feststellen werden, alsdann zugenommen hatte.

Mit den beiden Platindrähten kann man auch nachweisen, dass die nichtleuchtenden Gasmolecüle, welche die dunkeln Schichten des positiven Lichtes und den dunkeln Raum bilden, Leitungsvermögen erlangt haben. Liegen die Drähte im dunkeln Raume, so ist für dieselbe Stärke des Hauptstromes in der Röhre Taf. IV B Fig. 11 die Ablenkung, welche dieselbe Zahl von Elementen bewirkt, kleiner, da hier bei der benutzten Gestalt der Kathode eine geringere Stromdichte besteht.

Die Schichtung des positiven Lichtes erscheint weniger räthselhaft, nachdem dasselbe als Phosphorescenzlicht erkannt ist. Wenn wir uns erinnern, von wie kleinlichen, dem Versuche bis jetzt unfassbaren Umständen das Leuchten unserer Phosphore abhängig ist, so kann die Thatsache, dass gleiche Querschnitte des Gases zum Theil leuchten, zum Theil nicht, uns nicht mehr so sehr wie früher befremden, wo wir das Leuchten, als durch hohe Temperatur bedingt, annahmen. Mit dieser Bemerkung will ich keineswegs das Interesse an der genannten Thatsache schwächen. Ich bin im Gegentheil der Ueberzeugung, dass derjenige, welcher die richtige, dem Versuche zugängliche Erklärung der Schichtung gibt, den wichtigsten Fortschritt in der Lehre von der Phosphorescenz herbeiführt. Viele Beobachtungen habe ich während meiner Arbeit über die Schichtung gesammelt, vermochte aber bis jetzt nicht, das Gesetzmässige zu abstrahiren. Vielfach zeigt sich nach dem Schlusse der Tauchbatterie das positive Licht zuerst gleichförmig leuchtend ohne dunkle Schichten mit Ausnahme des dunkeln Raumes vor dem negativen Glimmlichte, der stets vorhanden ist. Manchmal ist auch gleich eine einzige schmale dunkle Schicht an demjenigen Ende des positiven Lichtes, welches an den dunkeln Raum grenzt, vorhanden. Dann gesellen sich hier allmählich noch mehrere neue hinzu, und plötzlich erscheint

die ganze Säule aufs schönste in abwechselnd helle und dunkle Schichten getheilt. Bald sind die dunkeln Schichten, bald die hellen breiter. Stets erscheint die Oberfläche der Anode leuchtend, auch wenn der ganze übrige Zwischenraum bis zum negativen Glimmlichte dunkel bleibt. Ist man im Stande, die Stromstärke constant zu erhalten, so bleiben auch die Schichten unverändert bestehen. Den Abänderungen in derselben, welche so häufig eintreten, gehen stets Aenderungen in der Stromstärke parallel. Wenn die Zahl der Schichten wächst, so sieht man gewöhnlich die neuen Schichten an der Oberfläche der Anode entstehen; sie lösen sich von derselben ab und gesellen sich zu den vorhandenen, die sich fortschieben. Dabei wird aber in keinem Augenblicke die Anode von positivem Lichte entblösst. Wenn umgekehrt die Zahl der Schichten abnimmt, so rücken dieselben zur Anode und verschmelzen einzeln mit der Lichtschicht, die auf derselben sich stets findet.

Die leuchtenden Schichten sind von gekrümmten Flächen begrenzt, deren convexe Seite gewöhnlich zur Kathode gewendet ist. Dies ist aber nicht immer der Fall; es kommt auch, je nach der Gestalt der innern Oberfläche der Glaswand, das Umgekehrte vor. Als eine Glaskugel, an welche ein cylindrisches Rohr (Taf. IV B Fig. 12) angeschmolzen war, Wasserstoff von 4 mm Spannkraft enthielt, gab ein Strom, welcher an dem von  $2 \times 50$  cm des Rheostaten abgezweigten Galvanometer 30 mm Ablenkung erzeugte und von *a* nach *c* das Gas durchfloss, nur eine einzige helle Schicht an der Stelle, wo die Kugel an den Cylinder grenzte. Diese Schicht wandte ihre Convexität zur Anode. Der ganze übrige Raum mit Ausnahme des Glimmlichtes um die Kathode und des positiven Lichtes auf der Anode war dunkel. Dieses letztere wandte, wie gewöhnlich, die Convexität zur Kathode. In der Kugel dieses Gefässes war bei grösserer Verdünnung zuerst nach dem Schlusse des Stromes neben der leuchtenden Schicht am Eingange der cylindrischen Röhre ein schwacher Lichtnebel, der sich

wenige Augenblicke nachher zu einer zweiten leuchtenden Schicht umformte, welche erstere in die cylindrische Röhre hineindrängte und den Platz derselben einnahm. Hier entstand also deutlich die neue Schicht nicht an der Anode, wie in den cylindrischen Röhren. Eine solche einzelne leuchtende Schicht habe ich sehr oft in cylindrischen Röhren an derjenigen Stelle erhalten, wo ein fester Gegenstand hineinragte und den Querschnitt des Gases etwas verengte.

§ 9. Durch den einfachen Versuch des vorigen Paragraphen ist nachgewiesen, dass die Molecüle eines Gases, während sie nach einer Richtung einen Strom fortpflanzen, wirkliches Leitungsvermögen, wie die Theilchen der Metalle und Electrolyte, besitzen, indem sie nun nach jeder Richtung die geringste Spannungsdifferenz entladen. Wie das Verhalten des Condensators (§ 3) dargethan, kann dasselbe nicht constant sein, sondern muss von der Stromstärke abhängen und proportional derselben wachsen. Ich bin bemüht gewesen, diese fundamentale Beziehung durch den Versuch nach jeder demselben zugänglichen Seite festzustellen.

Einen stetigen Strom von derselben Intensität und Beschaffenheit können wir in derselben Gassäule, ganz wie in einem Metalldrahte und Electrolyten, in der verschiedensten Weise gewinnen, indem wir die electromotorische Kraft, also die Zahl der Elemente, beliebig variiren und jedesmal neben dem Gase in den Schliessungsbogen einen Widerstand von passender Grösse aufnehmen. Die galvanische Kette gibt, wenn das Gas seine Dichte behält, nach dem Schliessen eine fast constant bleibende Ablenkung am Galvanometer. Ganz wie in den Metallen und Electrolyten stellt sich daher im Gase bald ein stabiler Zustand ein. Derselbe muss, wie dort, dadurch bedingt sein, dass die vom Strome dem Gasmolecüle zugeführte Energie den Verlust, welchen dasselbe durch Strahlung und Leitung an die Umgebung in derselben Zeit erleidet, nur ersetzt. Ist die Gasmasse in der Röhre nicht abgeschlossen, bleibt sie mit den weiten

Gefässen der Quecksilberpumpe in Verbindung, so ist die Stromstärke durch die Verringerung der Dichte, welche die Wärmeerregung veranlasst, längere Zeit veränderlich. Ebenso kann man sicher auf eine Entwicklung occludirter Gase aus der Kathode schliessen, wenn bei Absperrung des Gases die Ablenkung nicht constant wird.

Ich habe nun zuerst festgestellt, dass bei einem stetigen Strome von derselben Intensität dieselbe Gassäule denselben Widerstand besitzt, gleichgültig, durch welche Elementenzahl jener erzeugt wird.

Zu dieser und den folgenden quantitativen Bestimmungen dienten mir cylindrische Glasröhren von 8 mm Durchmesser, wie sie Taf. IV B Fig. 5 dargestellt sind. Um gleichzeitig über das Leitungsvermögen der Gasmolecüle, welche die in der Erscheinung so verschiedenen Vorgänge der positiven und negativen Entladung vermitteln, Aufschlüsse zu gewinnen, wurden zwei dieser Röhren von möglichst gleichem Durchmesser benutzt. Sie besaßen ganz gleiche Electroden von Aluminium und zwar die Anoden als kreisförmige Platten, die Kathoden als 2 mm dicke Drähte, welche auf der Länge von 15 mm unbedeckt von Glasröhrchen waren. Durch Haarröhrchen mit kleinsten Geissler'schen Glashähnchen standen sie mit dem Barometerrohre und der Quecksilberpumpe in der früher beschriebenen Weise (siehe Taf. IV B Fig. 6) in Verbindung. Die beiden Röhren unterschieden sich nur durch ihre Länge, indem der Abstand der Anode von der Kathode in der längern 96 mm, in der kürzern 40 mm betrug. Sind sie daher mit demselben Gase von derselben Dichte gefüllt und von gleichstarken Strömen durchflossen, so ist die cylindrische Strecke, welche sich mit dem positiven Lichte füllt, in ersterem 56 mm länger. Alle anderen Verhältnisse waren, so weit sich dieses bewirken lässt, in beiden Röhren identisch.

Die Verbindungsröhrchen sind capillar gewählt, damit ihr Volumen gegen dasjenige der Röhre möglichst klein ist, und daher die Gasmasse auf der Bahn des Stromes

nach Schliessung der Hähnchen trotz der Erwärmung so gut wie constant bleibt. Auch wurden stets für die benutzte Dichte des Gases Stromstärken verwendet, welche den ganzen Querschnitt mit positivem Lichte gleichmässig leuchtend machten. Unmöglich ist es, eine störende Einwirkung der dunkeln Schicht des Glimmlichtes an der Kathode, deren Temperatur bedeutend höher, wie diejenige des positiven Lichtes ist und mit Zunahme des Stromes rasch steigt, zu verhindern. Durch die stärkere Erhitzung erhält nämlich diese Schicht selbst eine geringere Dichte und vergrössert daher etwas diejenige in den Querschnitten des positiven Lichtes. Diese Fehlerquelle macht sich um so mehr geltend, je grösser die benutzte Stromstärke und je geringer die Dichte des Gases ist.

Natürlich müssen diese Messungen ganz unbrauchbare Resultate liefern, wenn die erhitzte Kathode occludirte Gase in beträchtlicher Menge abgibt. Ich habe schon oben angegeben, wie man dieselben erkennt, und wie ich bis jetzt diesem grossen Uebelstande zu begegnen gesucht. Ich hege die Hoffnung, dass fortgesetzte Versuche Mittel und Wege liefern werden, denselben ganz zu entfernen, und habe die Ueberzeugung gewonnen, dass eine Wiederholung dieser Bestimmungen dann weit bessere Resultate liefern wird. In der letzten Zeit ersetzte ich, wie schon oben bemerkt, mit Vorthheil die dicken Drähte, welche hier noch als Kathoden gedient, durch dünnwandige Metallröhrchen. Mit solchen die folgenden Messungen zu wiederholen, gestattete leider der Zustand meiner Tauchbatterie nicht mehr, deren Zinkdrähte aufgezehrt sind. Die Erneuerung einer so grossen Zahl nimmt bei den ungünstigen äusseren Bedingungen, unter denen ich meine experimentellen Arbeiten ausführen muss, längere Zeit in Anspruch.

Neben eine der beiden Röhren wurde nun die Widerstandssäule III von 17 mm Durchmesser in den Schliessungsbogen aufgenommen und die Intensität des Stromes durch das von  $2 \times 50$  cm Rheostatendraht abgezweigte Galvano-

meter bestimmt. Die beiden Röhren enthielten Wasserstoff von 1,775 mm Spannkraft bei  $17,4^{\circ}$  C. 500 Elemente gaben, wenn neben der langen Röhre die Länge von 100 mm der Jodcadmiumlösung eingeschaltet war, die Ablenkung 24,5 mm. Das positive Licht ist schön geschichtet; die hellen Schichten sind etwa halb so dick, wie die dunkeln. Das Glimmlicht bedeckt die ganze Oberfläche der Kathode.

Als die lange Röhre gegen die kurze vertauscht war, mussten, damit dieselben 500 Elemente dieselbe Ablenkung bewirkten, 206 mm der Jodcadmiumlösung hinzugefügt werden. Das positive Licht bestand aus vier hellen Schichten. War endlich keine Wasserstoffsäule aufgenommen, so mussten, um mit den 500 Elementen dieselbe Ablenkung zu erhalten, 432 mm Lösung eingeschaltet werden.

Demnach liess sich die lange Wasserstoffsäule bei der Stromstärke 24,5 mm durch die Länge der Lösung III:  $432 - 100 = 332$  mm und die kurze durch diejenige von  $432 - 206 = 226$  mm ersetzen. Der Länge des positiven Lichtes von 56 mm, welche das lange Rohr mehr enthält, entsprechen daher  $332 - 226 = 106$  mm Nr. III. Ich werde diese Längen der Jodcadmiumlösung in der Folge kurz als äquivalente Längen bezeichnen.

Die sogenannte positive Entladung reicht, wie sich von selbst versteht, und wie auch die Lichtverhältnisse später uns darthun werden, von der Oberfläche der Anode bis zur ganzen Oberfläche des negativen Glimmlichtes. Es liesse sich bei der hier gewählten Form der Kathode leicht der Widerstand des von zwei conaxialen Cylinderflächen, der Glaswand nämlich und der Oberfläche des Glimmlichtes, begrenzten Stückes berechnen. Da es sich aber nur um relative Bestimmungen hier handelt, so nehmen wir der Einfachheit wegen an, dass die positive Entladung nur den Abstand der Electroden ausfüllt, daher einen Cylinder von 96 mm Länge benutzt. Dann ergibt sich als äquivalente Länge für diese 96 mm positives Licht  $106 \cdot \frac{96}{56} = 181,7$  mm, und es bleibt als äquivalente Länge des Glimmlichtes  $332 - 181,7 = 150,3$  mm.

Damit nun 1000 Elemente in der langen Röhre dieselbe Ablenkung, 24,5 mm erzeugten, mussten 517 mm (III) in den Stromkreis aufgenommen werden. Bei der kurzen Röhre waren 623 mm (III) hinzuzufügen, damit die Ablenkung 24,5 mm wurde. Wenn endlich keine Gassäule eingeschaltet war, zeigten sich bei 1000 Elementen 841 mm (III) für jene Ablenkung nöthig. Hieraus folgt für die äquivalente Länge der langen Röhre:  $841 - 517 = 324$  mm und für diejenige der kurzen:  $841 - 623 = 218$  mm. Die Differenz ist wieder 106 mm und stellt die äquivalente Länge des 56 mm positiven Lichtes dar.

Die Zahlen bestätigen die am Eingange dieses Paragraphen aufgestellte Behauptung. Der electriche Zustand eines Gases ist, ganz wie derjenige eines Metalles und Electrolyten, bei derselben Stromstärke stets der nämliche, wie auch letztere hergestellt ist.

Eine zweite Reihe von Messungen mit derselben Füllung der Röhren gibt für die Ablenkung 37 mm des gleich abgezweigten Galvanometers das nämliche Resultat. Die gewonnenen Zahlen sind übersichtlich mit den vorigen in einer Tabelle zusammengestellt und werden dadurch nach den obigen Bemerkungen ohne weiteres verständlich. Die zweite Columne bezeichnet unter  $z$  die Zahl der Elemente, die dritte unter Eing. Länge die eingeschaltete Länge der Lösung III neben der langen oder kurzen Röhre. Die vierte unter Ablenk. die Ablenkung des von  $2 \times 50$  cm Rheostatendrahtes abgezweigten Galvanometers.

Spannkraft d. HH	$z$	Eing. Länge	Ablenk.	Aequiv. Längen der	Diff.	Aequiv. d. Längen des		Prod. v. Stromst. u. äquiv. Länge für	
						pos. Licht.	neg. Glümm.	pos. Licht	neg. Glümm.
1,775	500	l. R. 100	24,5	l. R. 332	106	181,7	150,3	4451,6	3682
		k. R. 206		k. R. 226					
"	1000	l. R. 517	"	l. R. 324	106	—	—	—	—
		k. R. 623		k. R. 218					
"	500	l. R. 50	37	l. R. 231	76	130,3	100,7	4820	3726
		k. R. 126		k. R. 155					
"	1000	l. R. 324	"	l. R. 226	77	132	94	—	—
		k. R. 401		k. R. 149					

Die beiden Versuchsreihen lehren, dass die äquivalenten Längen von der Stromstärke abhängig sind und zwar, dem Verhalten des Condensators entsprechend, nahezu umgekehrt proportional der Stromstärke erscheinen.

Um diese wichtige Beziehung zuverlässiger festzustellen, wurde eine grössere Zahl von solchen Messungen für Wasserstoffgas von verschiedener Dichte in den beiden Röhren ausgeführt. Die gewonnenen Zahlen sind in der folgenden Tabelle (p. 623) vereinigt.

Bei den grösseren Spannkraften des Wasserstoffes in den drei Reihen (*A*, *B*, *C*) bedeckte das negative Glimmlicht während des Durchganges der schwächeren Ströme nur einen Theil der Kathode. Daher sind hier die Widerstände desselben noch nicht mit der Stromstärke vergleichbar. Bei den kleinen Spannkraften in den Reihen (*D*, *E*) ist dies dagegen gestattet, da hier dasselbe schon bei der kleinsten Stromstärke die ganze Kathode einnimmt. Wir lassen in diesem Paragraphen die Verhältnisse des negativen Lichtes noch unerörtert, indem wir, wie schon bemerkt, sie später im Zusammenhange besprechen.

Die Zahlen der Tabelle bestätigen, wenngleich ihre Genauigkeit noch einiges zu wünschen übrig lässt, den Schluss, zu welchem das Verhalten des Condensators führte, zunächst bezüglich desjenigen Theiles der Gas säule, welchen wir, als in der positiven Entladung begriffen, der Kürze wegen bezeichnet haben. Wie die vorletzte Colonne zeigt, sind die Producte aus den Stromstärken und den äquivalenten Längen der Widerstandssäule (III) bei derselben Gasdichte nahezu constant. Ob die grösseren Abweichungen, welche bei den kleineren Spannkraften auftreten, von dem störenden Einflusse des heissen Glimmlichtes ganz herrühren oder noch einer andern Ursache entspringen, hoffe ich später ermitteln zu können.

Das Leitungsvermögen, welches die Gasmolecüle im Zwangszustande erhalten, ist daher nicht constant, sondern wächst proportional mit der Stromstärke.

Spannkraft des III	Zahl der Elemente	Ablenkungen des von $2 \times 60$ cm abgewinkelten Galvanometers	Aufgenommene Längen der Lösung III neben	Aequivalente Längen	Differenz	Aequivalente des positiven Lichtes	Aequivalente des negativen Lichtes	Produkte aus Stromstärke und äquival. Länge für positives Licht	Produkte aus Stromstärke und äquival. Länge für negatives Licht	Quotient aus dem Producte des positiven Lichtes und der Spannkraft
A. 10,8 mm bei 19 <sup>o</sup> C.	1000	42 mm	l. R. 100 mm k. R. 825 "	405 mm	225 mm	385,7	19,3	16199	—	1565
	1000	80 "	l. R. 50 " k. R. 167 "	180 " 223 " 106 "	117 "	200,5	22,5	16040	—	
	800	22,25 mm	l. R. 300 mm k. R. 498 "	445 mm 247 "	198 mm	339,4	105,6	7592	—	
B. 4,7 " " 19,2 <sup>o</sup> C.	800	77 "	l. R. 75 " k. R. 132 "	151 " 94 "	57 "	97,7	53,3	7523	—	
	600	25 mm	l. R. 200 mm k. R. 324 "	345 mm 221 "	124 mm	212,5	132,5	4887,5	—	1788
C. 2,75 " " 18,4 <sup>o</sup> C.	600	76 "	l. R. 50 " k. R. 88 "	121 " 88 "	38 "	65,1	55,9	4947,6	—	
	600	23 "	l. R. 200 mm k. R. 280 "	345 mm 265 "	80 mm	137,1	207,9	3153	4781,7	
D. 1,25 " " 19 <sup>o</sup> C.	600	38 "	l. R. 100 " k. R. 154 "	232 " 178 "	54 "	92,6	139,4	3518,8	5297	
	600	57 "	l. R. 50 " k. R. 88 "	168 " 130 "	38 "	65,1	102,9	3710,7	5865	
E. 0,3 mm bei 18,6 <sup>o</sup> C.	600	11 "	l. R. 200 mm k. R. 420 "	940 mm 720 "	220 mm	377,1	562,9	4148,1	6292	13827
	600	15,5 "	l. R. 100 " k. R. 267 "	709 " 542 "	167 "	286,2	422,8	4436,1	6553,4	
	600	22,5 "	l. R. 50 " k. R. 175 "	541 " 416 "	125 "	214,3	326,7	4821,7	7350,7	
F. 0,1 mm . . . . .	600									

intermittirendes Licht

Wie alle Erscheinungen der Natur müssen wir den Blitz als einen stetigen Vorgang auffassen, der nur in ausserordentlich kurzer Zeit sich vollzieht. Nehmen wir eine Gassäule in den Schliessungsbogen einer galvanischen Kette auf, so durchlaufen in dieser kurzen Zeit die Molecüle alle jene verschiedenen Zustände der Polarisation und der Leitungsfähigkeit bis zu dem von uns bestimmten, bleibenden Grenzwerte. Letzterer ist, wie schon hervorgehoben, dadurch bedingt, dass das Molecül die Energie, welche der Strom ihm zuführt, in derselben Zeit durch Leitung und Strahlung an die Umgebung verliert. Wir können jeden der vorangegangenen Zustände der Leitungsfähigkeit als Grenzwert fixiren, indem wir die Stromstärke durch Aufnahme eines passenden Widerstandes vermindern.

Vermag die gegebene electromotorische Kraft die Polarisation der Gasmolecüle nicht auf diejenige Höhe, bei welcher der leitende Zustand beginnt, zu steigern, so kommt kein stetiger Strom zu Stande, sondern blos ein Zustand der Spannung, in welchem das Bestreben der Molecüle, den Zwangszustand der Polarisation zu verlassen und in den gewöhnlichen zurückzukehren, jene compensirt. Der diese Polarisation in den Molecülen des Dielectricums erzeugende Strom von fast momentaner Dauer wird vielleicht nicht letztere selbst zu Trägern haben, da sie noch kein Leitungsvermögen besitzen, also die Fortpflanzung von Querschnitt zu Querschnitt noch nicht vollziehen können. Wir müssen dann ein anderes Medium hierfür in Anspruch nehmen. Fast von selbst drängt sich der Aether für diese Rolle auf, dessen Wirksamkeit unmöglich auf die Optik beschränkt sein kann, und welchem Maxwell und andere Forscher in neuerer Zeit eine analoge Bestimmung zuerkannt haben.

Die obigen quantitativen Bestimmungen, welche die Zunahme des Leitungsvermögens proportional der Stromstärke ergaben, lassen uns verstehen, wie der Blitz in seinen Querschnitten auf eine so kleine Zahl von Mole-

cülen beschränkt bleiben kann, während die Vertheilung zwischen der geladenen Wolke und der Erde so ausgedehnte Luftmassen umfasst. Die Molecüle, welche den Blitz leiten, sind offenbar diejenigen, welche in den Querschnitten des inducirten Dielectricums den grössten Polarisationszustand angenommen haben. Derselbe wird von demjenigen der unmittelbar benachbarten Theilchen nur unendlich wenig verschieden sein; er hat aber gerade die Höhe, bei welcher die Molecüle selbst die Fortpflanzung des Stromes beginnen. Letzterer selbst steigert dann das Leitungsvermögen und erzeugt die grossen Unterschiede gegen die unmittelbar angrenzenden Theilchen, wie wir sie in der Wirklichkeit finden. Hierzu ist blos nöthig, dass die das Dielectricum einschliessenden Flächen ein genügendes Leitungsvermögen besitzen: in ganz kurzer Zeit wird dann der ganze Betrag der Ladung durch jene wenigen Molecüle ausgeglichen. In freier Luft kommt als begünstigender Umstand hinzu, dass die Wärmeentwicklung die leitende Bahnstrecke verdünnt.

Die obigen Ergebnisse sind daher in schönstem Einklange mit Faraday's Auffassung und fügen der Darstellung, welche er in Nr. 1406 seiner Experimental-Untersuchungen gegeben, ein neues, nicht unwichtiges Moment hinzu.

„Der Funke,“ so lautet dieselbe, „ist eine Entladung oder Schwächung des inductiven Polarisationszustandes vieler dielectrischen Theilchen durch eine besondere Wirkung einiger weniger dieser Theilchen, die einen sehr kleinen und beschränkten Raum einnehmen; alle zuvor polarisirten Theilchen kehren dabei in ihren anfänglichen oder normalen Zustand zurück, in umgekehrter Ordnung, in welcher sie ihn verlassen haben, und sie vereinigen mittlerweile ihre Kräfte, um den Entladungseffect zu erzeugen oder vielmehr fortzusetzen an dem Orte, wo der Umsturz der Kräfte zuerst stattfand. Meine Meinung ist, dass die wenigen Theilchen, welche am Orte der Entladung befindlich sind, nicht blos bei Seite gestossen, sondern in

einen eigenthümlichen, einen temporär höchst aufgeregten Zustand versetzt werden, d. h. dass sie nach und nach alle umgebenden Kräfte auf sich häufen und demgemäss zu einer Intensität des Zustandes steigen, die vielleicht der von chemisch sich verbindenden Atomen gleich ist und so die Kräfte durch eine uns unbekannt Operation entladen. Der Endeffect ist genau so, wie wenn ein Metalldraht an die Stelle der entladenden Theilchen gesetzt wäre, und es scheint uns nicht unmöglich, dass die Principien der Action sich späterhin in beiden Fällen als gleich erweisen.“

In den leuchtenden Schichten der positiven Entladung erscheint die Energie, welche der Strom den Querschnitten zuführt, nicht blos als Wärme, sondern auch als primäres Licht. Die herrschende Theorie erklärt erstere, welche bis jetzt allein erkannt war, indem sie die electricen Fluida durch die Reibung an die ponderabeln Theilchen fortwährend ihre Bewegung verlieren und dadurch die Temperatur letzterer steigern lässt. Da die Reibung unzweifelhaft eine Quelle des Phosphorescenzlichtes ist, so kann jene Theorie auf dieselbe unnatürliche Weise sich auch mit der Thatsache der primären Lichtentwicklung abfinden. Allein nur die Faraday'sche Auffassung vermag den Vorgang in den Gasen und die Vorgänge in den Electrolyten und den Metallen in einen befriedigenden einheitlichen Zusammenhang zu bringen.

Die Electrolyse zeigt aufs bestimmteste, dass die nämlichen Massentheilchen, welche in der Chemie die Rollen übernehmen, auch die Fortpflanzung der Energie, welche wir electricen Strom nennen, vermitteln. Die sogenannten Fernwirkungen, aus denen wir auf gleiche Stromstärke schliessen, sind im Electrolyten an den Austausch von gleichvielen Ionen zwischen den einzelnen Querschnitten geknüpft. Nur diejenigen Verbindungen sind Electrolyte, von welchen wir aus der Chemie wissen, dass sie den Austausch derselben Theilbestandtheile, welche als Ionen erscheinen, ununterbrochen untereinander vollziehen, und welche dort

als basische Oxyde und Salze bezeichnet werden.<sup>1)</sup> Nur im flüssigen beweglichen Zustande, wo dieser Austausch möglich ist, erscheinen sie als Leiter. Im festen Aggregatzustande gehören sie zu den sogenannten Isolatoren.

Ich glaube, dass in den Metallen ein analoger Austausch von Energie zwischen den ponderablen Molecülen selbst besteht. Die Annahme, dass besondere, leicht bewegliche electriche Fluida hier Träger des Stromes sind, halte ich für unvereinbar mit der Thatsache, dass der Magnet einen in einem festen Metalle vorhandenen Strom innerhalb dieses Mediums nicht abzulenken und in diejenige Bahn zu bringen vermag, in welche er bewegliche

---

1) Die Erwiderung Bleekrode's (Wied. Ann. VI. p. 241. 1879) auf meine Kritik zeigt, dass er diese fundamentale Beziehung noch immer nicht würdigt. Ich hebe daher die Betrachtung, welche ich Magnus gegenüber früher angestellt, nochmals bestimmter hervor. Existirt ein guter electrolytischer Leiter, der kein basisches Oxyd oder Salz ist und daher gegen die zahlreichen Verbindungen dieser Art die charakteristische Wechselerersetzung nicht vollzieht, so muss, wenn derselbe im flüssigen Zustande zwischen zwei flüssige Salze geschichtet wird, beim Durchleiten des Stromes einer von den folgenden beiden Fällen eintreten. Entweder werden seine Ionen und ebenso die bezüglichen Ionen der beiden Salze an den beiden Berührungsflächen frei, und es tritt daher hier die Polarisation unter diesen ganz neuen, bis jetzt unbekanntem Verhältnissen auf. Oder es findet eine Verbindung seiner Ionen mit den bezüglichen Ionen der Salze statt. Dann entsteht hier, indem wir die grosse Zahl von Salzen benutzen, eine neue Classe chemischer Verbindungen, welche man bis jetzt nicht darstellen konnte. Ich glaube nicht, dass Bleekrode so glücklich sein wird, eine so wichtige Verbindung zu finden. Bleekrode erklärt meine Vermuthung, dass die blaue Färbung, welche er im condensirten Ammoniak beim Durchleiten des Stromes beobachtete, ein Metallamid gewesen, für widerlegt, weil die Farbe so rasch verschwindet. Aber diese Thatsache versteht sich ganz von selbst bei einem flüssigen, so leicht oxydirbaren und in so minimaler Quantität auftretenden Stoffe, da in der Flüssigkeit und in der Umgebung Sauerstoffverbindungen sind.

Die übrigen Einwendungen Bleekrode's erledigen sich von selbst. Es kann mir nicht einfallen, den Verbindungen, welche keine Salze sind, die Zersetzbarkeit und Reactionsfähigkeit vollständig abzuspochen, da ja dieselben dann unter den Elementen der Wissenschaft ihren Platz fänden.

stromleitende Massentheilchen, sie mögen tropfbar flüssig oder gasförmig sein, zwingt.

Die Electrolyte und Metalle besitzen eben deshalb electricisches Leitungsvermögen, weil ihre Molecüle fortwährend nach allen Richtungen die hierher gehörige intramoleculare Bewegung austauschen. Eine Aenderung des Leitungsvermögens durch den Strom bleibt bei der grossen Zahl der betheiligten Molecüle verhältnissmässig sehr gering und wird der durch denselben erzeugten Temperatur zugeschrieben.

Wenn wir das Product aus der äquivalenten Länge der Widerstandssäule und der Stromstärke dividiren durch die bezügliche Spannkraft des Gases, so erhalten wir, da letztere der Dichte und daher der Zahl der Molecüle in der Volumeneinheit proportional ist, Quotienten, welche den Widerstand für die Stromeinheit und die Dichtigkeitseinheit darstellen. Sie sind in der letzten Colonne der Tabelle aufgeführt.

Für die beiden grösseren Dichtigkeiten sind dieselben wenig verschieden. Sie nehmen aber rasch mit weiterer Verdünnung zu und zeigen, wie hier das Leitungsvermögen, welches die Stromeinheit in derselben Zahl von Molecülen erzeugt, durch den grösser werdenden Abstand bedeutend beeinträchtigt wird. Wenn es mir gelingt, gasfreie Metalle zu erhalten, so werde ich die Elemente meiner Tauchbatterie noch vermehren und diese interessante Beziehung für grössere Dichten und andere Gase verfolgen.

Wichtig für unsere Einsicht in den Leitungsvorgang der Gase müssen quantitative Bestimmungen der Wärmemengen und Lichtintensitäten werden, welche ein constanter Strom der galvanischen Kette in einem der Masse und den Dimensionen nach unveränderlich bleibendem Gase in der Zeiteinheit erzeugt. Das vortreffliche Eis-calorimeter von Bunsen muss sich am besten für die erstgenannte Aufgabe eignen. Bis jetzt habe ich noch nicht Zeit gehabt, mich derselben zu unterziehen. Ich hielt es für nöthig, die Electricitätsleitung der Gase vorher nach

jeder andern zugänglichen Seite zu studiren, um die erforderlichen Erfahrungen zu gewinnen.

G. Wiedemann hat für die discontinuirlichen Ströme der Holtz'schen Maschine die Wärmeentwicklung untersucht, indem er mittelst eines Thermoelementes die Erwärmung der Glasröhre bestimmte. Er fand die Wärmemenge, welche in demselben Gase in der Zeiteinheit frei wird, der Stromintensität proportional und von der Grösse des Querschnittes unabhängig. Dieses Resultat bestätigten in der letzten Zeit am Inductionsstrome Naccari und Bellati.<sup>1)</sup> Diese beiden Beziehungen sind aber genau diejenigen, welche wir nach dem Joule'schen Gesetze über die Wärmeentwicklung des electrischen Stromes erwarten müssen, wenn das Leitungsvermögen, wie oben gefunden, proportional der Stromdichtigkeit sich verhält. Denn der allgemeine Ausdruck für die Wärmemenge ( $Q$ ), welche in der Zeit ( $t$ ) von der Stromstärke ( $i$ ) in einem Leiter, dessen Widerstand ( $r$ ), dessen Länge ( $l$ ), dessen Querschnitt ( $q$ ) und dessen specifisches Leitungsvermögen ( $k$ ) sind, nämlich:

$$Q = i^2 r \cdot t = i^2 \frac{l}{k \cdot q} \cdot t$$

lässt sich auch schreiben:  $Q = \left(\frac{i}{k}\right) \cdot i \cdot l \cdot t$  und enthält, sobald der eingeklammerte Factor constant ist, das von G. Wiedemann gefundene Resultat.

Man könnte in Versuchung gerathen, der oben gefundenen Beziehung, wonach der Widerstand der Längeneinheit der Gassäule umgekehrt wie die Stromstärke sich verhält, eine andere Bedeutung unterzulegen. Nach dem Ohm'schen Gesetze wird nämlich in unserem Falle:

$$i = \frac{E}{R + \frac{r \cdot l}{i}}$$

wenn  $E$  die electromotorische Kraft der Kette,  $R$  den Widerstand des ganzen Stromkreises mit Ausnahme des

1) Beibl. II. p. 720. 1878.

jenigen der Gassäule, und  $r$  denjenigen Widerstand bedeuten, welchen die Längeneinheit der gegebenen Gassäule bei der Stromeinheit besitzt. Diese Gleichung ist aber identisch mit folgender:

$$i = \frac{E - rl}{R}.$$

Der Widerstand der Längeneinheit der Gassäule für die Stromeinheit erscheint hier als entgegengesetzt wirkende electromotorische Kraft, ganz wie bei der Electrolyse die Polarisation sich geltend macht. Man könnte daher auch annehmen, dass die Gassäule auf der Längeneinheit eine electromotorische Gegenkraft ( $r$ ) entwickle und dadurch die Stromverhältnisse beeinflusse. Solange  $E < rl$ , ist ein Strom unmöglich.

Bei dieser Deutung ist man aber genöthigt, der Gassäule einen Leitungswiderstand entweder ganz abzusprechen, oder neben jener electromotorischen Gegenkraft noch einen solchen, der aber dann sich ebenfalls in der Grösse umgekehrt wie die Stromstärke verhalten muss, zuzuerkennen. Beide Annahmen lassen sich mit Hülfe des Condensators zurückweisen. Derselbe gestattet nämlich ganz direct die Abwesenheit einer solchen electromotorischen Gegenkraft in dem Kreise des stetigen Stromes, welcher eine Gassäule durchfließt, darzuthun.

Man lässt zu dem Ende den Condensator mit der Spannungsdifferenz der Electroden der Gassäule sich laden und ermittelt die Grösse der Ladung durch den ersten Ausschlag des Magneten im Galvanometer. Sodann vertauscht man die Gassäule gegen die aequivalente Länge der Jodcadmiumlösung. Der Condensator nimmt dann genau dieselbe Ladung an. Von den Versuchen, welche alle diese Resultate ergaben, will ich einen genau beschreiben. Der Paraffincondensator bestand aus zwölf Stanniolblättern. Zwei Spiegelgalvanometer waren aufgestellt. Das eine (I) gab durch seine Ablenkung die Intensität des Kettenstromes. Vermittelst des (II) mit dem langen, dünnen Drahte, wurde, wie p. 572, der erste Ausschlag der La-

dung bestimmt. Wasserstoff von der Spannkraft 3 mm befand sich in der Glasröhre Taf. IV B Fig. 5. 800 Elemente bewirkten, wenn 717 mm der Jodcadmiumlösung (III) neben der Gassäule eingeschaltet waren, am Galvanometer (I) die Ablenkung 78,5 mm. Der mit der Spannungsdifferenz der Electroden der Gassäule geladene Condensator gab am Galvanometer II den ersten Ausschlag, 64 mm. Nach Entfernung der Gassäule mussten von einer Jodcadmiumlösung, welche in einer zweiten Glasröhre, wie III, enthalten war, 311 mm aufgenommen werden, um dieselbe Ablenkung 78,5 mm zu bekommen. Der mit der Spannungsdifferenz der Enden dieser Widerstandssäule geladene Condensator gab bei der Entladung denselben ersten Ausschlag, 64 mm.

Wir wenden uns jetzt zur Erforschung des negativen Glimmlichtes. Um die Natur desselben zu verstehen, müssen wir im nächsten Paragraphen das electriche Verhalten der Gase bei Temperaturen, die jenseits der dunkeln Glühhitze liegen, kennen lernen.

Münster, den 14. Mai 1879.

---

#### *IV. Ueber eine eigenthümliche Funkenentladung am sogenannten negativen Pole eines Inductionsapparates<sup>1)</sup>; von W. Hankel.*

(Aus den Berichten der math.-phys. Classe der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften 1878; mitgetheilt vom Hrn. Verfasser.)

---

Wenn an demjenigen Ende der Inductionsspirale eines Ruhmkorff'schen Apparates, welches beim Oeffnen eines in der primären oder inducirenden Spirale vorhandenen electriche Stromes den positiven Pol bildet, eine stumpfe Spitze angebracht ist, und dieser eine mit dem negativen

---

1) Vorgetragen und zum Drucke übergeben in der Sitzung am 14. Nov. 1878.