

und diese Correction entsprach auch am nächsten den gefundenen Abweichungen.

Wenn demnach die Unterschiede der von den verschiedenen Forschern erlangten Bestimmungen des Ohms als zufällig betrachtet werden müssen, so darf gewiss auch der von der Conferenz festgestellte Werth des Ohms, nämlich

$$1 \text{ Ohm} = 1,06 \text{ Quecksilbereinheiten,}$$

welcher Werth sehr nahe dem mittleren Werthe aller Beobachtungen entspricht, als der für die Gegenwart genaueste betrachtet werden, und man darf hoffen, dass hiermit auch der ursprünglich erzielte Grad der Genauigkeit, nämlich eines Tausendstels, wirklich erreicht ist.

## II. *Beiträge zur Electricitätsleitung der Gase;* *von Franz Stenger.*

(Hierzu Taf. I Fig. 3—5.)

Die vorliegende Arbeit verfolgt einen doppelten Zweck. Im ersten Theile sucht der Verfasser theils unter Benutzung der ausserordentlich reichhaltigen Literatur, theils auf Grund eigener Versuche den Nachweis zu liefern, dass ein in allen Fällen gültiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Bogenentladung und Glimmentladung nicht vorhanden ist. Von welchem Factor das Auftreten der einen oder der anderen von beiden Formen abhängt, unter welchen Versuchsbedingungen beide Entladungsarten ineinander übergehen können, soll den Gegenstand des zweiten Theiles bilden.

### I. Theil.

Vor allem sei es mir gestattet, in kürze die wesentlichen Kennzeichen der Bogenentladung im Gegensatz zum Glimmlicht zusammenzustellen; ich beziehe mich dabei ausdrücklich auf die normalen Formen der Entladung.

1) Die Gasschicht besitzt in der Bogenentladung einen weit geringeren Widerstand, als im Glimmlicht.

2) Im Bogenlicht wird die Anode stärker erhitzt, als die Kathode, beim Glimmlicht umgekehrt.

3) Im Spectrum des Bogenlichtes überwiegt das Licht der Electrodensubstanz über das der zwischen ihnen befindlichen Gasschicht, während umgekehrt bei der Glimmentladung das Spectrum nur die Linien der Gasstrecke gibt, und die Natur der Electroden gleichgültig ist.

4) Im Bogen werden beide Electroden zerstäubt, allerdings in verschiedenem Maasse, während im Glimmlicht nur an der Kathode eine Zerstäubung eintritt.

§ 1. Ueber den Widerstand der Gasstrecke. — Bei der Glimmentladung in verdünnten Gasen sind es nach Hittorf<sup>1)</sup> die beiden ersten Schichten des Kathodenlichtes, welche dem Durchgang electrischer Ströme einen Widerstand entgegensetzen, gegen welchen der Widerstand des positiven Büschellichtes sehr klein ist. Da mit abnehmendem Druck beide Schichten eine immer grössere Ausdehnung annehmen, wächst gleichzeitig der Widerstand des Kathodenlichtes. Als umgekehrt Hittorf zu grösseren Gasdichten überging, nahm die Dicke des Glimmlichtes ab, die Stromstärke zu. Bei einem mit Stickstoff von etwa 17 mm Druck gefüllten Vacuumrohr trat unmittelbar nach Stromschluss, wie bei starken Verdünnungen, auf der 17 mm langen Kathode ein 1 mm dickes Glimmlicht auf, das in kurzer Zeit den Draht auf starke Gelbgluth erhitzte, die sich an dem der Anode zugewendeten Ende auf Weissgluth steigerte und die starke Iridiumelectrode zur Schmelzung brachte. Wurde die Gasdichte noch mehr gesteigert, so kam auch die Anode zur Weissgluth; ja bei einem Drucke von 53 mm wurde die Anode sogar heisser als die Kathode. Gleichzeitig wuchs die Stromstärke immer mehr an und erreichte schliesslich eine Stärke von 2 Ampere, eine Stromstärke, die sich von den bei Bogenlicht erhaltenen nicht sehr unterscheidet. Besonders deutlich zeigen aber einige andere Beobachtungen von Hittorf<sup>2)</sup> und Goldstein<sup>3)</sup>, dass bei ge-

1) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 97. 1884.

2) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 133. u. folg. 1884.

3) Goldstein, Wied. Ann. 24. p. 81 u. folg. 1885.

eigneter Wahl der Versuchsbedingungen der Widerstand des Gases beim Glimmlicht von derselben Grössenordnung ist, wie im Davy'schen Bogen. Erhitzte nämlich Hittorf eine als Kathode verwendete Platinspirale durch Hindurchleiten eines kräftigen Stromes, so blieb der Widerstand ungeändert, solange das Platin nur rothglühend war; mit dem Gelbglühen trat plötzlich eine Abnahme des Widerstandes ein, die sich mit der Temperaturerhöhung des Platins schnell steigerte. Wurde der Versuch in ähnlicher Weise mit einem Carré'schen Kohlenstäbchen ausgeführt, so gelang es noch mit 10 kleinen Elementen bei 4 cm Electrodenabstand eine Entladung zu erzeugen. Bei einem Abstand von 15 cm gaben 40 Elemente einen stetigen Strom von  $\frac{1}{10}$  Ampère. Wandte Hittorf als Kathoden die Kohlen eines Davy'schen Bogens an, so war die Wirkung noch weit grösser. Wurde dagegen die Anode stark erhitzt, so war keine Aenderung in der Stromstärke zu constatiren. Ganz gleiche Resultate hat Goldstein erhalten.

Es kommt nach diesen Untersuchungen also nur auf geeignete Versuchsbedingungen an, um auch bei Glimmentladungen Ströme von derselben Grössenordnung, wie beim Bogenlicht zu erhalten.

§ 2. Existirt eine Abhängigkeit der Temperatur der Electroden bei der Bogenentladung vom Druck und der Natur des umgebenden Gases?

Die erste Beobachtung über die verschiedene Temperatur der Electroden rührt von Gassiot her; einige Jahre später stellte Grove<sup>1)</sup> Untersuchungen über das Verhalten des Bogenlichts in verschiedenen Gasen und in einem Vacuum an, wie es damals zu erreichen war. Seine Resultate stimmen nur zum Theil mit meinen Beobachtungen überein. In Wasserstoff wie auch Stickstoff soll nach ihm die Temperatur beider Electroden dieselbe sein — beurtheilt nach der Färbung und der Schnelligkeit des Erlöschens — ebenso in möglichst vollkommenem Vacuum. Wie er jedoch selbst mittheilt, gelang es ihm in Wasserstoffatmosphäre nur bei

1) Grove, Phil. Mag. (3) 16. p. 478. 1840.

Ann d. Phys. u. Chem. N. F. XXV.

Kohlenelectroden, den Bogen einige Zeit lang constant zu erhalten, sodass seiner Behauptung, dass dann die Electroden keinen Unterschied in der Temperatur erkennen liessen, kein grosser Werth beigelegt werden kann. Ich habe mich ebenfalls vergebens bemüht, ein constantes Bogenlicht in Wasserstoff zwischen Metallelectroden herzustellen; wie auch Liveing und Dewar<sup>1)</sup> beobachtet haben, ist die Länge des Bogens in Wasserstoff weit kleiner als in Luft, und ruft daher eine geringe Vergrösserung des Electrodenabstandes das Verlöschen des Bogens hervor. Dass aber bei kurzem Stromschluss die Temperatur der Electroden wesentlich anders sein kann, als bei anhaltendem Brennen, geht deutlich aus der Angabe von Moigno<sup>2)</sup> hervor, dass, nachdem der Contact zwischen den Electroden zur Erzeugung des Bogens unterbrochen wird, zunächst weisses Licht an der Spitze der negativen Electrode aufblitzt, und erst dann die positive zu erglücken beginnt. Bei Kohlenelectroden dagegen habe ich durch eine Reihe von Versuchen sicher constatirt, dass in Wasserstoff wie auch in Stickstoff stets die Anode eine höhere Temperatur besitzt als die Kathode, wenngleich der Unterschied nie so merklich war, wie in Luft. Es scheint danach allerdings die Vermuthung Grove's nicht unberechtigt, dass in sauerstoffhaltigem Gase secundäre Erscheinungen eine Rolle spielen. Dass man bei derartigen Beobachtungen den Bogen erst einige Minuten in Gang erhalten muss, ehe man die Temperaturvergleichung vornimmt, kann aus der Angabe entnommen werden, dass man beide Kohlen häufig gleichzeitig verlöschen sieht, wenn man den Bogen herstellt hat und unmittelbar darauf unterbricht.

Die meisten dieser Versuche habe ich mit einem ausserordentlich einfachen Apparate angestellt, der gleichwohl das Arbeiten mit reinen Gasen bei den verschiedensten Drucken gestattet, weil die Bewegung der Electroden ohne die nie dichtschiessenden Stopfbüchsen geschieht. Der Apparat (Fig. 3) besteht aus einer mit zwei angeblasenen Röhren

---

1) Liveing u. Dewar, Proc. of the Lond. Roy. Soc. 80. p. 156. 1880.

2) Moigno, Compt. rend. 30. p. 359. 1850.

versehenen Kugel; jede der Röhren trägt noch ein seitliches Rohr, von denen das eine mit einer Bessel-Hagen'schen Luftpumpe, das andere mit dem Gasentwicklungsapparat communicirt. Die Enden der Röhren tragen Schliffstücke, in welche die Electroden eingesetzt sind, und einfach durch Drehen der Schiffe können die Electroden zum Contact gebracht und zur Herstellung des Bogens voneinander entfernt werden.

Wollte ich dagegen mit grösserer Bogenlänge arbeiten, so war diese Versuchsanordnung nicht zu gebrauchen. Ich benutzte dann eine andere Vorrichtung, die Fig. 4 in einfachen Umrissen darstellen möge. An den mittleren kugelförmigen Theil *a* von etwa 9 cm Durchmesser war eine 1 cm weite Röhre *b* von 80 cm Länge angeblasen, die durch einen Kautschukschlauch mit einer zweiten *b'* von denselben Dimensionen communicirte. Seitlich war die kurze Röhre *c* mit der Quecksilberluftpumpe verbunden. Oben war endlich ein kurzes ebenfalls 1 cm weites Rohr *d* aufgeblasen von 10 cm Länge, auf das ein weites Rohr *e* aufgesetzt war, von welchem endlich ein Rohr *f* von 80 cm Länge nach unten führte und mit einem anderen *g* durch einen Schlauch verbunden war. In das Rohr *d* wurde die eine der beiden Electroden — der Apparat wurde nur mit Kohlenlicht benutzt — eingesetzt, sodass ihr Ende in den Mittelpunkt des kugelförmigen Theiles reichte, und in ihrer Lage durch 4 Kupferstäbe erhalten, welche an einen Kupferring angelöthet waren, der fest an die Kohle angeklemt war. Sodann wurde die weite Röhre *e* oben abgeschmolzen. Die Zuführung des Stromes zur oberen Kohle geschah durch Quecksilber, dass das Röhrensystem *f*, *g* und den Zwischenraum zwischen *c* und *d* ausfüllte und die 4 Kupferdrähte umspülte. Die untere Kohle schwamm im Rohr *b* auf Quecksilber, sodass einfach durch Heben oder Senken von *b'* die Distanz der Kohlen sich variiren liess.

Besonders wichtig schien es mir, mit diesem Apparat die Behauptung Grove's zu controliren, dass im Vacuum beide Kohlen entweder keine oder doch nur eine sehr geringe Temperaturdifferenz besitzen. Es wurde zu dem Zwecke

mehrmals sorgfältig getrocknete Luft in den Apparat eingeführt und mit der Luftpumpe auf weniger als  $\frac{1}{10}$  mm Druck evacuirt. Sobald dann der Strom der Gramme'schen Maschine das Bogenlicht erzeugt hatte, trat eine starke Drucksteigerung ein durch Entwicklung von Gasen an den glühenden Kohlen. Infolge dessen sank das Niveau des Quecksilbers im communicirenden Röhrensystem  $b\ b'$ , und der Abstand beider Electroden nahm beträchtlich zu, oft bis zu 2 cm, ohne dass der Bogen erlosch. Im Gegentheil war das Licht ausserordentlich stetig. Die Temperatur der Kohlen war dann nur wenig, aber doch mit Sicherheit erkennbar, verschieden, und bei der Unterbrechung des Stromes erlosch die Kathode etwas früher als die Anode. Wurde das Bogenlicht mehrmals wieder hergestellt, — nachdem jedesmal soweit als möglich evacuirt war — so nahm allmählich die Gasentwicklung ab, und als schliesslich eine Druckvermehrung kaum mehr zu constatiren war, verschwand gleichzeitig die Temperaturdifferenz der Kohlen. Da jedoch durch das langsame Zerstäubtwerden der Electroden immer neue Theile derselben in Glühhitze versetzt werden, ist es mir nicht gelungen, Drucke unter 1 bis 2 mm zu erreichen, sodass es unentschieden bleiben muss, ob nicht bei noch geringeren Drucken die Kathode sogar stärker glüht als die Anode.

In den gewöhnlichen Formen der Glimmentladung ist stets diese Erscheinung zu beobachten; die Kathode erscheint häufig roth- oder gar weissglühend, während die Anode dunkel ist. Dass jedoch auch Fälle der Glimmentladung existiren, bei denen die Temperatur der Anode höher ist, als die der Kathode, geht aus den bereits im ersten Paragraphen besprochenen Versuchen von Hittorf<sup>1)</sup> hervor.

§ 3. Das Spectrum des Bogens und der Kohlen.— Betrachtet man das Spectrum des Bogenlichtes, wie es in atmosphärischer Luft von gewöhnlichem Drucke sich bildet, so erscheint es continuirlich, nur selten sieht man einige Metalllinien auftreten. Im Moment aber, wo der Strom

1) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 112. 1884.

unterbrochen wird, blüht eine sehr grosse Anzahl heller Linien auf, die ihren Ursprung in den mineralischen Beimengungen der Kohlen haben. Bequemer gelingen spectrale Beobachtungen des Kohlenlichts, wenn man im Vacuum mit verhältnissmässig schwachem Strome operirt; man hat dann einmal den Vortheil, dass der Abstand der Kohlen bis auf 1 cm vergrössert werden kann, ohne dass der Bogen erlischt, und dass man infolge dessen das Spectrum von Kathode, Anode und Bogen leicht trennen kann. Vor allem aber hört dann das ausserordentlich intensive continuirliche Spectrum der im Bogen auf hoher Weissgluth befindlichen Kohlentheilchen auf, die hellen Linien der im Bogen vorhandenen Metaldämpfe zu verdecken.

Stets war man der Ansicht gewesen, dass die Gasatmosphäre, in der man das Bogenlicht erzeugte, ohne Einfluss auf das Spectrum des Bogens sei; erst Liveing und Dewar<sup>1)</sup> sahen im Bogen einer Wechselstrommaschine von de Meritens in Wasserstoff die Linien *C* und *F*, bei einer Siemens'schen Maschine mit gleichgerichteten Strömen dagegen die Linie *C* nur im Moment der Stromesunterbrechung, die *F*-Linie auch dann nicht deutlich. Der Grund dieses Verhaltens liegt allein in der übergrossen Helligkeit des continuirlichen Spectrums der weissglühenden Kohlentheilchen, denn bei meinen Versuchen im Vacuum waren die Wasserstofflinien sowohl wie die Metalllinien ausserordentlich scharf vom hellen Hintergrund des Bogens abgehoben, ganz unabhängig davon, ob der Apparat vorher mit Wasserstoff gefüllt war oder nur mit trockener Luft. Beobachtete man dagegen das von den Electroden selbst ausgesandte Licht, so war je nach den Umständen die Erscheinung eine wesentlich andere; ich möchte mit wenigen Worten den Vorgang zu schildern versuchen. Waren die Kohlen schon einige Zeit in Gebrauch, sodass die aus ihnen durch die hohe Temperatur freiwerdenden geringen Gas-mengen den Druck nicht mehr schnell änderten, wurde von einem Gehülfen das Bild des Lichtbogens auf dem Spalt des Collimators des Spectroskops mit Hülfe einer achromatischen

1) Liveing u. Dewar, Proc. of the Lond. Roy. Soc. 35. p. 75. 1883.

Linse entworfen und in wechselnder Reihenfolge durch eine geeignete Blende nur Licht von der oberen oder unteren Kohle ins Spectroskop gelassen. War der benutzte Strom schwach, so war das Spectrum der Kohlen lichtschwach und zeigte zuerst keine hellen Linien; nach kurzer Zeit jedoch waren die Wasserstofflinien, wie auch eine Menge Metalllinien, bald an der einen, bald an der anderen Kohle scharf sichtbar. Der Grund für diese plötzlichen Aenderungen wird wohl zum Theil darin zu suchen sein, dass der Bogen nicht gleichförmig um beide Kohlen herum brennt, sodass die dem Collimator zugewandten Theile der Kohlenspitzen bald intensiv glühen, bald nur schwach leuchten. Ist der Strom stark, so ist das Spectrum der Kohlen ein continuirliches.

Aus den angeführten Beobachtungen geht also hervor, dass an beiden Kohlen Wasserstoff frei wird; wir erhalten damit eine Bestätigung dafür, dass die zur electricischen Beleuchtung verwendeten Kohlen stets Kohlenwasserstoffe enthalten, die durch die hohe Temperatur des Bogens wenigstens partiell zersetzt werden. Ich möchte dabei an die Untersuchungen von Dewar<sup>1)</sup> erinnern, nach welchen es überhaupt unmöglich ist, Kohlen von ihren Wasserstoffverbindungen zu befreien, selbst nicht durch tagelanges Glühen im Chlorstrome. Welche Zusammensetzung diese Verbindungen haben mögen, welche Veränderungen sie bei den hohen Temperaturen des Lichtbogens erleiden, ist allerdings noch gänzlich unbekannt; einzig sicher ist wohl die von Berthelot nachgewiesene Bildung von Acetylen im Bogenlicht in einem Wasserstoffstrome. Ob man es aber in diesem Falle wirklich mit einer Synthese von Kohlenstoff und Wasserstoff zu  $C_2H_2$  zu thun hat, ob sich nicht auch im Vacuum Acetylen bildet, man also eher an eine partielle Zersetzung der in den Kohlen vorhandenen Kohlenwasserstoffe zu denken hat, scheint mir noch nicht erledigt.

§ 4. Die Zerstäubung der Electroden. — Unter den üblichen Versuchsbedingungen beschränkt sich bei der Glimmentladung der Process der Zerstäubung auf die

1) Dewar, Proc. of the Lond. Roy. Soc. 30. p. 87. 1880.



Kathode; soweit diese reicht, ist die Glaswand des Vacuumrohres mit einem ausserordentlich dünnen spiegelnden Beschlag bedeckt, der namentlich bei Anwendung dünner Platindrähte sich rasch bildet. Die Oberfläche der Electrode ist nach einigem Gebrauch in feine Spitzen und Haare aufgelockert, wie man es besonders deutlich bei dem schwer flüchtigem Aluminium beobachtet. Als aber Hittorf die Ströme seiner Batterie ohne eingeschaltete Widerstände durch ein mit Stickstoff oder Wasserstoff von etwa 50 mm Druck gefülltes Vacuumrohr schickte, wurden beide Iridiumelectroden weissglühend, ja begannen zu schmelzen, und gleichzeitig verschwand das Glimmlicht auf der Kathode und mit ihm der Metallabsatz. Danach scheint es mir nothwendig, den in normalen Fällen gebildeten Metallspiegel nicht einer durch die hohe Temperatur des Glimmlichtes bedingten oberflächlichen Verdampfung zuzuschreiben, sondern einer besonderen Einwirkung des Glimmlichtes. Für eine solche spricht auch eine Beobachtung von Dewar, dass ein bei Magnesiumelectroden gebildeter Metallbeschlag einige Zeit nach der Stromunterbrechung wieder verschwunden war; vielleicht besitzen die Gastheilchen, während sie die Glimmentladung leiten, grössere Affinitäten und bilden Verbindungen mit dem Metall der Kathode, die unter Umständen allmählich von der Electrode resorbirt werden können. Aehnliches fanden Warren de la Rue und H. Müller für Palladiumelectroden in Wasserstoffröhren. Unter den Versuchsbedingungen dagegen, wo beide Electroden auf intensive Weissgluth und sogar bis zur Schmelztemperatur erhitzt werden, senden beide Metaldämpfe aus, wie es in grösserem Umfange bei Bogenlicht zwischen Metallelectroden auftritt.

Dass für diese letztere Entladungsart die Verdampfung der Electroden sowohl in Luft, wie auch anderen Gasen und im leeren Raume eintritt, ist schon lange bekannt. Die hohe Temperatur der Electroden ist die Hauptursache ihrer Abnutzung, und nur in zweiter Linie wird durch die Verbrennungsprocesse der Verbrauch grösser. In Luft wird infolge ihrer höheren Temperatur die Anode schneller auf-

gebraucht, als die Kathode, und ferner werden die Electroden um so schneller zerstäubt, je leichter sie verdampfbar sind.

Etwas complicirter ist der Vorgang bei Kohlenlicht. Bei sehr kräftigen Strömen (400—500 Bunsen'sche Elemente) wird nach Despretz<sup>1)</sup> der Kohlenstoff der Electroden in Dampf verwandelt, an der Oberfläche der Kohlen sieht man einzelne zusammengeschmolzene rundliche Körner. Bei schwächeren Strömen, wie man sie gegenwärtig zur electrischen Beleuchtung benutzt, kann von einer Verdampfung der Electroden keine Rede sein. Wie schon bemerkt, enthalten alle derartigen Kohlen Kohlenwasserstoffe; bei der hohen Temperatur werden diese zersetzt und lassen die Electrode als poröses Kohlenstoffgefüge zurück, das allmählich abgebröckelt wird. In meinem Fig. 4 abgebildeten Apparat fand ich dem entsprechend zahlreiche grössere Kohlentheilchen in den feinen Beschlag der Glaswände eingebettet, der sich in Salpetersäure leicht löst und daher nicht aus reinem Kohlenstoff, sondern Verbindungen desselben bestehen muss.

Da ferner im Vacuum keine Temperaturverschiedenheit zwischen beiden Electroden mehr zu constatiren war, wird dann auch der Verlust an beiden gleich sein, natürlich abgesehen von Ungleichheiten in der Porosität und Zusammensetzung der Kohlen.

Fassen wir die bisher erhaltenen Resultate noch einmal kurz zusammen: Es gibt kein unbedingt sicheres Kennzeichen dafür, ob man eine gegebene Entladung als Glimmentladung oder Bogenentladung anzusehen hat, sondern es existirt zwischen den so sehr verschiedenen typischen Fällen beider Formen ein stetiger Uebergang.

Ehe ich zu den mit dem ersten Theile innig verwachsenen Betrachtungen des zweiten übergehe, möchte ich in § 5 eine Beobachtung mittheilen, die mir nicht ohne Interesse erscheint.

§ 5. Ueber Aenderungen des Druckes im Bogenlicht. — Nach Warren de la Rue und H. Müller<sup>2)</sup> soll bei Stromschluss im Bogenlicht eine Druckvermehrung ein-

1) Despretz, Compt. rend. 28. p. 757. 1849; 29. p. 48. u. 709. 1849.

2) Warren de la Rue u. H. Müller, Phil. Trans. 171. p. 65. 1879; Proc. of the Lond. Roy. Soc. 29. p. 286. 1879.

treten, die unmittelbar mit der Stromesunterbrechung wieder verschwindet. Nach ihren Angaben belief sich die Drucksteigerung bei einem ursprünglichen Drucke von  $1\frac{1}{2}$  bis 28 mm auf 25 bis 50 Proc. Indessen waren Zweifel an der Existenz der Erscheinung berechtigt, da die Versuche<sup>1)</sup> es kaum für möglich erscheinen lassen, dass die Verfasser mit normalem Bogenlicht operirt haben. Durch Zufall habe ich indessen Gelegenheit gehabt, ein Phänomen zu beobachten, das mir in der That dafür zu sprechen scheint, dass die Entladung eine momentane Drucksteigerung hervorruft. Ich hatte in den Fig. 4 dargestellten Apparat Wasserstoff eingeleitet, sodass der Druck sich auf etwa 50 mm belief; sobald ich dann durch Heben des Quecksilbers Contact zwischen beiden Kohlen hergestellt hatte, bildete sich der Bogen, das Quecksilberniveau sank und mit ihm die untere Kohle, bis die Länge des Bogens 3 cm betrug. Fig. 5 möge bei dieser Länge das Aussehen des Bogens andeuten. Der Kern desselben ist von einer helmförmigen, stark leuchtenden Hülle umgeben, um welche sich wieder eine lichtschwächere Schicht lagert. Da plötzlich ging die untere Kohle wieder in die Höhe bis zum Contact mit der oberen, und das Spiel begann von neuem. Während einer Minute wiederholte sich die Erscheinung etwa 50 mal. Offenbar war eine Druckzunahme eingetreten, die den Abstand der Kohlen derartig vergrößerte, dass der Bogen erlosch; sofort aber ging der Druck auf seine frühere Grösse zurück, die Kohlen kamen zur Berührung etc. Sehr gut würde sich diese Erscheinung aus der Hypothese von A. Schuster<sup>2)</sup> erklären, wonach der Vorgang der Electricitätsleitung in Gasen dadurch zu Stande kommen soll, dass die Molecüle dissociirt werden, dass aber, sobald der electricische Strom unterbrochen wird, der alte Zustand des Gases sich wieder herstellt.

## II. Theil.

Das Endresultat des ersten Theiles unserer Untersuchung war, dass Bogenentladung und Glimmentladung nicht scharf

1) S. Goldstein's Kritik in den Fortschritten der Physik im Jahre 1880, p. 858.

2) Schuster, Proc. of the Lond. Roy. Soc. 37. p. 317. 1884.

unterschieden werden dürfen, dass insbesondere auch der im allgemeinen ausserordentlich grosse Unterschied im Widerstand der Gasstrecke nicht immer vorhanden ist. Ich möchte in diesem zweiten Theile den Versuch machen, zu zeigen, wodurch die verschiedene Grösse des Widerstandes bedingt ist, und dass dieselbe Ursache im Spiele ist in allen Fällen der Gasentladung, in welchem der Widerstand des Gases klein ist. Ich halte es für das Zweckmässigste, wenn ich gleich von vornherein meine Ansicht darlege und sie sodann in den einzelnen Fällen (§ 6—11) als richtig nachweise.

Sobald bei einer Gasentladung der Widerstand des Gases gering ist, sind heisse Metalldämpfe entgegen, die die Leitung übernehmen.

§ 6. Zunächst möchte ich an einige Versuche erinnern, welche zeigen, dass glühende Metalldämpfe unvergleichlich besser leiten als Stickstoff, Wasserstoff oder Luft.

De la Rive<sup>1)</sup> benutzte zu dem Zwecke ein kugelförmiges Gefäss mit vier Tubulaturen; zwei einander gegenüberliegende dienten als Electroden einer Inductionsrolle, die beiden anderen zur Erzeugung von Bogenlicht; der Druck des Stickstoffes betrug 2—3 mm. Zunächst wurde durch ein in den Stromkreis des Inductionsstromes eingeschaltetes Galvanometer die Stromstärke gemessen, ohne dass der Volta'sche Bogen hergestellt war. Sodann wurde das Bogenlicht hervorgerufen und die neue Stromstärke abgelesen.

Es ergab sich dann ein starkes Anwachsen des Leitungsvermögens, als der Bogen zwischen Silber- und Kupferelectroden überging; weniger gross war die Aenderung bei Aluminiumelectroden, am schwächsten bei Zink-, Cadmium-, Magnesiumpolen. Besonders merklich war die Zunahme des Leitungsvermögens bei Kohlenlicht. Dagegen ergaben Eisen und Platinelectroden keine merkliche Aenderung, woraus hervorgeht, dass die Zunahme des Leitungsvermögens in den übrigen Fällen nicht von der höheren Temperatur des Stick-

---

1) de la Rive, Phil. Mag. (4) 29. p. 553. 1865; Compt. rend. 60. p. 1002. 1865.

stoffes bedingt sein kann. Der Versuch ist aber insofern sehr ungünstig und gestattet keinen Schluss auf das wahre Leitungsvermögen der verschiedenen Metaldämpfe, weil, wie Hittorf's Arbeiten zur Genüge gezeigt haben, der Hauptwiderstand der Glimmentladung in der Umgebung der Kathode sich befindet, und bei der grossen Entfernung der Electroden in de la Rive's Versuch die Bildung von Metaldämpfen ausschliesslich im Bereich des positiven Büschellichtes geschieht. Ausserdem ist zu bedenken, dass bei derartiger Versuchsanordnung es nicht allein darauf ankommt, was für Metaldämpfe zugegen sind, sondern zweifellos auch ihre Menge, dass ein leichter flüchtiges Metall daher eine weit bessere Leitung erzeugen kann, als ein weniger flüchtiges, obgleich das wahre Leitungsvermögen im ersten Falle weit schlechter sein kann als im zweiten.

Als zweiten Beleg für das relativ gute Leitungsvermögen heisser Metaldämpfe möchte ich einige Beobachtungen von Hittorf<sup>1)</sup> anführen. „Bei den Temperaturen unserer Flammen, für welche die Gase derselben einen so bedeutenden electrischen Widerstand besitzen, haben andere Dämpfe ein viel grösseres Leitungsvermögen. Von allen Gasen leitet am besten der Dampf des Kaliums. Nach demselben folgt das Natrium. Die übrigen Metalle, soweit sie hier flüchtig sind, verändern im gasförmigen Zustande wenig die Ablenkung.“ An einer anderen Stelle zeigte Hittorf, dass in der nicht-leuchtenden Bunsen'schen Flamme Quecksilberdampf weit schlechter leitet als Kaliumdampf. Dass im Bunsen'schen Brenner die meisten Metalle noch keine merkliche Aenderung des Widerstandes hervorrufen, hat wohl den Grund, dass diese Temperatur zu reichlicher Dampfentwicklung nicht genügt.

Nach diesen Vorbemerkungen will ich nun dazu übergehen, in den einzelnen Fällen, wo Gasstrecken relativ geringen Widerstand besitzen, das Vorhandensein glühender Metaldämpfe und ihren Einfluss nachzuweisen.

§ 7. Was zunächst das Bogenlicht bei Metallelectroden anlangt, ist es allgemein bekannt, dass die Farbe des Lichtes

---

1) Hittorf, Pogg. Ann. 136. p. 229. 1869.

wesentlich variirt mit der Art des verwendeten Metalles, dass im Spectrum des Bogens die betreffenden Metalllinien sehr scharf hervortreten. Nach Casselmann<sup>1)</sup> ist der Lichtbogen für verschiedene Metalle verschieden lang, und zwar soll er um so grösser sein, je leichter dieselben verdampfen. In folgende Reihe ordnete er die Metalle an: K<sub>a</sub>, Na, Zn, Hg, Fe, Sn, Pb, Sb, Bi, Cu, Ag, Au, Pt, sodass Kalium den grössten, Platin den kleinsten Bogen liefert. Wie schon bemerkt, kommen wesentlich zwei Factoren in Betracht, das wahre Leitungsvermögen der Dämpfe und die Menge, in der sie gebildet werden; da ferner das Leitungsvermögen in hohem Maasse von der Temperatur abhängt, ist es nicht zu verwundern, dass die Versuche Hittorf's in der Bunsenflamme und Casselmann's im Bogenlicht verschiedene Resultate ergeben haben.

§ 8. Weniger leicht zu übersehen sind die Verhältnisse im electrischen Kohlenlicht. Dass auch hier Metaldämpfe, die man in den Bogen bringt, die Leitungsfähigkeit erhöhen, ist nach Obigem selbstverständlich, und brauche ich wohl bloss auf einige Angaben von Casselmann zu verweisen. Danach erhält man einen grösseren Lichtbogen zwischen Kohlen, die mit Metallsalzen getränkt sind, als zwischen den Kohlen, wie man sie im Handel bezieht.

Dass aber auch in den Kohlen, wie sie jetzt in so grosser Zahl für electrische Bogenlichter benutzt werden, Metallverbindungen in reichlichem Maasse vorhanden sind, lässt sich mit geringer Mühe zeigen. Wie allgemein bekannt, zeigen sich im Spectrum des Kohlenbogens eine Menge heller Linien, die besonders deutlich werden im Moment der Stromesunterbrechung, wo das continuirliche Spectrum der weissglühenden Kohlentheilchen verblasst. Besonders deutlich ist die Natriumlinie; ausserdem beobachtet man stets Linien von Calcium, Eisen und Magnesium. Das Ergebniss ist stets das gleiche, aus welcher Fabrik auch die Kohlen bezogen sind, und bietet es vielleicht einiges Interesse, damit die verschiedenen Ansichten über die Herstellung guter Kohlen zusam-

1) Casselmann, Pogg. Ann. 63. p. 576. 1844.

menzustellen. Nach Carré<sup>1)</sup> werden gute Kohlen dadurch gewonnen, dass man Kienruss und gepulverte Steinkohle innig gemischt comprimirt und stark glüht nach einem Zusatz von Eisen, Antimon oder Zinn, oder dass man die Kohlen längere Zeit in Metallsalzlösungen kocht. Aehnlich verfahren Archereau und Gauduin. Ganz entgegengesetzt verfährt Jacquelain<sup>2)</sup>, indem er alle Mineralbestandtheile der Kohlen durch Glühen in einem Chlorstrom, durch Behandlung mit geschmolzener Potasche oder durch Eintauchen in Fluorwasserstoffsäure zu entfernen sucht. Wie jedoch Liveing und Dewar<sup>3)</sup> gezeigt haben, gelingt es nach diesen Methoden durchaus nicht, Eisen, Magnesium, Natrium und Calcium völlig zu entfernen.

§ 9. Während electriche Entladungen in Luft, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlensäure grosse electromotorische Kräfte erfordern, weil sie einen sehr hohen Widerstand zu überwinden haben, gelingt es bei Gegenwart der gutleitenden Metalldämpfe mit verhältnissmässig wenig Elementen sogar Bogenentladung zu erreichen. So erhielt Hittorf<sup>4)</sup> bei Cylindern von Retortenkohle, deren Enden in einem Abstände von 3—4 mm in eine Bunsen'sche Flamme mit Kaliumsalzperle tauchten, Bogenlicht mit 80 seiner Elemente, ohne dass es nöthig war, vorher Contact zwischen den Kohlen herzustellen. Dabei war es ganz unwesentlich, ob beide Spitzen oder nur die Kathode sich im Kaliumdampf befand, weil wie bei der Glimmentladung in verdünnten Gasen auch in den reinen Flammgasen die Umgebung der Kathode einen weit grösseren Widerstand darbietet.

Ferner beobachtete Gassiot bei Anwendung einer Säule von 400 Grove'schen Elementen beim Stromschluss, dass zunächst die Entladung zwischen Coaks- oder Metallkugeln discontinuirlich war, sehr schnell aber in die continuirliche

---

1) Carré, Compt. rend 84. p. 346. 1877.

2) Jacquelain, Compt. rend. 94. p. 873. 1882.

3) Liveing und Dewar, Proc. of the Lond. Roy. Soc. 30. p. 155. 1880; 83. p. 406. 1882.

4) Hittorf, Pogg. Ann. Jubelband. p. 440 u. f. 1874.

Bogenentladung übergang, jedenfalls, weil durch den überspringenden Funken Metaldampf sich gebildet hatte, welcher durch seinen geringen Widerstand einen stetigen Strom von grosser Intensität entstehen liess.

Bekannt ist endlich der Kunstgriff von Herschel, die Bogenentladung, statt durch Berührung der Electroden, durch einen Funken einzuleiten, den man zwischen ihnen überspringen lässt.

§ 10. Schon an einer früheren Stelle habe ich Veranlassung gehabt, Beobachtungen von Hittorf<sup>1)</sup> anzuführen, nach welchen er in Stickstoff von 53 mm Druck mit seiner Batterie von 1600 Elementen Ströme von bedeutender Grösse erhalten hatte. Es war die beträchtliche Abnahme des Widerstandes der Gasstrecke, wie ich schon hervorhob, von intensiver Weissgluth der Electroden begleitet, sodass man wohl auch hier die reichliche Bildung von Metaldämpfen als die Ursache der Erscheinung ansehen kann. Noch viel deutlicher zeigt sich der Einfluss der Weissgluth der Electroden in späteren Versuchen von Hittorf<sup>2)</sup> und Goldstein<sup>3)</sup>, welche bei sehr geringem Gasdruck angestellt sind. Jene älteren Beobachtungen zeigen nämlich die Widerstandsabnahme nicht so eclatant, weil allerdings durch den gebildeten Metaldampf der Widerstand an der Kathode ausserordentlich verringert wird, durch den höheren Gasdruck aber der Widerstand des positiven Lichtes wächst.

Erwärmt man aber in stark verdünnten Gasen die Kathode durch geeignete Mittel bis zur Verdampfung, so wird man selbst mit geringen electromotorischen Kräften relativ grosse Stromstärken erzielen. In der That haben Hittorf und Goldstein diese Erscheinungen beobachtet; von ihren Resultaten will ich nur das eine anführen, dass bei einem Electrodenabstand von 6 cm ein kleines Element bei möglichst weit getriebener Verdünnung und starkem Weissglühen der Kathode einen stetigen Strom lieferte.

---

1) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 111 u. f. 1894.

2) Hittorf, Wied. Ann. 21. p. 133 u. f. 1894.

3) Goldstein, Wied. Ann. 24. p. 81 u. f. 1885.



§ 11. Warren de la Rue und H. Müller<sup>1)</sup> haben in einer umfangreichen Untersuchung zeigen wollen, dass allein durch die Aenderungen der Gasdichte Glimmentladung und Bogenentladung ineinander übergehen. Ich möchte auch hier unter Hinweisung auf die Kritik von Goldstein<sup>2)</sup> meinen Zweifel wiederholen, ob die Verfasser thatsächlich Bogenlicht gehabt haben; es ist ihre Behauptung auch in directem Widerspruch mit der schon vorher erörterten Beobachtung Gassiot's über den Uebergang der Glimmentladung in die Bogenentladung bei ungeändertem Drucke. Auch nach den vorstehenden Entwicklungen ist der Druck von wenig Belang, sondern es kommt vor allem darauf an, ob glühende Metalldämpfe den Raum zwischen den Electroden erfüllen oder gewöhnliche Gase. Ich habe ferner bei meinen Versuchen Gelegenheit gehabt, den Uebergang einer Bogenentladung in eine Glimmentladung zu beobachten, der sich leicht aus demselben Princip erklärt. Verlängerte ich nämlich bei einem Drucke von 10 mm den Bogen in dem Fig. 4 gezeichneten Apparat, bis der Widerstand sich bis zum Erlöschen desselben steigerte, so trat unmittelbar vorher an der Anode eine etwa 1 mm dicke, 10 mm lange Schicht blauen Glimmlichtes auf, das nach wenigen Secunden mit dem Licht zwischen den Kohlen verschwand. Während also der Widerstand zu gross wurde, als dass die Bogenentladung fortbestehen konnte, reichte das Leitungsvermögen der noch glühenden Metalldämpfe noch kurze Zeit hin, einen weit schwächeren Strom unter Glimmlichterscheinung zu ermöglichen.

§ 12. In diesem Schlussparagraphen möchte ich einige Bemerkungen über das Leuchten der Gase und Dämpfe machen, die sich an einige schon mehrmals angeführte Versuche von Hittorf anknüpfen. Kamen bei electricischen Glimmentladungen die Electroden auf intensive Weissgluth, so verschwand jedesmal das blaue Glimmlicht. Aus diesen,

---

1) Warren de la Rue und H. Müller, Phil. Trans. 171. p. 65. 1879.

2) Goldstein, Fortschritte der Physik im Jahre 1880. p. 858.

sowie früheren Beobachtungen von Hittorf<sup>1)</sup> und W. Siemens<sup>2)</sup> über das Leuchten der Flammen, ergibt sich, dass bis zur Temperatur des schmelzenden Iridiums Gase kein merkliches Emissionsvermögen besitzen, wenn sie nicht in chemischen Processen oder electricischen Entladungen begriffen sind. Das Aufhören des Leuchtens bei Weissgluth der Electroden kann man vielleicht dadurch erklären, dass die heissen Metaldämpfe die Leitung übernehmen, und nur ein verschwindender Bruchtheil des Stromes durch den Wasserstoff oder Stickstoff geht, der nicht genügt, sie zum Leuchten zu bringen. Die Bedingungen, unter denen Metaldämpfe Licht aussenden, mögen ganz anderer Art sein, als die für die gewöhnlichen Gase gültigen. Dass wenigstens Quecksilberdampf in Vacuumröhren, aus denen jede Spur anderer Gase vertrieben ist, wesentlich verschiedene, und zwar einfachere Erscheinungen darbietet, haben die Untersuchungen von Schuster<sup>3)</sup> gezeigt, wonach die electricische Entladung dann ohne Glimmlicht, dunklen Raum und Schichtung geschieht. Ob die Erklärung Schuster's, dass der Grund in der einfacheren Constitution des Quecksilberdampfes liegt, richtig ist, oder ob nicht Metaldämpfe überhaupt diese einfache Entladungsart zeigen, scheint mir einer näheren Untersuchung werth. Da ich selbst bei 3 cm langem Bogen stets eine ungeschichtete, zusammenhängende Lichtmasse den Zwischenraum zwischen den Electroden ausfüllen sah, scheint mir sogar die zweite Möglichkeit glaubwürdiger.

Physik. Inst. der Univ. Strassburg i./E.

---

1) Hittorf, Wied. Ann. 7. p. 587—591. 1879.

2) W. Siemens, Wied. Ann. 18. p. 311. 1883.

3) Schuster, Proc. of the Lond. Roy. Soc. 37. p. 317. 1884.