universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Encyklopaedie der Naturwissenschaften

Elektricität und Magnetismus

Winkelmann, Adolph August

1893

Die Elektricitätsleitung der Gase

urn:nbn:at:at-ubi:2-7856

Ueber eine Klassification dieser Elektrolyte nach ihrem Leitungsvermögen s, besonders die unten angeführten Arbeiten von BARTOLI[1]).

Für einige häufig vorkommende, sehr schlechte Leiter mögen hier die specifischen Widerstände nach KOLLER[2]) angeführt werden.

	spec. Widerstand (Hg = 1)		spec. Widerstand (Hg = 1)
Petroleumäther	$2000 \cdot 10^{15}$	Tylol	$10 \cdot 10^{15}$
Terpentinöl	$50 \cdot 10^{15}$	Wasser	$10 \cdot 10^{8}$
Ricinusöl	$2 \cdot 10^{15}$	Alkohol	$200 \cdot 10^{8}$
Leinol	$6 \cdot 10^{15}$	Aether	$200 \cdot 10^{8}$
Mandelöl	$30 \cdot 10^{15}$	Glas (schwerschmelzb.)	$100 \cdot 10^{18}$
Olivenöl	$100 \cdot 10^{15}$	Glas (leichtschmelzbar)	$10 \cdot 10^{18}$
Schwefelkohlenstoff	$3 \cdot 10^{15}$	Guttapercha	$100 \cdot 10^{18}$
Vaselinöl	$2000 \cdot 10^{15}$	Ebonit, Hartgummi, Paraffin	über 10^{22}
Benzol	$200 \cdot 10^{15}$		
Toluol	$2 \cdot 10^{15}$		

Diese Zahlen können natürlich nur ganz ungefähr die Grössenordnung der Widerstände angeben. GRAETZ.

Die Elektricitätsleitung der Gase.

I. Allgemeiner Ueberblick über die Erscheinungen des Elektricitätsüberganges durch Gase.

In diesem einleitenden Kapitel soll erstens eine Reihe von grundlegenden Versuchen geschildert werden. Wir wollen auf Grund derselben zweitens eine präcise Nomenclatur aufstellen. Drittens soll darin eine Anzahl von Specialuntersuchungen nähere Erörterung finden. Alle folgenden Kapitel behandeln gewisse Detailfragen aus dem vorliegenden Gebiet in grösserer Ausführlichkeit; ich habe diesen Weg eingeschlagen, um die Uebersicht zu erleichtern und aus dem ganzen Stoff die wichtigsten Punkte für sich herauszuschälen. Es war natürlich nicht zu vermeiden, dass hier oder dort auf andere Kapitel verwiesen werden muss.

Wir wollen aus Bequemlichkeitsgründen die Gasentladungen bei grösserer Dichte und in verdünnten Gasen getrennt betrachten. Wir dürfen uns jedoch nicht verhehlen, dass diese Trennung etwas Gezwungenes und Willkürliches in sich birgt. Es lässt sich nämlich zeigen, dass die Entladungen bei grösserer beziehungsweise geringerer Dichte zwar in ihren extremen Formen sehr verschieden erscheinen, dass aber stetige Uebergänge zwischen beiden Gruppen sich herstellen lassen.

1) Als Stromquellen hat man theils Elektrisirmaschine und Induktorium,

[1]) Literatur über sehr schlecht leitende Elektrolyte: SAID EFFENDI, Compt. rend. 68, pag. 1565. 1869. DOMALIP, Wien. Ber. 75 (2), 1877. GRUSS u. BIERMANN, Wien. Ber. (2) 77, 1878. ROUSSEAU, Compt. rend. 2, pag. 701. 1839. BROOKS, Elektrotechnische Ztschr. 2, pag. 112. 1881. AYRTON u. PERRY, Proc. Roy. Soc. 27, pag. 219. 1878. BARTOLI, Atti della R. Acad. dei Lincei Rendic. 282; 1, pag. 546, 569, 572, 586. 1885; (4) 2, pag. 132. 1886. (Eine sehr grosse Menge von organischen Substanzen im festen und flüssigen Zustand).

[2]) KOLLER, EXNER Repertorium Bd. 26, pag. 1. 1890.

theils constante Batterien verwandt. Im ersteren Falle ist die Spannung der Elektricität gross, die verfügbare Elektricitätsmenge relativ gering; im zweiten Falle muss man sich mit geringeren Spannungen begnügen, hat aber bei richtiger Wahl der Batterien grosse Elektricitätsmengen zur Verfügung.

Von der Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit den Elektroden zugeführt wird, hängt nun wesentlich die Art ab, wie die Elektricität die Gasstrecke durchsetzt. Unter geeigneten Bedingungen tritt stationäre Strömung ein. Bei ungenügender Zufuhr ist dagegen die Entladung unbedingt intermittirend. Ist nun die Elektricitätsquelle eine Elektrisirmaschine oder ein Induktorium, so vollzieht sich die Zufuhr von Elektricität zu den Elektroden langsam. Nachdem die Potentialdifferenz an den Elektroden so weit angewachsen ist, dass der Ausgleich sich vollzieht, verfliesst eine kurze Zeit, bis von der Stromquelle her wieder genügender Zufluss eingetreten ist. Die Gasmasse kehrt dann nach jeder Partialentladung vorübergehend in ihren alten Zustand zurück. Beim Induktorium geht im Allgemeinen nur der Oeffnungsstrom durch das Entladungsrohr, weil er den Schliessungsstrom an Spannung weit übertrifft. Bei Benutzung einer grossen Batterie von hoher elektromotorischer Kraft und geringem Widerstande erfolgt unter geeigneten Umständen der Uebergang stetig, weil der Zufluss von Elektricität ein reichlicher ist.

Begreiflicher Weise kann man für den Fall des stationären Stromes eher darauf rechnen, die Gesetze zu finden, welche den Leitungsvorgang wiedergeben, als für den Fall discontinuirlicher Entladungen. Selbst der einfachere Fall der stationären Strömung hat bisher eine vollständig erschöpfende Darstellung nicht gefunden. In Anbetracht der ausserordentlich umfangreichen Literatur und der weit divergirenden Meinungen ist es sehr schwer, das Thatsächliche scharf zu formuliren und die zahlreichen Details in übersichtlicher Weise zu verknüpfen.

2) Die Elektricitätsleitung eines Gases ist hauptsächlich bedingt durch die folgenden Faktoren:

1) Natur des Gases.
2) Dichte des Gases.
3) Form und Natur der Elektroden.
4) Art der Elektricitätszufuhr.

Endlich 5) spielt in vielen Fällen auch die Form des Gefässes, in welchem der Process sich abspielt, eine Rolle.

A. Elektricitätsleitung der Gase bei grösserer Dichte.

3) Zerstreuung der Elektricität.

In Gasen von höherer Dichte und niedriger Temperatur hat man bei Anwendung geringer Spannungen bisher keine eigentliche Leitung beobachten können. Dagegen hat man lange angenommen, dass die an einem elektrisirten Leiter anliegenden Gastheilchen gleichnamig geladen werden, durch Abstossung in den Raum hinauswandern, neuen Theilchen Platz machen, welche dasselbe Schicksal erleiden. Man bezeichnete eine solche Art der Zerstreuung als eine convective. Nach den genauen Untersuchungen von Hittorf und Warburg isoliren reine staubfreie Gase niedere Spannungen vollkommen. (Ausführliches weiter unten.)

4) Sobald jedoch die Spannung an den Elektroden über einen gewissen Betrag wächst, tritt ein wirklicher Uebergang der Elektricität ein. Dieser Uebergang kann sich in verschiedener Weise vollziehen.

5) Bei mässiger Dichte des Gases erscheinen an den Stellen der grössten elektrischen Dichte glühende Metalltheilchen in Form eines kleinen Büschels an

der positiven Elektrode. Im Spektrum der Gasstrecke beobachtet man dementsprechend die Metalllinien. Die nebenstehende Figur giebt eine Abbildung einer solchen Büschelentladung. Büschel entstehen besonders leicht an Spitzen und Kanten geladener Leiter; *ceteris paribus* sind sie an positiven Elektroden viel ausgedehnter, als an negativen. Die Ausbreitung der Büschel hängt von der Dichte des Gases, sowie seiner Natur ab. In Wasserstoff sind die Büschel relativ lang, in Sauerstoff kurz, in Leuchtgas kaum herstellbar.

Mit der Büschelentladung ist ein Transport von Materie verbunden, wie man am einfachsten mit einem kleinen, leicht drehbaren Flugrädchen nachweisen kann: »Elektrischer Wind«.

(P. 77.)

6) Zuweilen ist die negative, zuweilen die positive Elektrode von einer schwachen nebelartigen, bläulichen Lichtmasse umhüllt. Glimmlicht. Die speciellen Bedingungen für das Auftreten von Glimmlicht lassen sich schwer präcisiren; am leichtesten ist es an feinen Spitzen zu beobachten. Die Glimmentladung ist ein ständiger Begleiter der Büschel, wie der sogleich zu erwähnenden Funkenentladung. Genaueres hat darüber O. LEHMANN[1]) publicirt.

7) Wenn wir bei gegebenen Elektroden in gegebenem Abstande allmählich die Spannung steigern, so tritt plötzlich disruptive Entladung in einzelnen Funken ein.

Funkenentladung. Die Funken sind von einer mehr oder minder ausgebildeten Lichthülle umgeben. Bis vor kurzer Zeit nahm man allgemein an, dass der Funke in dem Moment überspringt, wo ein bestimmter von der Art der Elektroden, der Natur und der Dichte des Gases abhängiger Potentialwerth erreicht ist. Man nennt diesen Potentialwerth das der betreffenden Schlagweite zugehörige Entladungspotential. Nach neueren Versuchen von JAUMANN[2]) ist jedoch das Entladungspotential auch wesentlich beeinflusst von der Geschwindigkeit, mit der die Potentialänderung auf den Elektroden sich vollzieht.

Die Funkenentladung ist um so energischer, die mitgerissenen Metalltheilchen leuchten um so heller, je grösser die entladene Elektricitätsmenge ist. Die Funken einer grossen Leydener Batterie sind deshalb weit intensiver *ceteris paribus*, als diejenigen eines einfachen Conduktors. Büschelentladung und Funkenentladung gehen in einander über. Ueber die oscillatorischen Entladungen von Leydener Flaschen sehe man Abschnitt VII der Elektrostatik.

8) Wenn man endlich die mit einer ergiebigen Stromquelle verbundenen Elektroden auf kurze Zeit zur Berührung bringt und dann von einander trennt, so dass ein Zwischenraum von einigen Millimetern zwischen den Elektroden sich befindet, so wird der Uebergang der Elektricität ein continuirlicher. Die Elektroden, meist Kohlenstäbe, gerathen in helle Gluth an ihren Enden; dazwischen sieht man eine intensive, leuchtende, aus mehreren Schichten zusammengesetzte Gasmasse, den Lichtbogen. Näheres siehe Kapitel V.

B. Elektricitätsleitung in verdünnten Gasen.

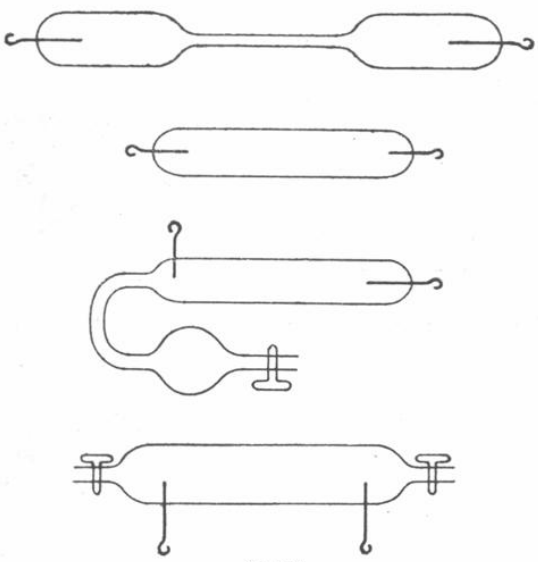
9) Entladungsapparate. Für genauere Versuche sind nur Entladungsapparate aus Glas brauchbar, in welche die Elektroden völlig dicht eingeschmolzen

---

[1]) LEHMANN, WIED. 11, pag. 686. 1880.

[2]) JAUMANN, Wien. Ber. 97, pag. 765. 1888.

sind. Die Elektroden wählt man am besten aus Aluminium, weil es im Gegensatz zu anderen Metallen nur in geringem Grade der Zerstäubung durch den Entladungsvorgang unterliegt. Die Verbindung der Elektroden mit den äusseren Leitungen muss durch Platin erfolgen, soweit die Einschmelzstellen reichen; anderenfalls wäre auf luftdichten Abschluss nicht zu rechnen, weil nur für Platin der Ausdehnungscoëfficient mit dem des gewöhnlichen Glases fast völlig übereinstimmt. Je nach dem erstrebten Zweck ist die Form der Entladungsröhren sehr verschieden. Einige der gebräuchlichsten Formen sind nebenstehend skizzirt.



(P. 78.)

10) Präcise Nomenclatur.[1])

Wir setzen im Entladungsrohr einen Druck von etwa 1 *mm* voraus. Unmittelbar um die Kathode zeigt sich ein schmaler, oft schwer wahrnehmbarer, heller Saum. Concentrisch zur Kathode schliesst sich daran eine dickere, weniger leuchtende und deshalb durchsichtige Schicht, der dunkle Kathodenraum. Daran stösst eine nach der Kathode zu scharf begrenzte Schicht, die helle Kathodenschicht. Von ihr gehen in der Richtung auf die Anode die Glimmlichtstrahlen aus, die um so verwaschener erscheinen, je weiter man sie nach der Anode zu verfolgt.

Von der Anode geht das positive Licht aus; es zerfällt in eine Reihe abwechselnd hellerer und dunklerer gekrümmter Schichten. Die Glimmlichtstrahlen sind von der ersten Schicht des positiven Lichtes durch den dunklen Trennungsraum geschieden.

Abhängigkeit der Entladung vom Druck.

11) Die beiden Elektroden mögen sich in einer Kugel befinden. Die Luft sei möglichst vollständig entfernt. Schaltet man dann den Apparat in den Schliessungskreis einer Influenzmaschine oder eines Induktoriums ein, so geht die Elektricität erst bei äusserst hohen Spannungen durch das Vacuum. Wird eine Spur von Gas zugelassen, so wird die erforderliche Spannung etwas geringer, aber die einzelnen Entladungen folgen einander auch dann noch in langen Intervallen. Je mehr Gas zugelassen wird, um so kleiner wird die nothwendige Spannung; bei constanter Elektricitätszufuhr folgen die Entladungen rascher auf einander. (Die Untersuchung erfolgt nach der Methode des rotirenden Spiegels). Bei einem bestimmten kritischen Drucke, der von den Dimensionen des Rohrs, der Gestalt der Elektroden abhängt, folgen einander die Entladungen am schnellsten, bei weiter wachsendem Drucke wieder langsamer.

12) Veränderung des positiven Lichtes mit dem Druck.

Wüllner[2]) hat einschlägige Versuche mit einem Induktorium für Drucke grösser als 1 *mm* ausgeführt. So lange der Druck mehr als 250 *mm* betrug,

[1]) Hittorf, Pogg. Ann. 136, pag. 1. 1889; E. Wiedemann, Wied. Ann. 20, pag. 756. 1883.

[2]) Wüllner, Pogg. Ann.-Iubelband, pag. 32. 1874.

gingen nur Funken über. Zwischen 150 und 250 *mm* traten gleichzeitig Funken und positives Licht auf. Sowie der Druck unter 150 *mm* sank, verschwanden die Funken. Das positive Licht war dabei fast vollständig auf die Axe des Entladungsrohrs concentrirt und reichte fast an die Kathode heran. Nahm der Druck mehr und mehr ab, so verbreiterte sich das positive Licht und füllte schliesslich bei etwa 4 *mm* den ganzen Querschnitt gleichmässig aus. Unterhalb dieses Werthes trat die Schichtung hervor. Je mehr der Druck abnahm, um so weiter entfernten sich die einzelnen Schichten von einander. Es ist selbstverständlich, dass die angeführten Zahlenwerthe nur qualitativ die Erscheinung darstellen können, denn die Form des Entladungsrohres spielt dabei eine wesentliche Rolle.

Dient Induktorium oder Influenzmaschine als Stromquelle, so sind Schwankungen in der Zufuhr der Elektricität unvermeidlich. Dementsprechend sind die Schichten nicht stationär, sondern sind in ständiger Bewegung begriffen. Sie erscheinen um so unruhiger, je breiter und verwaschener sie sind. Wenn dagegen eine galvanische Batterie von grosser elektromotorischer Kraft in stetigem Strome Elektricität zuführt (hierfür sind gewisse Bedingungen zu erfüllen, die in dem Abschnitt über die Glimmentladung näher auseinandergesetzt sind), stehen auch die Schichten absolut fest.

Schichtung tritt bei geeigneter Dichte in allen gasförmigen Körpern auf mit Ausnahme des Quecksilberdampfes.

13) Veränderung des Glimmlichtes mit dem Druck.

Bereits bei gewöhnlichem Drucke beobachtet man in der Lichthülle, welche an der Kathode im Moment, wo ein Funke überspringt, sichtbar ist, das blaue Glimmlicht. Es bedeckt freilich nur ein kleines Fleckchen der Kathode. Je weiter die Verdünnung fortschreitet, über eine desto grössere Fläche der Kathode dehnt sich das Glimmlicht aus. Es vergrössert sich rasch, sobald der Druck etwa unter 2 *mm* gesunken ist. Die Oberfläche eines beliebig langen Drahtes bedeckt sich damit, sobald die Verdünnung weit genug getrieben ist und der Durchmesser der Röhre genügende Grösse besitzt. Das Glimmlicht dehnt sich mit wachsender Verdünnung auch in dem umgebenden Raum weiter aus. Bei den äussersten Verdünnungen sind die weitesten Röhren damit angefüllt. Gleichzeitig concentrirt sich die Lichthülle, welche die Kathode unmittelbar umgiebt, mehr und mehr auf das äusserste, der Anode zugewandte Ende, der dunkle Kathodenraum nimmt an Dicke ständig zu, während in demselben Maasse das positive Licht nach der Anode zurückweicht.

Wenn endlich die äusserste Verdünnung, welche unsere Quecksilberpumpen ermöglichen, erreicht ist, sieht man von der Mitte der Kathode aus ein Lichtbündel geradlinig den dunklen Kathodenraum, das Glimmlicht, den dunklen Trennungsraum, ja sogar das positive Licht durchsetzen. Man nennt dieses Bündel die Kathodenstrahlen.

14) Verhalten der Glimmentladung bei den äussersten Verdünnungen.

Wie schon in No. 11 erwähnt ist, bedarf es bei sehr starker Verdünnung ausserordentlich hoher Spannungen, um durch ein Entladungsrohr Elektricität von der Anode zur Kathode überzuführen. In den vollkommensten Vacuis, welche wir herzustellen vermögen, gelingt es überhaupt nicht, eine Entladung zu erzwingen. Gassiot[1]), Hittorf[2]). Diese Thatsache leitet uns zu der Frage über, ist das Vacuum ein Leiter der Elektricität oder nicht?

---

[1]) Gassiot, Philos. Trans. 1858. part. I, pag. 1.

[2]) Hittorf, Pogg. Ann. 136, pag. 201. 1869.

15) Auf den ersten Blick müssen die in No. 14 genannten Beobachtungen gegen die Leitungsfähigkeit des Vacuums sprechen. Wie jedoch HITTORF ausführlich nachgewiesen hat, ist der Widerstand der Gasstrecke hauptsächlich in der Umgebung der Kathode zu suchen. Es fragt sich also, ob es gelingt, elektrische Entladungen in einem hohen Vacuum herbeizuführen, wenn man auf innere Elektroden verzichtet.

EDLUND [1]) benutzte ein Rohr, das erstens die gewöhnlichen Innenelektroden enthielt; die Enden derselben waren um 3 *mm* von einander entfernt. Ausserdem waren auf das Rohr von aussen zwei Stanniolringe aufgeschoben. Nach Belieben konnte man die Innen- resp. die Aussenelektroden mit den Enden der Sekundärspirale eines Induktoriums verbinden. Es zeigte sich, dass bei sehr hohen Verdünnungenz war die Entladung mit den Innenelektroden versagte, dass aber durch Influenz die Aussenelektroden Leuchten im Rohre bedingten. EDLUND schliesst daraus, dass das Vacuum als Leiter zu betrachten ist

Derselben Ansicht ist GOLDSTEIN [2]). Auch HITTORF [3]) hat einen Versuch angegeben, der die Leitungsfähigkeit des Vacuums beweisen soll. Eine möglichst weit evacuirte Röhre, welche mit Innenelektroden keine Leitung mehr zeigt, wird spiralig mit Draht umwickelt, der durch Kautschuk isolirt ist. Sobald man eine Leydener Flasche sich durch diese äussere Schliessung entladen lässt, füllt sich das Innere der Röhre momentan mit blauem Lichte.

Gegen alle diese Versuche lässt sich einwenden, dass das Leuchten des Gases eine wirkliche Leitung des hoch verdünnten Raumes oder gar eines wirklichen Vacuums nicht beweist.[4]) Es ist sehr wohl denkbar, dass dabei Elektricität überhaupt nicht von Ort zu Ort bewegt wird, sondern dass bloss in Folge von Influenz in den Gastheilchen lebhafte Schwingungen hervorgerufen werden, welche den Leuchtprocess bedingen. Es ist wenigstens FÖPPL [5]) nicht gelungen, durch reine Voltainduktion das Rohr zum Leuchten zu bringen.

WORTHINGTON [6]) und MOSER [7]) wollen aus ihren Versuchen sogar das positive Resultat ziehen, dass sehr hoch evacuirte Räume als Nichtleiter zu betrachten sind. WORTHINGTON beobachtete nämlich durch leere Räume hindurch Influenzwirkungen und schloss aus der fehlenden Schirmwirkung, dass das Vacuum ein Nichtleiter sein müsse. Derartige Versuche sind durch MOSER in geschickterer Form wiederholt worden. Ein Vacuumrohr von 40 *cm* Länge und 3 *mm* Durchmesser war mit einer etwas längeren, 10 *mm* weiten Röhre, welche evacuirt werden konnte, umgeben. Bei normalem Druck im äusseren Rohr wurde das innere Rohr in der Nähe eines thätigen Induktoriums leuchtend. Wurde aussen evacuirt, so war bei etwa 1 *mm* Druck das innere Rohr dunkel, das äussere leuchtend. Als endlich aussen das höchst erreichbare Vacuum vorhanden war, war das Aussenrohr wieder dunkel, das Innenrohr leuchtend. MOSER folgert daraus, dass bei mittleren Verdünnungen ein Gas leitet, dass dagegen ein hohes Vacuum ein völliger Nichtleiter ist.

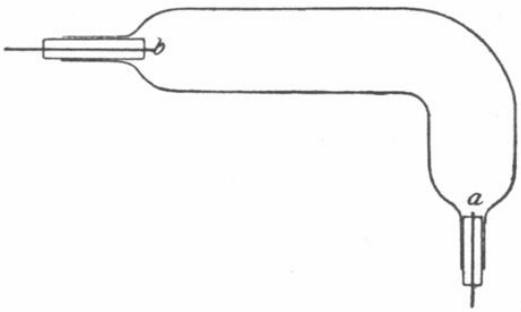
Die Beweiskraft derartiger Versuche scheint mir zweifelhaft.

---

[1]) EDLUND, Oefversigt af K. Wetensk. Ak. Förh. 40, No. 2. 1883; Beibl. 8, pag. 145. 1884.
[2]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 12, pag. 260. 1881; WIED. Ann. 24, pag 79. 1885.
[3]) HITTORF, WIED. Ann. 21, pag. 138. 1884.
[4]) FÖPPL, WIED. Ann. 35, pag. 834. 1888.
[5]) FÖPPL, WIED. Ann. 33. pag. 492. 1888.
[6]) WORTHINGTON, Nature 27, pag. 434. 1883; Beibl. 8, pag. 50. 1884.
[7]) MOSER, Compt. rend. 110, pag. 397. 1890.

Die Ausbreitung der negativen Entladung.

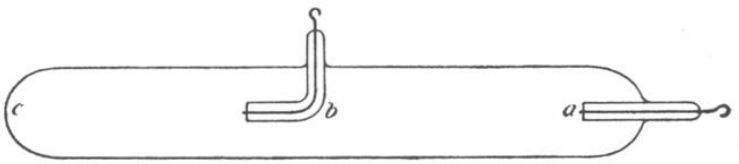
16) Bei demselben Gasdruck erstreckt sich das Glimmlicht um so weiter von der Kathode, je kleiner deren Oberfläche ist. Jeder feste und flüssige, gut oder schlecht leitende Körper, der sich vor der Kathode befindet, schneidet das Glimmlicht scharf ab; es findet keine Abbiegung aus der geraden Linie statt. Sehr deutlich sieht man diese Erscheinungen an dem folgenden Apparat von HITTORF.[1]) Das Entladungsrohr ist rechtwinklig gebogen. Beide Schenkel sind aber von sehr verschiedener Länge. Die Elektroden sind punktförmig, d. h. sie ragen nur mit ihrem Endquerschnitt aus kleinen, in das Hauptrohr eingekitteten capillaren Röhren hervor. Bei genügender Verdünnung durchfluthet das Glimmlicht den langen Schenkel, wenn *b* die Kathode, *a* die Anode ist. Es ist dagegen auf den kurzen Schenkel beschränkt, folgt der Krümmung der Röhre nicht falls umgekehrt *a* die Kathode, *b* die Anode ist.



(P. 79.)

Die Ausbreitung des Glimmlichtes erfolgt ferner unabhängig von der Richtung des positiven Lichtes. Nach HITTORF[2]) ist folgender Versuch zur Demonstration besonders geeignet.

Eine im rechten Winkel gebogene Capillare *b* umschliesst die eine Elektrode bis auf ihren Endquerschnitt. Dieser Endquerschnitt ist von der zweiten Elektrode *a* abgewandt. Ist *b* Kathode, so fluthet das Glimmlicht mit abnehmender Dichte immer weiter durch den Raum *bc*, geht aber nicht auf das der Anode *a* zugewandte Ende über. Ist dagegen umgekehrt *b* Anode, *a* Kathode, so krümmt sich das positive Licht direkt von der Anode *b* auf die Kathode zu; das Glimmlicht durchsetzt ungehindert das positive Licht nach dem Rohrende *c* zu.



(P. 80.)

17) Phosphorescenzerregung durch das Glimmlicht und die Kathodenstrahlen.

Wo das Glimmlicht oder die Kathodenstrahlen auf die Glaswand treffen, bringen sie dieselbe zum Phosphoresciren und zwar bei gewöhnlichem Glase mit gelbgrüner, bei bleihaltigem mit blauer Farbe. Fällt Glimmlicht auf die Schwefelverbindungen der Erdalkalien, so werden sie zu intensivem, lange nachdauerndem Leuchten gebracht. Kalkspath leuchtet mit schön gelbrother Farbe minutenlang nach. Das Spektrum des ausgesandten Lichtes ist völlig das gleiche, wie bei Bestrahlung derselben Körper im Sonnenlicht; nur die Lichtstärke ist hier eine grössere.

---

[1]) HITTORF, POGG. Ann. 136, pag. 8. 1869.

[2]) HITTORF, POGG. Ann. 136, pag. 9. 1869.

Erheblich später als diese ersten Beobachtungen von HITTORF[1]) sind analoge Untersuchungen von GOLDSTEIN[2]) und CROOKES[3]) angestellt worden. CROOKES hat die Versuche in eine elegante Form gekleidet und für einige Körper genauere Angaben über das durch Glimmlicht erzeugte Phosphorescenzlicht gemacht.

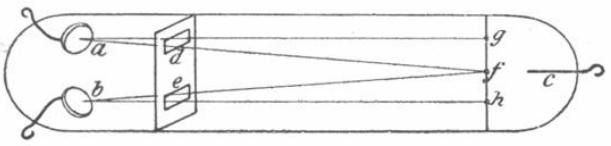
Nach ihm giebt chemisch reine Thonerde ein rubinrothes, fast völlig auf eine Linie von der Wellenlänge 0·000690 *mm* beschränktes Licht. Beryllerde leuchtet hellblau, Yttererde dunkelgrün, Magnesia violett, Titansäure dunkelbraun, Strontian tiefblau. Die Platindoppelcyanüre des Magnesiums und des Calciums leuchten intensiv.

In einzelnen Fällen, bei Smaragd, Saphir, Zinnstein, Hyacinth ist das Phosphorescenzlicht polarisirt, in andern Fällen, wie bei Quarz, Turmalin, Beryll, Topas dagegen nicht.

Die Phosphorescenzerregung ist das beste Mittel, die geradlinige Fortpflanzung der Kathodenstrahlen zu demonstriren. Besonders auffällig ist folgende von CROOKES herrührende Form des Versuchs. In der Vacuumröhre ist ein Kreuz aus Glimmer oder Aluminium an einem kleinen Glasscharniere befestigt. Die negative plattenförmige Elektrode ist an einem Ende des Rohrs, die positive an einer beliebig gewählten Stelle seitlich angebracht. Durch entsprechendes Neigen des Rohrs kann man das Kreuz in den Weg der Kathodenstrahlen bringen oder daraus entfernen. Da die Strahlen von einer ebenen Kathode nahezu senkrecht ausgehen, erhält man im ersten Falle einen scharfen Schatten des Kreuzes auf dem hellgrün fluorescirenden Grund. Wird nach einiger Zeit das Kreuz umgelegt, so tritt nunmehr das Kreuz hell auf minder hellem Grunde hervor, weil bei längerer Bestrahlung die Phosphorescenzfähigkeit des Glases abnimmt.

18) Die Kathodenstrahlen verlassen die Kathodenfläche nahezu senkrecht. Bildet also die Kathode ein Stück einer Kugelfläche, so werden die Kathodenstrahlen in der Umgebung des Kugelmittelpunktes concentrirt. Durch Aenderung des Druckes und der Elelektricitätszufuhr ändert sich jedoch nach GOLDSTEIN[4]) in etwas die Richtung, in der die Kathodenstrahlen die Kathode verlassen. In solchen Punkten, in denen eine Concentration der Kathodenstrahlen stattfindet, kann man Glas, Metalle etc. leicht zum Schmelzen bringen.

19) Gegenseitige Beeinflussung der Kathodenstrahlen. Zwei gleichgerichtete Bündel von Kathodenstrahlen stossen einander ab. Die Erscheinungen sind hauptsächlich durch CROOKES[5]) und GOLDSTEIN[6]) untersucht worden. GOLDSTEIN bezeichnet diese Abstossung als Deflexion der Kathodenstrahlen. Nur einer der Versuche von CROOKES mag hier erläutert werden.



(P. 81.)

Am einen Rohrende sind als Kathoden zwei etwas gegen einander geneigte Aluminiumplatten *a* und *b* eingeschmolzen; am andern Ende die Anode *c*. Vor *a* und *b* befindet sich ein Schirm aus Glimmer mit zwei Löchern *d* und *e*. Eine mit phosphorescirendem

[1]) HITTORF, POGG. Ann. 136, pag. 6. 1869; WIED. Ann. 7, pag. 585. 1879.

[2]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 11, pag. 832. 1880; Wien. Ber. 80, 1879.

[3]) CROOKES, Phil. Trans. 1879, part. I, pag. 135, part. II, pag. 641. Beibl. 5, pag. 511. 1881.

[4]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 12, pag. 94. 1881.

[5]) CROOKES, Phil. Trans. 1879, part. II, pag. 652.

[6]) GOLDSTEIN. Eine neue Form elektrischer Abstossung. Berlin 1880.

Pulver bestrichene Platte ist senkrecht zur Axe des Rohrs in einem gewissen, vorher ermittelten Abstande aufgestellt. Wenn nun *a* oder *b* allein als Kathode dient, bringen die davon ausgehenden und durch *d* resp. *e* passirenden Kathodenstrahlen auf der Platte dieselbe Stelle *f* zum Leuchten. Dienen aber *a* und *b* gleichzeitig als Kathoden, so erhält man zwei getrennte leuchtende Flecke *g* und *h*. Es weichen also die Kathodenstrahlen aus den Positionen *df* und *ef* in die neuen *dg* und *eh* aus einander.

Man darf aus diesen Versuchen nicht folgern, dass die Kathodenstrahlen direkt auf einander wirken. Vielmehr wird sich die Entladung in verschiedener Weise ausbreiten, je nachdem nur die eine oder beide Kathoden zur Verwendung kommen; die Gasmasse befindet sich in beiden Fällen in verschiedenen Zuständen und dementsprechend pflanzen sich sekundär die Kathodenstrahlen in verschiedener Weise fort. (Man sehe analoge Verhältnisse bezüglich der Einwirkung eines Magnets auf die Kathodenstrahlen in dem Abschnitt über die Theorie der Gasentladungen).

Die Kathodenstrahlen können endlich durch beliebige Flächen diffus reflektirt werden [1]). Es ist somit der Ausspruch von HITTORF, dass die Kathodenstrahlen aus ihrer Richtung nicht abgelenkt werden, nicht streng richtig.

20) Sekundäre Kathoden [2]).

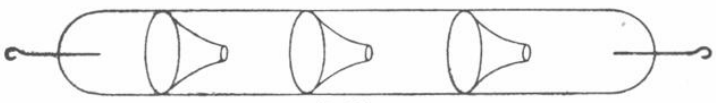
Wenn man eine beliebige Stelle eines Entladungsrohres zur Erde ableitet, so geht von der Innenseite der abgeleiteten Stelle eine sekundäre negative Entladung aus. Um jene Stelle bildet sich ein dunkler Raum, von ihr gehen Kathodenstrahlen aus, welche die gegenüberliegende Glaswand zum Leuchten bringen.

21) Ventilröhren.

a) POGGENDORFF [3]). 30—40 *cm* lange, etwa 3 *cm* weite Glasröhren sind mit möglichst verdünntem Wasserstoff gefüllt. Als Elektroden dienen ein 0·8 *mm* dicker Draht und eine den Querschnitt ausfüllende Scheibe von Aluminium. Wird der Strom einer Elektrisirmaschine durch zwei solche entgegengesetzt liegende Röhren verzweigt, so fliesst er nur durch diejenige, in welcher die Scheibe positive Elektrode ist.

Aehnlich wirken die etwas complicirter gebauten HOLTZ'schen [4]) Ventilröhren.

Eine gerade, etwa 60 *cm* lange, 15 *mm* weite Röhre, an deren Enden die Elektroden eingesetzt sind, ist durch eingeschmolzene Glastrichter, die ihre engen Oeffnungen alle nach derselben Seite kehren, in mehrere Abtheilungen getrennt. Als Füllung dient Wasserstoff, die Verdünnung wird so weit als möglich getrieben. Ein solches Rohr bietet dem Strome einen geringeren Widerstand, wenn die Trichterspitzen der positiven Elektrode zugekehrt sind. Wie GOLDSTEIN [5]) gezeigt hat, verhält sich jede Abtheilung eines solchen Ventilrohres wie ein vollständiges Entladungsrohr für sich. Das der Anode zugewandte Ende jedes Theils zeigt



(P. 82.)

[1]) WIEDEMANN, WIED. Ann. 10, pag. 236. 1880. GOLDSTEIN, WIED. Ann. 15, pag. 246. 1882.

[2]) GOLDSTEIN, Berl. Mon. Ber. 1876, pag. 279.

[3]) POGGENDORFF, POGG. Ann. 134, pag. 29. 1868.

[4]) HOLTZ, POGG. Ann. 134, pag. 1; 1868.

[5]) GOLDSTEIN, Berl. Ak. Ber. 1876, pag. 279; WIED. Ann. 11, pag. 836. 1880.

positives Licht, das der Kathode zugewandte Ende negatives Licht. Sind also die Trichterspitzen der Anode zugekehrt, so füllt in jeder Abtheilung die positive Elektrode den ganzen Querschnitt aus, während die negative Elektrode auf die Trichterspitze beschränkt ist. Es lässt sich somit der Vorgang in einer solchen HOLTZ'schen Röhre auf denjenigen in den einfachen POGGENDORFF'schen zurückführen.

Wirkungen der Entladung.

22) Mechanische Wirkungen.

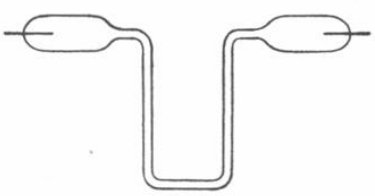
Die negative Elektrode wird zerstäubt. Aluminium widersteht der Zerstäubung am meisten. Durch geeignete Anordnung lassen sich auf diesem Wege dünne Metallschichten auf Glas, Glimmer, Quarz oder dergleichen herstellen, welche zu gewissen optischen Untersuchungen sich ganz besonders eignen. Diese Spiegel sind in passender Dicke durchsichtig und zwar bei Silber blauviolett, bei Gold grün, bei Kupfer schmutzig grün, bei Platin schwärzlich. Solche Spiegel sind hergestellt worden durch WRIGHT[1]), KUNDT[2]), DESSAU[3]), WIENER[4]).

Wärmewirkungen.

23) G. WIEDEMANN[5]) hat zuerst die Erwärmung bestimmt, welche in einem GEISSLER'schen Rohr durch die positive Entladung herbeigeführt wird. Als Elektricitätsquelle diente eine Influenzmaschine. Die Temperaturmessung geschah durch ein Thermoelement, das von aussen an das Rohr angepresst wurde. Das Hauptresultat lässt sich dahin aussprechen: Die in einem bestimmten Gase und in einer bestimmten Zeit producirte Wärmemenge ist der durchgegangenen Elektricitätsmenge proportional und von dem Querschnitt des Rohres unabhängig.

Damit stimmen vollkommen überein die Angaben von NACCARI und BELLATI[6]). Sie haben nur statt der Influenzmaschine ein Induktorium benutzt; die Oeffnungsströme waren allein im Stande, die Gasstrecke zu durchsetzen.

24) E. WIEDEMANN hat die producirten Wärmemengen direkt calorimetrisch gemessen. In seiner ersten Arbeit[7]) war das Entladungsrohr U förmig, der mittlere Theil capillar. Der Druck war so gewählt, dass das ganze Rohr continuirlich mit Licht erfüllt war. Das Capillarrohr tauchte in das Calorimeter ein. Den Strom lieferte ein RUHMKORFF'sches Induktorium. Es wurde die Wärmemenge ermittelt, welche einer bestimmten Zahl von Entladungen entspricht und daraus die Wärmemenge berechnet, welche der einzelnen Entladung zugehört. Daraus und aus den Dimensionen des Rohres kann man angenähert die Temperatur des Gases berechnen. E. WIEDEMANN erhielt so Temperaturen, welche 100° nicht erreichten.



(P. 83.)

»Das Leuchten des Gases bei so niedriger Temperatur während des Durchganges der Elektricität beweist, mit Rücksicht auf die mechanische Gastheorie, dass die elektrische Entladung unabhängig von einer Steigerung der lebendigen

---

[1]) WRIGHT, SILL. J. (3), Bd. 13, pag. 49. 1877.
[2]) KUNDT, WIED. Ann. 27, pag. 59. 1886.
[3]) DESSAU, WIED. Ann. 29, pag. 353. 1886.
[4]) WIENER, WIED. Ann. 31, pag. 629. 1887.
[5]) G. WIEDEMANN, POGG. Ann. 158, pag. 57. 1876.
[6]) NOCCARI u. BELLATI, Beibl. 2, pag. 720. 1878.
[7]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 6, pag. 298. 1879.

Kraft der fortschreitenden Bewegung der Molekeln durch die Temperatur, eine beträchtliche Erhöhung der lebendigen Kraft der oscillatorischen Bewegung der Aetherhüllen hervorruft.«

HASSELBERG[1]) benutzte ein langes Entladungsrohr, in das ein Thermometer eingebracht war. Die Elektroden waren Staniolstreifen, welche aussen aufgeklebt waren. Ein grosses Induktorium war die Stromquelle; nur die Oeffnungsströme kamen zur Anwendung. Die Entladung wurde so lange fortgesetzt, bis das Thermometer einen stationären Zustand angenommen hatte. Die höchste Temperatur, welche beobachtet wurde, betrug 340°, die niedrigste 82°.

Ein Bedenken kann man gegen diese Schlussfolgerung nicht unterdrücken. Die Messung giebt uns die durchschnittliche Temperatursteigerung der gesammten Gasmasse. Nun ist es doch aber denkbar, dass nur ein Theil der Gasmolekeln leitet (im Sinne der Dissociationshypothese nur ein Theil der Molekeln in Ionen zerfallen ist), und dass diesen Theilchen eine viel höhere lebendige Kraft innewohnt, als den übrigen. Wir haben freilich keinen Beweis für eine solche Vermuthung; sie würde aber verständlich machen, warum in einer continuirlichen Glimmentladung die Spannung an den Elektroden die gleiche bleibt, wenn die Stromstärke in weiten Grenzen sich ändert. Man vergleiche eine Betrachtung von HERTZ[2]).

25) Bei späteren Versuchen hat E. WIEDEMANN[3]) die Influenzmaschine angewandt. Das früher benutzte *U* Rohr wurde aufgegeben, weil die störendsten Induktionserscheinungen sich geltend machten. Calorimetrisch konnte die Gesammterwärmung oder die Erwärmung in der Umgebung jeder Elektrode für sich bestimmt werden. Die Versuche, bei denen keine Funkenstrecke eingeschaltet war, führten zu folgenden Ergebnissen:

Geht in derselben Zeit dieselbe Elektricitätsmenge durch Gas verschiedener Dichte, so ist die Gesammterwärmung verschieden; sie nimmt mit abnehmendem Drucke zunächst ab bis zu einem Minimum, um dann wieder zu steigen. Die Erwärmung an der Anode nimmt mit abnehmendem Drucke stetig und stark ab. Die Erwärmung an der Kathode nimmt mit abnehmendem Druck erst ab und dann wieder sehr stark zu.

26) Andere Versuche von E. WIEDEMANN[4]) waren speciell dazu bestimmt, die Erwärmung in den einzelnen Theilen der Entladung zu ermitteln. Ein Thermoelement wurde von aussen an die Glaswand herangebracht, um die Erwärmung der Glasröhre zu messen; letztere ist jedenfalls nahezu proportional der Erwärmung der benachbarten Gasschichten. »Die Wärmeproduktion in der elektrischen Entladung steigt erst langsam von der positiven Elektrode aus, dann schnell, um innerhalb der Glimmlichtstrahlen ein Maximum zu erreichen. Von dort nimmt sie bis zu einem relativen Minimum innerhalb des dunklen Raumes um die Kathode ab, dem aber weit höhere Erwärmungen entsprechen, als im positiven Lichte vorhanden sind. An der Kathode selbst erreicht die Wärmeproduktion sehr hohe Werthe.«

27) Alle bisher erwähnten Versuche über die Wärmeentwickelung in Entladungsröhren sind leider alle mit Influenzmaschine oder Induktorium ausgeführt. Wie schon HITTORF[5]) betont, ist es für unsere Einsicht in den Leitungsvorgang

[1]) HASSELBERG, Beibl. 4, pag. 132. 1880.
[2]) HERTZ, WIED. Ann. 19, pag. 797. 1883.
[3]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 10, pag. 202. 1880.
[4]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 20, pag. 771. 1883.
[5]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 628. 1879.

bei Gasen entschieden wichtig, quantitative Bestimmungen der Wärmemengen und der Lichtstärken auszuführen, welche der continuirliche Strom einer galvanischen Batterie in der Zeiteinheit liefert. HITTORF[1]) hat leider nur wenige orientirende Versuche in dieser Richtung angestellt. Es wäre eine verdienstvolle Arbeit, das BUNSEN'sche Eiscalorimeter zu genauen quantitativen Bestimmungen dieser Art heranzuziehen.

Farbe der Entladung, Spektrum des ausgesandten Lichtes.

28) Bei der Glimmentladung kommen unter normalen Bedingungen nur die Gasschichten zum Leuchten, die Elektroden geben keine Dämpfe aus und participiren daher auch nicht am Leuchtprocess. Von allen Gasen ist der Unterschied in der Farbe des positiven und des negativen Lichtes am prägnantesten bei Luft[2]). Das positive Licht ist rothgelb, das negative blau. Bei den übrigen Gasen ist ein wesentlicher Farbenunterschied zwischen den einzelnen Theilen der Entladung nicht nachweisbar; geringe Schwankungen in der Nuance sind allerdings constatirt.

Die Farbe der Entladung ändert sich erheblich mit dem Gase. Sie ist röthlich für Wasserstoff, kupferroth bei Stickstoff, rosa bei Sauerstoff, weissgrau bei Kohlensäure und Kohlenoxyd, himmelblau bei schwefliger Säure. Die Farbe ändert sich scheinbar mit dem Rohrquerschnitt, ohne dass das Spektrum ein anderes wird. Man erhält je nach den Versuchsbedingungen das Bandenspektrum, das Linienspektrum oder ein aus beiden zusammengesetztes.

Liegt der Druck des Gases über dem kritischen, so treten im Spektrum auch die Metalllinien hervor; ebenso, wenn der Druck so gering ist, dass sehr grosse Spannungen nothwendig sind, um den Widerstand der Gasstrecke zu überwinden.

29) E. WIEDEMANN[3]) hat die Entladungen in Gemischen von Quecksilberdampf oder Natriumdampf mit anderen Gasen untersucht. Als Stromquelle diente ein Induktorium. Während man bei gewöhnlicher Temperatur das Gasspektrum (Wasserstoff oder Stickstoff) erhielt, traten beim Erwärmen die Quecksilber- resp. Natriumlinien hinzu; mit steigender Temperatur wurden sie heller und heller und schliesslich waren sie allein vorhanden, die Gaslinien waren verschwunden. Es scheint also, als ob die Dämpfe von Quecksilber resp. Natrium die Leitung dann allein übernehmen und als ob ein principieller Unterschied zwischen der Leitung in den gewöhnlichen Gasen und in Metalldämpfen bestände.

Einwirkung eines Magnets auf die Entladung.

30) Einwirkung auf das negative Licht. PLÜCKER[4]); aus seinen Versuchen ist kaum etwas Präcisirbares zu entnehmen. Ueber den Einfluss eines Magnets auf die Kathodenstrahlen siehe weiter unten.

31) Ueber den Einfluss von Magneten auf das positive Licht haben gearbeitet: PLÜCKER[5]), WÜLLNER[6]), GOLDSTEIN[7]), E. WIEDEMANN[8]), DE LA RIVE[9]), HIT-

[1]) HITTORF, WIED. Ann. 21, pag. 127. 1884.

[2]) HITTORF, POGG. Ann. 136, pag. 6. 1869.

[3]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 5, pag. 517. 1878.

[4]) PLÜCKER, POGG. Ann. 103, pag. 88, 151. 1858.

[5]) PLÜCKER, POGG. Ann. 103, pag. 88, 151. 1858; POGG. Ann. 104, pag. 113, 622. 1858; POGG. Ann. 105, pag. 67. 1858; POGG. Ann. 107, pag. 77. 1859.

[6]) WÜLLNER, POGG. Iubelb., pag. 45. 1874.

[7]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 11, pag. 850. 1880.

[8]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 20, pag. 793. 1883.

[9]) DE LA RIVE, POGG. Ann. 104, pag. 129. 1858.

TORF[1]). Auch hier ist es trotz der Sorgfalt, welche diese Forscher auf die Untersuchung dieser mannigfaltigen und complicirten Vorgänge verwandt haben, bisher nicht möglich, sich ein abschliessendes Urtheil zu bilden.

II. Entladungen in verdünnten Gasen unter Benutzung constanter Batterien.

1) Als Stromquelle eignen sich am besten galvanische Batterien, weil der Vorgang sich dann in grösserer Regelmässigkeit abspielt als bei Verwendung von Influenzmaschine und Induktorium. GASSIOT[2]) hat zuerst mit Batterien gearbeitet und zwar theils mit 400 GROVE'schen Elementen, theils mit einer grossen Wasserbatterie von 3250 Elementen. Er fand für die Batterie von 400 Elementen zwei verschiedene Arten der Entladung in Röhren mit verdünnten Gasen. Zuerst bei Stromschluss bildete sich, genau wie bei Induktionsströmen, positives geschichtetes Licht und negatives durch den dunklen Raum davon getrenntes Glimmlicht aus Wir wollen derartige Entladungen kurz als Glimmentladungen bezeichnen. Dann aber tritt von selbst Bogenentladung ein, eine zusammenhängende Lichtmasse verbindet die Elektroden. Im ersten Falle war ferner die Stromstärke gering, im zweiten Falle erheblich grösser. Während die Glimmentladung nachweislich diskontinuirlich war, zeigte die Bogenentladung sich als stetig, soweit die Methode des rotirenden Spiegels als hinreichend empfindlich betrachtet werden darf. Mit der Wasserbatterie von 3250 Elementen erhielt GASSIOT nur diskontinuirliche Glimmentladungen. Erst als das Wasser durch Kochsalzlösung ersetzt wurde, wurden die Entladungen stetig. Genauer sind die Vorgänge erst durch HITTORF[3]) erforscht worden. Anfangs hatte er 400 Chromsäureelemente später bis zu 1600 in Gebrauch. HITTORF war von vornherein überzeugt, dass mit einer Batterie von genügender Spannung und relativ geringem Widerstande auch stetige geschichtete Entladungen sich hervorrufen lassen. Den Beweis dafür hat HITTORF selbst und in noch überzeugenderer Weise HERTZ[4]) beigebracht

2) HITTORF arbeitete zunächst mit dem rotirenden Spiegel. Der Stromkreis bestand aus einer wechselnden Zahl seiner Chromsäureelemente, dem Enladungsrohr und einem Flüssigkeitsrheostaten, gefüllt mit einer Lösung von Jodcadmium in Amylalkohol.

Als Wasserstoff von 8 *mm* Druck das Gasrohr füllte, war die Glimmentladung von 800 Elementen discontinuirlich, wenn ein Widerstand von über 3500000 SIEMENS Einheiten im Rheostaten eingeschaltet war. Die Entladungen folgten einander in umso grösseren Intervallen, je mehr man den Widerstand vergrösserte. Bei Widerständen unterhalb des genannten Grenzwerthes zeigte der Spiegel keine Intermittenz mehr an. Dass GASSIOT bei seiner grossen Wasserbatterie stets discontinuirliche Entladungen erhielt, führt HITTORF auf den ausserordentlich grossen Widerstand solcher Elemente zurück. Dass die gewöhnliche Elektrisirmaschine nur intermittirende Entladungen liefert, versteht sich danach von selbst; sie vermag nicht genug Elektricität zu liefern; es ist dagegen möglich, dass der Versuch mit den grossen neuen TÖPLER'schen Influenzmaschinen gelingt.

Sobald die Entladung stetig ist, erscheint die Zahl und Lage der Schichten im positiven Lichte, sowie die Ausdehnung des dunklen Raums constant. Im Gegensatz dazu ist der dunkle Raum bei discontinuirlicher Entladung bald grösser,

[1]) HITTORF, POGG. Ann. 136, pag. 215. 1869.

[2]) GASSIOT, POGG. Ann. 119, pag. 131. 1863. Proc. Roy. Soc. 12, pag. 329. 1863.

[3]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 553. 1879.

[4]) HERTZ, WIED. Ann. 19, pag. 782. 1882.

bald kleiner, ja häufig schiesst das positive Licht vorwärts fast bis zur Berührung mit der Kathode.

3) Vollkommener als mit dem rotirenden Spiegel vermochte HITTORF[1]) den Stetigkeitsbeweis zu führen mit einem Condensator, welcher parallel zur Gasstrecke geschaltet war. Der Condensator wird, so lange die Entladung eine intermittirende ist, in rascher Folge geladen und entladen; er giebt gleichzeitig einen Ton, dessen Schwingungszahl mit der Zahl der einzelnen Entladungen per Sekunde übereinstimmt. Sobald die Éntladung durch genügende Verringerung des Widerstandes im Rheostaten stetig wurde, blieb der Condensator dauernd geladen, der Ton war verschwunden.

4) HERTZ[2]) hat mehrere Methoden angegeben, um die Continuität einer Glimmentladung zu prüfen; seine Methoden überragen die vorher angeführten durch ihre weit grössere Empfindlichkeit.

Das Gasrohr war 340 *mm* lang und hatte 20 *mm* lichte Weite. Die Kathode war eine Stahlplatte von 18 *mm* Durchmesser, die Anode ein Stahldraht. Als Gas diente Luft von solcher Dichte, dass das blaue Glimmlicht sich etwa 50 bis 60 *mm* weit von der Kathode erstreckte.

Ich führe von den HERTZ'schen Anordnungen nur die empfindlichste an. Die Anode des Gasrohrs war durch einen dicken Metalldraht mit der einen Platte eines KOHLRAUSCH'schen Condensators verbunden, die Kathode mit der andern durch einen sehr dünnen Silberdraht von 80 *mm* Länge. An diesem Draht war eine Vorrichtung angebracht, welche mit Spiegel und Skale äusserst kleine Verlängerungen d. h. Temperaturerhöhungen nachzuweisen erlaubte. Wäre nun die Glimmentladung discontinuirlich gewesen, so hätte durch den Silberdraht eine unaufhörliche Folge von Ladungen und Entladungen des Condensators erfolgen müssen, also auch eine Erwärmung des Drahts durch diese Wechselströme. In Wirklichkeit war jedoch nicht die leiseste Drehung des Spiegels nachzuweisen. Schätzungsweise hat HERTZ daraus berechnet, dass in einer Sekunde mindestens 2 Billionen Entladungen erfolgen müssten, wenn eine Discontinuität trotz des negativen Ergebnisses dieser Methode vorhanden sein sollte. Es ist damit wohl zur Genüge dargethan, dass es mit Hilfe geeigneter Versuchsanordnungen gelingt, völlig stetige Glimmentladungen zu erhalten.

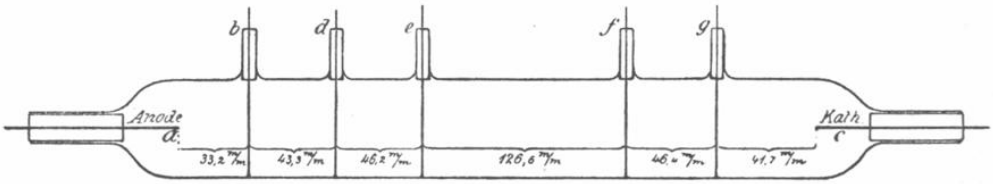
Mit solchen stetigen Entladungen sind nun die im Folgenden des Näheren geschilderten Messungen von HITTORF[3]) und WARBURG[4]) angestellt, weil die Annahme berechtigt ist, dass ein constanter Strom in der Gasstrecke einfachere Gesetzmässigkeiten aufweisen muss, als der discontinuirliche.

5) Nach HITTORF[5]) bedarf es zur Einleitung des continuirlichen Stroms einer erheblich grösseren Potentialdifferenz an den Elektroden als zu seiner Erhaltung. Bei derselben Stromstärke hat man der Gassäule einen bestimmten Widerstand zuzuschreiben, von wie vielen Elementen auch dieser Strom herrühren mag. Dagegen ändert sich das Leitungsvermögen der Gasstrecke wesentlich mit der Stromstärke, und zwar innerhalb des beobachteten Intervalls der Stromstärke nahezu proportional.

---

[1]) HITTOFF, WIED. Ann. 7, pag. 566. 1879.
[2]) HERTZ, WIED. Ann. 19, pag. 793. 1883.
[3]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 570. 1879; WIED. Ann. 20, pag. 705. 1883.
[4]) WARBURG, WIED. Ann. 31, pag. 545. 1887; WIED. Ann. 40, pag. 1. 1890.
[5]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 570. 1879.

6) Um die einzelnen Theile der Entladung quantitativ zu verfolgen, hat HITTORF[1]) einen Condensator benutzt. Das Entladungsrohr besass die beiden Hauptelektroden *a* und *c*, die Sonden-Elektroden *b*, *d*, *e*, *f*, *g*. Länge 437 *mm*, Durchmesser 55 *mm*.



(P. 84.)

Um die Spannung zwischen zwei beliebigen unter diesen 7 Elektroden zu messen, wurden die Belegungen des Condensators mit ihnen verbunden und seine Ladung mit einem ballistischen Galvanometer gemessen. Der Condensator bestand aus 19 Ebonitplatten von 0·6 *mm* Dicke, 60×40 *cm* Fläche zwischen Stanniolbelegungen; er widerstand selbst der Potentialdifferenz von 2400 Elementen. Die Zurückführung der beobachteten Potentialdifferenzen auf absolutes Maass wurde in bekannter Weise vorgenommen, indem man den Condensator mit einem Normaldaniell lud. Die Ströme sind mit Hilfe des Silbervoltameters auf Ampère reducirt.

7) Der positive Theil der Glimmentladung.

Diese genaueren Versuche sind mit Stickstoff ausgeführt, nicht wie die in No. 5 erwähnten in Wasserstoff, weil letzterer in höherem Maasse von den Elektroden occludirt wird als Stickstoff. Durch Aenderung der Elementenzahl und des Widerstandes der schon einmal genannten Jodcadmiumlösung konnten stetige Ströme erzeugt werden, deren Stärke im Verhältnis 1:46 sich änderte. Einer der Versuche sei ausführlich wiedergegeben.

Spannkraft 0·6 *mm* Stickstoff.

Nummer des Versuchs . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Zahl der Elemente . . .	500	500	500	600	700	800	900	1000
Mittlerer Strom $i\,10^6$ Ampère	244	814	1282	3175	5190	7000	8790	11190

Erster Ausschlag des ballistischen Galvanometers durch die Spannung zwischen:

a, *c*	133	132	133·5	141·5	150	157	165	173
a, *b*	22	22·5	22	21·5	21	21	21	21
b, *d*	14	13	13	12	12·5	12	12	12·25
d, *e*	13	13	13	14	14	13·5	12	12·5
a, *e*	52	50	49	47	47	47	47	47
f, *g*	—	2·25	3	4	3·75	4	3·25	3

Bei Versuch 1 reichte das positive Licht bis *f*, das Glimmlicht hatte eine Länge von 1·5 *cm*. Bei den grösseren Stromstärken endigte das positive Licht vor *f*. In Versuch 2 war das Glimmlicht 6 *cm* lang; von Versuch 3 an war die ganze Kathode damit bedeckt. Auch die Dicke des Glimmlichtes wuchs. Bei Versuch 7 und 8 reichte das Glimmlicht bis an die Glaswand.

8) Die Resultate der Messungen von HITTORF lassen sich kurz folgendermaassen zusammenfassen. Die Potentialdifferenzen der verschiedenen Strecken des positiven Lichtes sind von der Stromstärke unabhängig. Die Strecken *bd* und *de* (s. obige Figur) von fast gleicher Länge haben auch nahezu gleiche

[1]) HITTORF, WIED. Ann. 20, pag. 712. 1883.

Potentialdifferenz. Die kürzere Strecke *ab* dagegen, welche die Anode enthält, besitzt ein grösseres Potentialgefälle. Endlich *f* und *g* liegen im dunklen Raum; hier ist das Gefälle bei gleicher Länge 3—4 Mal so gross, als in den leuchtenden Theilen *bd* oder *de*. Das Leitungsvermögen der positiven Gasstrecke nimmt proportional der Stromstärke zu, so lange die Gasdichte ungeändert bleibt. Da das Gesammtgefälle *ac* mit wachsendem Strom wächst, muss das Gefälle im Glimmlicht mit dem Strom sich ändern. Mit abnehmender Gasdichte nimmt das Gefälle im positiven Theile der Entladung ab, aber langsamer als die Dichte. Die ganze Potentialdifferenz der Elektroden wächst mit der Dichte, so dass also in stark verdünnten Gasen der Hauptwiderstand in der Umgebung der Kathode liegt.

9) Das negative Glimmlicht in Gasen von geringer Dichte.[1])

Bei demselben Drucke dehnt sich das negative Glimmlicht mit wachsender Stromstärke über eine stetig wachsende Fläche der Kathode aus. So lange das möglich ist, bleibt die Dicke des Glimmlichtes constant, ebenso das Gefälle zwischen Anode und Kathode. Sobald aber die ganze Kathode mit Glimmlicht bedeckt ist, verbreitert sich dasselbe und das Gesammtgefälle steigt, aber nicht dem Strome proportional.

Mit wachsender Verdünnung wächst das Gefälle rasch und erreicht zuletzt ausserordentlich grosse Werthe. Der grösste Theil des Gefälles liegt in der Nähe der Kathode; in den Schichten des Glimmlichtes ist auch die Wärmeentwickelung am stärksten.

10) Quantitative Versuche über das Glimmlicht hat WARBURG[2]) in ausgedehntem Maasse angestellt. Die stetigen Ströme wurden gewonnen mit einer Batterie von 1000 kleinen Akkumulatoren. Das Entladungsrohr war ähnlich dem von HITTORF benutzten, besass Hauptelektroden und seitliche Sonden. WARBURG nennt das Gefälle zwischen der Kathode und einem Punkte der Grenze des Glimmlichtes »Kathodengefälle«. Er nennt es normal, so lange die Kathode noch nicht ganz mit Glimmlicht bedeckt ist. Dieses normale Gefälle hat er ausschliesslich untersucht und zwar in Wasserstoff und Stickstoff. Dasselbe hatte in schwach feuchtem Stickstoff einen bestimmten Werth (260 Volt), in trockenem Stickstoff war es erheblich grösser und wuchs zudem mit steigender Dauer des Glimmstromes an (bis 410 Volt). Wie sich nachträglich herausgestellt hat, sind Spuren von Sauerstoff von wesentlichem Einfluss gewesen. Durch eine sinnreiche Methode, bezüglich welcher auf das Original verwiesen werden muss, gelang es schliesslich WARBURG, den Sauerstoff völlig zu entfernen. Es ergab sich danach definitiv das Kathodengefälle in Stickstoff für Elektroden aus Platin zu 232, aus Magnesium zu 207 Volt, in Wasserstoff für Elektroden aus Platin etwa 300 Volt, aus Magnesium 168. Das Kathodengefälle scheint vom Druck nahezu unabhängig zu sein. In Quecksilberdampf ist es von derselben Grössenordnung wie in Stickstoff und Wasserstoff.

11) Das Glimmlicht bei höheren Drucken.

Bei höheren Drucken[3]) bedeckt das Glimmlicht nicht mehr die ganze Länge der Kathode; auch seine Dicke ist wesentlich reducirt. Gleichzeitig steigt die Temperatur der Kathode Z. B. in Stickstoff von 17·6 *mm* Druck war die Dicke des Glimmlichtes in einem bestimmten Rohr nur noch 1 *mm*; die Kathode, ein Platindraht von 1·6 *mm* Durchmesser, wurde zunächst intensiv gelbglühend, nach kurzer Zeit an dem der Anode zugekehrten Ende weissglühend und schliesslich

[1]) HITTORF, WIED. Ann. 20, pag. 743. 1883.

[2]) WARBURG, WIED. Ann. 31, pag. 545. 1887; WIED. Ann. 40, pag. 1. 1887.

[3]) HITTORF, WIED. Ann. 21, pag. 101. 1884.

schmolz die Spitze ab. Mit diesem Augenblick verschwand das blaue Glimmlicht vollkommen an diesem heissesten Theile der Kathode und blieb als schwach leuchtende Hülle nur an den entfernteren Theilen derselben.

Um noch höhere Drucke benutzen zu können, wurde ein 4 *mm* dicker Platindraht, eine Iridiumdraht und Kohlenstäbchen als Kathoden verwandt. Bei 53 *mm* Druck Stickstoff erhielt man mit Iridiumelektroden durch 600 Elemente einen Strom von 2 Ampère in der Schliessung, das Gefälle an den Elektroden sank auf kleine Werthe herab; das Ende der Anode wurde heisser, wie das der Kathode (genau wie im Lichtbogen); Glimmentladung und Bogenlicht lassen sich stetig in einander überführen.

12) In der vorigen No. sahen wir, dass bei Benutzung höherer Drucke die Temperatur der Kathode stieg; gleichzeitig wurde das Gefälle zwischen den Elektroden geringer, der Strom stärker. Es lag daher nahe, zu untersuchen, ob man in verdünnten Gasen die Glimmentladung durch wenige Elemente einleiten kann, wenn man auf irgend eine Weise die Kathode stark erhitzt. HITTORF hat[1]) zuerst die Richtigkeit dieser Annahme bewiesen. In einem der von ihm verwandten Apparate diente als Kathode ein Kohlenstab, der durch einen Strom zur Weissgluth erhitzt werden konnte. Die Anode war 4 *cm* davon entfernt. Bei der höchsten Verdünnung, welche man erreichen konnte (es wurde wieder neues Gas aus der Kohle frei), waren 10 Chromsäureelemente ausreichend, um dauernd Strom durch das Gas zu schicken.

Bei 14—16 *cm* Elektrodendistanz gaben 40 Elemente einen stetigen Strom, nachdem die Entladung durch einen Funken eingeleitet war; breit geschichtetes intensiv blaues Licht füllte das Intervall zwischen den Elektroden. Verlangt man keine leuchtende Entladung, so genügt eine noch kleinere Zahl von Elementen. So erhielt HITTORF durch ein Element bei 6 *cm* Elektrodenabstand und starker Weissgluth der Kohlenkathode einen Strom, der das Galvanometer um 65 Skalentheile ablenkte.

Solche stetigen Ströme ohne Lichtentwickelung werden durch kleine elektromotorische Kräfte auch bei grösseren Dichten erhalten, aber der Einfluss des Erhitzens der Kathode ist geringer; Temperatursteigerung der Anode selbst auf Weissgluth ist völlig einflusslos. Kurz darauf ist GOLDSTEIN[2]) zu demselben Resultat gekommen, angeregt durch eine Bemerkung in der HITTORF'schen Arbeit in POGG. Jubelband. Als neu ist nur die Angabe zu bezeichnen, dass der Versuch mit Platinkathode nicht stets gelingt, dass besonders nach mehrmaliger Ausführung des Versuchs das Platin oft bis zum Schmelzen erhitzt werden kann, ohne dass es die frühere Wirksamkeit entwickelt.

Auch WARBURG[3]) hat beobachtet, dass bei fortgesetztem Glühen der Platinkathode die Abnahme des Kathodengefälles durch das Glühen in abnehmender Stärke und schliesslich gar nicht mehr auftrat. Die Erscheinung tritt dagegen wieder hervor, sobald man den durch das Glühen erweichten Draht mittelst Drahtzuges härtet. Daraus geht hervor, dass die hohe Temperatur allein das Phänomen nicht bestimmt, sondern dass die physikalische Natur der Kathode in Betracht gezogen werden muss.

---

[1]) HITTORF, WIED. Ann. 21, pag. 133. 1884.

[2]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 24, pag. 79. 1885; Sitz. Ber. Berl. Ak. 1884;.

[3]) WARBURG, WIED., Ann. 31, pag. 592. 1887.

III. Das elektrische Leitungsvermögen erhitzter Gase und Dämpfe.

1) Bereits im Jahre 1853 behauptete E. BECQUEREL[1]), dass bei höherer Temperatur gasförmige Körper die Elektricität bereits bei Anwendung kleiner elektromotorischer Kräfte leiten. Ein Platinrohr ohne Naht von 65 *cm* Länge und 1 *cm* innerem Durchmesser ragte aus einem Ofen weit hervor. Die Enden blieben kalt, selbst wenn das mittlere Stück des Rohres auf helle Rothgluth gebracht wurde. Das Rohr war so starkwandig, dass es auch dann evacuirt werden konnte, ohne sich zu deformiren. Die Axe des Rohres durchsetzte ein Platindrath, der in geeigneter Weise so gespannt wurde, dass bei keiner Temperatur eine Berührung zwischen Draht und Rohr möglich war. Durch Korkstopfen konnte das Rohr abgesperrt werden; durch Glasrören konnten beliebige Gase eingeführt werden.

Ein oder mehrere galvanische Elemente, ein Flüssigkeitsrheostat, ein Spiegelgalvanometer mit 24000 Windungen waren hinter einander verbunden; die freien Enden communicirten mit Platinrohr resp. Platindrath. Bei Rothgluth giebt das Galvanometer einen Ausschlag; nach der Substitutionsmethode wurde bestimmt, welche Länge des Flüssigkeitsrheostaten der Gasstrecke äquivalent war.

Mit wachsender Temperatur und steigender Verdünnung nahm der Widerstand des Gases rasch ab. Bei normalem Druck ist die Galvanometerablenkung *ceteris paribus* grösser, wenn das Rohr negativ, der Draht positiv ist, als im andern Fall. Je weiter man evacuirt, um so mehr verwischt sich dieser Unterschied. Beide Stromrichtungen sind ferner gleichwerthig, wenn man als Elektroden zwei gleiche, in einem auf Rothgluth gebrachten Porzellanrohr befindliche, vor gegenseitiger Berührung gesicherte Platindrähte benutzt. Der Verfasser hat leider nicht untersucht, ob das Galvanometer auch dann Ausschlag anzeigt, wenn das stromgebende Element ausgeschaltet wird.

Alle untersuchten Gase, Luft, H, CO_2, O, Cl, N leiten in hohen Temperaturen. Die quantitativen Angaben des Verfassers über die Abhängigkeit des scheinbaren Widerstandes von der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke, über die relative Leitungsfähigkeit der verschiedenen Gase scheinen uns wenig zuverlässig, weil es unmöglich war, die Temperatur im Ofen auch nur annähernd constant zu erhalten.

2) In direktem Widerspruch mit diesen Angaben von BECQUEREL steht der folgende von GROVE[2]) angestellte Versuch. Ein Glasrohr war an den beiden Enden durch Korke verschlossen; je zwei durch sie eingeführte dicke Kupferstäbe waren im Innern des Rohres durch dünne, 0·5 *mm* von einander abstehende Platindrähte verbunden. Für vollkommene Isolation beider Drähte war gesorgt. Auch wenn die Drähte durch die Ströme von zwei kräftigen Batterien in lebhaftes Glühen versetzt wurden, ging doch zwischen ihnen kein merklicher Strom von der grossen Batterie von GASSIOT hindurch. Das negative Resultat erklärt sich vermuthlich durch die ungenügende Temperatursteigerung der Luft zwischen beiden Drähten.

3) Um die Entscheidung herbeizuführen, hat BLONDLOT[3]) Versuche nach einer neuen Methode ausgeführt. Die Schliessung enthielt ein DANIELL'sches Element, ein Capillarelektrometer und eine Unterbrechungsstelle. Letztere bestand aus der 2—3 *mm* dicken Luftschicht zwischen 2 parallelen verticalen, kreis-

[1]) E. BECQUEREL, Ann. de chim. et de phys. (3) 39, pag. 355. 1853.

[2]) GROVE, Athenäum 1853, pag. 1134; Inst. 1854, pag. 35.

[3]) BLONDLOT, Compt. rend. 92, pag. 870. 1881.

förmigen Platinblechen von 3 *cm* Durchmesser. Sobald mit Hilfe eines Gebläses die Bleche auf Rothgluth gebracht waren, wurde zuerst die Flamme, dann der am Elektrometer befindliche Kurzschluss entfernt. Sofort verschwand der Meniskus aus dem Gesichtsfeld, ein Beweis, dass ein elektrischer Strom durch das Capillarelektrometer hindurchging.

Es ist leider aus der kurzen Mittheilung in den Comptes Rendus nicht mit Sicherheit zu ersehen, ob BLONDLOT durch Abänderung der Versuchsanordnung sich überzeugt hat, dass die Elektrisirung der Platinbleche beim Contakt mit der Luft (s. w. u.) keinen Einfluss auf das Resultat ausgeübt hat. Das ist nicht selbstverständlich, weil es unmöglich ist, beide Bleche auf den gleichen Glühzustand zu bringen. Spätere genauere Versuche[1]) nach einer ähnlichen Versuchsanordnung wurden bei ziemlich constanter Temperatur ausgeführt. Es ergab sich, dass bei Rothgluth bereits eine elektromotorische Kraft von 0·001 Volt einen Strom durch das Gas schickt. Ferner wächst die Stromstärke *ceteris paribus* schneller als die erregende elektromotorische Kraft.

4) J. J. THOMSON[2]) hat in neuester Zeit ausführliche Versuche über die Leitungsfähigkeit erhitzter Gase angestellt. Die Hauptschwierigkeit, die Elektroden von einander zu isoliren, wurde auf verschiedene Weise überwunden; da es kein Material giebt, das in höheren Temperaturen genügend isolirt, wurden die Stellen, wo die Elektroden befestigt waren, vollkommen kalt erhalten. Der obere Theil der Elektroden war zu dem Zwecke in vertikale Glasröhren gesteckt, welche lange angeschmolzene horizontale Röhren besassen. Diese letzteren erst waren in Ebonitstücken befestigt, welche so weit von der Heizstelle entfernt waren, dass sie kalt blieben und völlig isolirten, auch wenn die zwischen den Elektroden befindliche Gasmasse stundenlang den höchsten Temperaturen ausgesetzt ward.

Gase oder Dämpfe von nicht metallischen Substanzen wurden in einem unten geschlossenen Platinrohr von 18 *cm* Länge und 2·5 *cm* Durchmesser erhitzt. Das Platinrohr wurde mit Asbest umwickelt, in ein Schutzrohr aus Eisen eingeschoben und in einen Muffelofen eingelegt. Metalle wurden zum Verdampfen gebracht in einem Schmelztiegel, der durch Knallgas auf Weissgluth gebracht werden konnte. Zuweilen befanden sich die Elektroden an beiden Enden eines beiderseits offenen Platinrohrs, das durch den Strom einer grossen Akkumulatorenbatterie weissglühend gemacht wurde.

Die Beobachtungsmethode war genau dieselbe wie bei BECQUEREL. Eine grosse Batterie von DANIELL-Elementen, ein Galvanometer von 4000 Ohm Widerstand, ein Commutator und die Gasstrecke waren hinter einander geschaltet.

Resultate: Sehr gering ist das Leitungsvermögen bei Luft und Stickstoff. Dagegen leiten in Dampfform relativ gut Jodwasserstoff, Jod, Brom, Kochsalz, Salzsäure, Salmiak, Chlorkalium. Von diesen gut leitenden Dämpfen dissociirt J und NH_4Cl, wie bekannt, in hohen Temperaturen. THOMSON weist nach, dass auch JH, JK, HCl, NaCl bei Weissgluth sich zersetzen.

Aber nicht jedes Gas, das dissociirt, ist ein guter Leiter; (Ammoniak und Wasserdampf leiten schlecht).

Von den Metalldämpfen leiten nicht oder schlechter als Luft die Dämpfe von Hg, Sn, Tl. Am besten leiten die Dämpfe von Kalium und Natrium; weniger gut, aber doch viel besser als Luft die Dämpfe von Cd, Bi, Pb, Al, Mg, Zn, Ag.

---

[1]) BLONDLOT, Compt. rend. 104, pag. 283. 1887.

[2]) J. J. THOMSON, Phil. Mag. (5) 29, pag. 358, 441. 1890.

Damit ein Gas leitet, müssen unbedingt die Elektroden glühen; hohe Temperatur des Gases bei kalten Elektroden genügt nicht. In der Anordnung, wo die Elektroden senkrecht über einander in der Axe des weissglühenden Platinrohrs liegen, ist der Strom stärker, wenn die untere Elektrode negativ ist. Mir scheint hier, wie bei einem grossen Theil der Versuche von BECQUEREL, die Temperaturverschiedenheit der Elektroden von entscheidender Bedeutung zu sein.

5) Ueber die Leitung des Quecksilberdampfes waren bereits vor THOMSON Versuche angestellt worden.

HERWIG[1]) erhitzte ein mit Quecksilber gefülltes Glasrohr an einer Stelle so stark, dass der Dampf das flüssige Metall dauernd in zwei Theile trennte. Von einer Säule von 2—4 GROVE-Elementen wurde der eine Theil direkt, der andere durch ein Galvanometer mit je einer der Quecksilbersäulen verbunden. HERWIG schloss aus der beobachteten Galvanometerablenkung, dass Quecksilberdampf bereits in relativ niedrigen Temperaturen leitet. HITTORF[2]) wies jedoch darauf hin, dass die Leitung in dem heissen Glase die Ursache des Galvanometerausschlags sein kann. Er gab eine einwandsfreie Versuchsanordnung an und fand, wie THOMSON nach ihm, das Ergebniss negativ.

IV. Elektricitätsleitung der Flammen.

1) Wie andere heisse Gase (s. o.) leiten auch die Flammengase. Führt man zwei Platinstreifen in gleicher Höhe und gleich tief in eine Flamme ein und verbindet man sie mit einer galvanischen Säule und einem Galvanometer zu einer Schliessung, so tritt eine Ablenkung des Galvanometers ein. Der Ausschlag ist am grössten, wenn die Elektroden dicht unter der Spitze des Flammenkegels liegen; selbst wenn die Platinstreifen in der heissen, über dem eigentlichen Flammenkegel liegenden Luftschicht sich befinden, ist ein freilich schwächerer Strom vorhanden. Je heisser die Flammen sind, um so besser leiten sie. HOPPE[3]) hat darüber einige quantitative Messungen angestellt.

2) Besonders gut leiten Flammen, in welche Kalisalze gebracht werden. Natriumsalze sind von geringerem Einfluss; die Salze der übrigen Metalle verändern den Flammenwiderstand nur wenig. Am meisten verringert den Widerstand unter den Kaliumsalzen das Kaliumhydroxyd; dann folgen der Reihe nach FK, KO_3N, K_2O_3C, K_2SO_4, K_3PO_4. Erheblich schlechter leiten KCl, KBr, KJ. Auch bei den Natriumsalzen leiten die Sauerstoffsalze besser als die Haloidsalze[4]).

3) Das in die Leitung eingeschaltete Galvanometer zeigt denselben Ausschlag, wie verschieden auch der Abstand der Elektroden von einander sein mag, wenn nur die Kathode ihren Ort behauptet. Erst wenn die Anode aus dem heissem Flammenkegel in die kalte Umgebung versetzt wird, nimmt die Stromstärke ab. Der Hauptwiderstand liegt also in der Umgebung der Kathode. Für den Fall niederen Drucks haben wir das Gleiche bei der Glimmentladung kennen gelernt. Der folgende, von HITTORF[5]) angegebene Versuch veranschaulicht dies Verhalten in besonders auffälliger Weise. In der isolirt aufgestellten Bunsenflamme befinden sich vertikal über einander zwei Platinösen, die untere etwas oberhalb der Spitze des inneren blauen Kegels, die obere in den höheren Theilen der

[1]) HERWIG, POGG. Ann. 151, pag. 350. 1874; WIED. Ann. 9, pag. 77. 1880.
[2]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 593. 1879.
[3]) HOPPE, WIED. Ann. 2, pag. 83. 1877.
[4]) HITTORF, POGG. Ann. 136, pag. 224. 1869.
[5]) HITTORF, POGG. Jubelb. pag. 430. 1874.

leuchtenden Flammengase. Mit 20 Elementen erhielt man 2·2 Skalentheile Ausschlag am Spiegelgalvanometer, wenn beide Platinösen leer waren. Wurde der obere Drath mit einer Perle von kohlensaurem Kalium gefüllt, so war der Ausschlag abermals 2·2 Skalentheile, wenn der obere Drath Anode, dagegen 280 bis 320 Theilstriche, falls er Kathode war.

Das Leitungsvermögen der verschiedenen gefärbten Flammen genau zu ermitteln, hat HITTORF nicht unternommen, weil es ihm nicht gelang, Flammen herzustellen, welche in allen ihren Theilen und auf längere Zeit constante Mengen der zu untersuchenden Dämpfe enthalten.

4) WIEDEMANN[1]) und EBERT haben die Untersuchungen HITTORF's zu vervollständigen sich bemüht. Nach einer von EBERT[2]) angegebenen Methode gelang es ihnen, homogen gefärbte Flammen herzustellen. Dieselben wurden dadurch erhalten, dass man Lösungen der betreffenden Metallsalze in dem Luftstrome zerstäubte, der zur Speisung des Bunsenbrenners dienen sollte. Durch Verwendung von Lösungen verschiedener Concentration konnte man die Dampfmenge in der Flamme variiren.

Als Stromquelle diente entweder eine Influenzmaschine oder eine Akkumulatorenbatterie von 500 Elementen; von der Verwendung niedrigerer Spannungen wurde abgesehen, weil bei diesen die als »Flammenströme« (s. nächstes Kapitel) bezeichneten ausserordentlich mannigfaltigen elektromotorischen Kräfte eine schwer zu berücksichtigende Fehlerquelle bilden. Die Elektroden waren Platindrähte, welche an einem Ende zu Kugeln von 2 *mm* Durchmesser zusammengeschmolzen waren. Ein Paraffincommutator erlaubte, die Stromrichtung zu wechseln. Wurde die hochgespannte Elektricität der Influenzmaschine den in gleicher Höhe und an identischen Stellen des Flammenmantels befindlichen Elektroden zugeführt, so war die Entladung von einem lebhaften Rauschen begleitet. Die Einführung von Metalldämpfen in die Flamme ändert den Charakter der Entladung wesentlich ab, wie man am besten an einem eingeschalteten Telephon beobachten kann.

Die verschiedenen Metalldämpfe wirken sehr ungleich, wie nach den Erfahrungen von HITTORF zu erwarten war. Besonders gross ist der Einfluss des Kaliums; das Telephon schweigt vollkommen. Cäsium wirkt ähnlich, dagegen Natrium, Li, Sr, Ba, Ca erheblich schwächer, der Ton verschwindet nie ganz. Wie schon HITTORF zeigte, ist die Wirkung des Dampfes nur an der Kathode vorhanden. Benutzung von Elektroden aus Cu, Fe, Messing, Graphit gab die gleichen Resultate. Der Ort der Anode ist völlig gleichgiltig; dagegen ist die Wirkung des Dampfes am intensivsten, wenn die Kathode den heissesten Theil der Flamme einnimmt.

Bei Verwendung der Akkumulatorenbatterie wird zur Strommessung ein Galvanometer von geringer Empfindlichkeit benutzt. Wurden bei einer reinen Flamme successive immer höhere Spannungen durch sprungweise Vermehrung der Elementenzahl angewandt, so waren die Ausschläge klein und wuchsen auch bei der maximalen Spannung von 500 Akkumulatoren nur auf wenige Millimeter an. Wird die Flamme durch ein Metallsalz homogen gefärbt, so ist bei Spannungen unter einer gewissen Grenze der Strom klein und wächst mit der Spannung langsam. Steigt die elektromotorische Kraft über einen gewissen Werth, so bildet sich ein Lichtbogen, der mit grosser Gewalt die Flamme durchschlägt und die

[1]) WIEDEMANN und EBERT, WIED. 35, pag. 237. 1888.

[2]) EBERT, WIED. Ann. 32, pag. 345. 1887.

Elektroden verbrennt. In Kaliumdampf gaben schon 200 Elemente den Lichtbogen.

Aehnliche Versuche hatte erheblich früher HITTORF[1]) angestellt. Wenn zwei Platinelektroden in demselben horizontalen Querschnitt einer mit Kalium geschwängerten Bunsenflamme in 3—4 *mm* Abstand sich befanden, genügten 200 Chromsäureelemente, um den Bogen zu bilden. 300 Elemente gaben einen Bogen von 4—5 *cm*. Bei Benutzung von Kohlenelektroden waren bei 4 *mm* Abstand 80 Elemente ausreichend.

Der Uebergang in die Bogenentladung ist ein jäher. Kurz vorher ist der Galvanometerausschlag klein; in dem Moment, wo der Bogen entsteht, schlägt der Magnet völlig herum. Der Bogen erlischt bald wieder, der Magnet kehrt nahezu in die Ruhelage zurück. Dieser Uebergang der einen Entladungsform in die andere kehrt in unregelmässigen Intervallen wieder. Elektroden aus Fe, Al, Messing, Hg, Graphit und Retortenkohle gaben auch hier analoge Resultate, wie Platin.

Bei Silberelektroden kam kein Lichtbogen zu Stande, wohl aber eine unter Zischen übergehende Funkenentladung. Von den quantitativen Resultaten führe ich eine Versuchsreihe mit Kaliumdampf an. A bedeutet die Zahl der benutzten Akkumulatoren, B den Galvanometerausschlag. Je nachdem die eine oder die andere Elektrode Kathode war, erhielt man durch die Indices 1 resp. 2 charakterisirte Werthe.

A	B_1	B_2
100	1·8	0·0
200	2·0	0·0
300	2·0	1·0
400	2·8	2·0
500	3·5	2·5

Die Ausschläge B_1 B_2 sind sehr klein und durchaus nicht gleich, sondern unterscheiden sich um Beträge von ihrer eigenen Grössenordnung. Die von den Verfassern erstrebte Genauigkeit wurde somit nicht erreicht.

Ausser Kalium wurden untersucht die Dämpfe von Mg, Na, Ba, Ca, Sr.

Magnesium wirkt ähnlich intensiv wie Kalium, Natrium erheblich schwächer. Ganz abweichend verhalten sich Ba, Ca, Sr; die Galvanometerausschläge werden durch ihre Dämpte viel grösser als bei den Alkalimetallen; kein Lichtbogen bildet sich, sondern die Elektricität strömt aus der Kathode in die Flamme aus. Das Endergebniss fassen E. WIEDEMANN und EBERT in die Sätze zusammen: Der Vorgang des Elektricitätsüberganges in den Flammen ist nicht als eine Leitung anzusehen, sondern trägt völlig den Charakter der disruptiven Gasentladungen. Die Anwesenheit von Metalldämpfen setzt die zum Uebergange nöthige Spannung an den Elektroden bedeutend herab.

Mir scheint, dass das in der Arbeit enthaltene Beobachtungsmaterial die Allgemeingiltigkeit dieser Sätze nicht beweisen kann. Es ist von den Verfassern nachgewiesen worden, dass für die hochgespannte Elektricität der Influenzmaschine die Entladung discontinuirlich ist, wenn die Flamme gewisse Metalldämpfe enthält; der Beweis ist nicht geliefert für den Kaliumdampf. Diese Versuche mit der Influenzmaschine sind von vornherein nicht sicher, weil hier möglicherweise genau wie bei der Glimmentladung (siehe ein früheres Kapitel) der Grund der Discontinuität in der ungenügenden Elektricitätszufuhr seitens der Strom-

[1]) HITTORF, POGG. Jubelb. pag. 430. 1874.

quelle liegen kann. Viel mehr Gewicht ist auf die Versuche mit der Akkumulatorenbatterie zu legen. Hier ist für mässige Spannungen eine disruptive Entladung weder für die reine Flamme, noch für die mit Metalldampf durchsetzte bewiesen. Dass bei höheren Spannungen Bogenentladung eintritt, spricht nicht gegen einen continuirlichen Strom bei niederen Spannungen; genau so geht auch die continuirliche Glimmentladung unter geeigneten Bedingungen in die Bogenentladung über. Dass die Bogenentladung, nachdem sie eingetreten ist, nicht andauert, liegt wesentlich daran, dass die benutzten Akkumulatoren in Folge ihrer kleinen Capacität nicht die dazu nöthige Elektricität zu liefern vermögen. Endlich kann das Schwanken des Galvanometerausschlags durch die Strömungen in den Flammen bedingt sein.

5) Die Stromstärke ist der elektromotorischen Kraft der Säule nicht proportional. Unter denselben Verhältnissen erhielt HITTORF[1]) durch ein Element 4° Ausschlag an der Bussole, durch 24 Elemente nur 11·5°.

6) Die von einer elektrisirten Flamme aufsteigenden Gase führen Elektricität mit sich fort. Brennen z. B. in einem Zimmer isolirte, irgendwie geladene Gasbrenner, so zeigt sich nach einiger Zeit die Luft im ganzen Zimmer geladen.

GIESE[2]) hat die Vorgänge in den Flammengasen genauer untersucht. Nur einige der Grundversuche können hier Erwähnung finden. Ein isolirter BUNSENscher Brenner ist durch den Boden eines isolirt aufgestellten 30·5 *cm* weiten Metallgehäuses geführt, welches oben durch Drahtgazedeckel verschlossen werden kann. Ein isolirter Draht oder ein isolirtes Netz kann über dem Gehäuse angebracht werden, so dass es von den Flammengasen bestrichen wird. Die von Draht oder Netz aufgenommene Elektricität wird mit einem Elektrometer gemessen.

a) Wenn das Gehäuse (ohne den Gazedeckel) mit dem positiven Pol einer Säule von LECLANCHÉ-Elementen verbunden wurde, der andere Pol und der Brenner an Erde gelegt, so zeigte das Elektrometer eine negative Ladung an.

b) Wurde derselbe Versuch mit Gazedeckel ausgeführt, so entstand ein schwacher Ausschlag; die Elektrisirung war aber jetzt gleichnamig mit der des Gehäuses.

c) Wurde im letzten Versuch der Brenner isolirt, so war der Ausschlag wieder gleichnamig, aber viel stärker.

d) Wenn das Gehäuse mit dem Gazedeckel an Erde lag, der Brenner aber geladen wurde, zeigte das Elektrometer gleichnamige, ziemlich starke Elektrisirung.

Der letzte Versuch beweist, dass ein Theil der geladenen Verbrennungsgase ungehindert den Gasedeckel zu durchsetzen vermag.

GIESE hat weiter gezeigt, dass in den meisten Fällen der Elektrometerausschlag langsamer wächst, als die elektromotorische Kraft der benutzten Stromquelle; als Ursache betrachtet er eine Verminderung des Leitungsvermögens durch den Strom selbst. Bei einer gewissen Anordnung findet dagegen das Ansteigen der Elektrometerablenkung rascher statt als das der elektromotorischen Kraft.

Eine vollständige Erklärung dieser ausserordentlich verwickelten Vorgänge ist zunächst kaum zu erhoffen.

7) Leiter, welche in der Nähe einer elektrisirten Flamme so aufgestellt werden, dass sie vom Strom der Verbrennungsgase nicht getroffen werden können,

---

[1]) HITTORF, POGG. Ann. 136, pag. 229. 1869.

[2]) GIESE, WIED. Ann. 17, pag. 1, 236, 519. 1882; WIED. Ann. 38, pag. 403. 1889.

laden sich trotzdem in erheblichem Betrage mit der Elektricität der Flamme[1]). Die ruhende Luft in der Umgebung der Flamme wird also leitend.

8) Unipolare Leitung der Flammen.

Die erste einschlägige Beobachtung rührt von ERMAN[2]) her. Die beiden Pole einer grösseren galvanischen Säule sind mit gewöhnlichen Goldblattelektroskopen verbunden. Berührt man einen oder beide Pole mit isolirten Weingeistlampen, so bleibt die Divergenz der Goldblättchen an beiden Elektroskopen ungeändert. Wird dagegen die aus Metall construirte Lampe zur Erde abgeleitet, so fallen die Goldblättchen des Elektroskops zusammen, sobald die Flamme den betreffenden Batteriepol berührt; gleichzeitig wird der Ausschlag des zweiten Elektroskops dadurch nahezu verdoppelt. Werden aber die Leitungsdrähte beider Pole gleichzeitig in dieselbe abgeleitete Flamme getaucht, so fallen die Goldblättchen am positiven Pol fast momentan zusammen, während die Divergenz am negativen Pol auf den Maximalwerth steigt. Man bezeichnet deshalb die Weingeistflamme als positiv unipolar. Genau das gleiche Verhalten zeigen die Flammen von Naphta, fetten und ätherischen Oelen, Wachs, Talg, Wasserstoff. Nach ERMAN sollte die Flamme des brennenden Schwefels unwirksam sein, diejenige von Phosphor sogar negativ unipolar. HITTORF[3]) hat später nachgewiesen, dass ERMAN sich getäuscht hat; auch die Flammen von Schwefel und Phosphor sind positiv unipolar. Der Schwefel resp. Phosphor befand sich in einem eisernen Tiegel mit gut schliessendem Deckel. Der beim Erhitzen gebildete Dampf entwich durch eine im Deckel angebrachte Bohrung. Das Innere der Flammen ist relativ kalt, nur der schmale Saum, wo die Verbrennung des Dampfes sich vollzieht, ist heiss. In die Flamme tauchten die Poldrähte einer Batterie von 400 Chromsäureelementen; zwei gleiche Goldblattelektroskope waren mit ihnen verbunden. Die Divergenz änderte sich kaum, wenn ein dritter, abgeleiteter Draht in die Flamme gebracht wurde. Sobald aber durch genügende Luftzufuhr dafür Sorge getragen wurde, dass die Verbrennung auch im Innern vor sich ging, wurde die Temperatur erheblich gesteigert, die Blättchen des mit dem positiven Pol verbundenen Elektroskops fielen zusammen.

ELSTER und GEITEL[4]) geben an, dass die Luftschicht, welche eine rothglühende Kugel umgiebt, negativ unipolar sei.

Die Erklärung der unipolaren Leitung finden HITTORF und HANKEL[5]) in dem oben erwähnten grossen Widerstand in der Umgebung der Kathode. Wie HANKEL zeigte, nimmt dieser Widerstand mit wachsender Kathodenfläche also abnehmender Stromdichte ab. Wie BRAUN[6]) nachgewiesen hat, ist es aber nicht möglich, den Widerstand der Flamme als eine Summe von zwei Theilen darzustellen, von denen der erste vom Strom unabhängig ist, der zweite der Stromdichte proportional. HANKEL betrachtet das Kathodenhinderniss als einen Uebergangswiderstand.

HITTORF schliesst sich HANKEL's Ansicht an, weil er eine Polarisation an den Elektroden nicht nachzuweisen vermochte. Der Strom von 400 Chromsäureelementen floss durch ein Galvanometer und die Flamme. Mit Hilfe eines mechanischen Unterbrechers konnte der Strom in der Flammenstrecke allein in

[1]) RIESS, POGG. Ann. 61, pag. 554. 1844.
[2]) ERMAN, GILB. Ann. 11, pag. 150. 1802; Bd. 22, pag. 14. 1806.
[3]) HITTORF, POGG. Jubelb. pag. 435. 1874.
[4]) ELSTER u. GEITEL, WIED. Ann. 26, pag. 1. 1885.
[5]) HANKEL, POGG. Ann. 108, pag. 461. 1859.
[6]) BRAUN, POGG. Ann. 154, pag. 481. 1875.

rascher Folge seine Richtung wechseln. Der Galvanometerausschlag war dann derselbe, wie bei gleichgerichtetem Strom, nicht grösser. Dem Schlusse, den HITTORF aus diesem Versuche zieht, Fehlen einer Polarisation, kann man nur bedingt zustimmen. Einmal müsste dann der Galvanometerausschlag kleiner sein, weil der Strom nur in regelmässigen Intervallen den maximalen Werth erreichen würde, dazwischen aber, wenn auch nur eine im Vergleiche zur Periode kurze Zeit lang zu Null absinkt. Zweitens ist es denkbar, dass die Polarisation so rasch entsteht und vergeht, dass sie bei jeder Stromumkehr durch den Unterbrecher ihren vollen Werth erreicht (im Gegensatz zur Polarisation in Elektrolyten).

V. Ueber die Elektricität der Flamme. Die Elektricitätserregung beim Contacte von Gasen und glühenden Körpern.

1) Durch eine Reihe der mannigfaltigsten Versuche ist nachgewiesen worden, dass Flammen die Quelle elektromotorischer Kräfte bilden können. Alle nennenswerthen Arbeiten, welche sich die Untersuchung dieser Flammenelektricität zum Ziel genommen haben, sind unten citirt. Es ist dagegen unmöglich, an dieser Stelle jene Versuche ausführlicher zu schildern; ich begnüge mich damit, einige der Grundversuche anzuführen. Es ist dieses Verfahren um so mehr am Platze als die Beobachtungen verschiedener Forscher sich mehrfach direkt widersprechen. Wir dürfen nicht behaupten, dass die complicirten Vorgänge uns vollkommen verständlich sind.

VOLTA, Philos. Transactions 1782; RIESS, Elektricitätslehre Bd. 2, pag. 957.

BECQUEREL, Ann. de chim. et de phys. Bd. 27, pag. 14. 1824; POGG. Ann. 2, pag. 202. 1824.

POUILLET, Ann. de chim. et de phys. Bd. 35, pag. 401. 1827; POGG. Ann. 11, pag. 417. 1827.

BECQUEREL, POGG. Ann. 11, pag. 437. 1827.

HENRICI, POGG. Ann. 79, pag. 476. 1850.

ANDREWS, Phil. Mag. (3) 9, pag. 176. 1836; POGG. 43, pag. 310. 1838.

HANKEL, POGG. Ann. 81, pag. 213. 1850; 108, pag. 146. 1859.

BUFF, Ann. der Chemie und Pharmacie 80, pag. 1. 1851; 90, pag. 1. 1854.

GROVE, Phil. Mag. (4) 7, pag. 47. 1854; 8, pag. 403. 1854.

MATTEUCCI, Phil. Mag. (4) 8, pag. 309. 1854.

BRAUN, POGG. Ann. 154, pag. 481. 1875; WIED. Ann. 3, pag. 436. 1878.

HERWIG, WIED. Ann. 1, pag. 516. 1877.

HOLTZ, CARL's Repertorium 17, pag. 269. 1881.

KOLLERT, WIED. Ann. 21, pag. 244. 1884; 22, pag. 456. 1884.

ELSTER und GEITEL, WIED. Ann. 16, pag. 193. 1882; 22, pag. 123. 1884.

2) a) Giesst man Alkohol in eine isolirte Kupferschale und entzündet ihn, so wird die Schale positiv elektrisch (BECQUEREL).

b) Die untere Platte eines VOLTA'schen Condensators liegt an Erde; die obere trägt einen mit Wasser gefüllten Napf aus Holz oder Porzellan. Die Oberfläche des Napfes leitet in Folge der Wasserhaut. Ein Platinstreifen ist quer über den Napf gelegt, so dass das eine Ende überragt; sobald dieses mit einer Spirituslampe, Wasserstoffflamme, Löthrohrflamme auf Rothgluth gebracht wird, wird der Streifen negativ, bei niedrigerer Temperatur positiv. In beiden Fällen erhält die Flamme die entgegengesetzte Elektricität. Bringt man in die Flamme zwei Metallstücke gleicher Art, aber verschiedener Dicke, so ist zwischen ihnen eine Potenzialdifferenz nachweisbar (BECQUEREL).

c) Ein Kohlenstab ist senkrecht unter einer Messingplatte aufgestellt in 6—8 *cm* Entfernung. Die Messingplatte steht in Verbindung mit der einen Platte eines Condensators. Wird die Kohle abgeleitet und an der Spitze entzündet, so

zeigt der Condensator + Elektricität an. Wird der Kohlenstab selbst auf die Condensatorplatte gestellt, entzündet und durch Zuführung frischer Luft die Verbrennung unterhalten, so wird der Condensator negativ geladen (POUILLET).

d) Ein Platindraht, der an seinem unteren Ende zu einer Spirale geformt ist, communicirt mit der einen Condensatorplatte. Wird eine Wasserstofflamme von unten der Spirale genähert etwa auf ein Centimeter Abstand, so erhält man positive Ladung. Ist dagegen die Spirale von geringem Durchmesser, und wird sie vollständig in das Innere der Flamme eingesenkt, so ist die Ladung negativ (POUILLET).

e) Zwei gleiche Platindrähte werden in eine Flamme eingeführt. Der eine berührt die Flamme eben, der zweite ist tief ins Innere geschoben. Ein eingeschaltetes Galvanometer zeigt einen Strom, der vom zweiten Draht in die Flamme austritt. Schiebt man zwei Drähte von verschiedener Dicke gleich tief ein, so geht der Strom von der dickeren Elektrode in die Flamme über. In beiden Fällen ist der Draht rothglühend, aus dem der Strom zur Flamme übergeht, der andere Draht ist dagegen im ersten Falle relativ kalt, im zweiten Falle weissglühend (HENRICI).

f) Wird eine isolirte Spirituslampe mit einer Condensatorplatte, ein in der Lampe befindliches isolirtes Platinblech mit der zweiten Condensatorplatte verbunden, so erhält man mit der Stellung des Bleches wechselnde Ausschläge. Man erhält elektromotorische Kräfte, welche ein Daniell übersteigen können (HANKEL).

g) Zwei Platindrähte sind im Winkel gebogen. Die horizontalen Schenkel sind auf Glasplatten befestigt; die beiden anderen Schenkel können durch Verschiebung der Platten mit allen ihren Punkten gleichzeitig in die Flamme eingeschoben werden. Befinden sich beide Drähte ausserhalb der Flamme oder beide im blauen Saum oder beide im inneren dunklen Kern, aber immer so, dass der eine Draht heisser wird als der andere, so geht stets ein Strom vom wärmeren Draht zum kälteren. Wird sodann der eine Draht dem äusseren Flammenrand genähert, der andere ganz in den dunklen Kern gebracht, so geht der Strom von innen nach aussen. Der Strom behält diese Richtung bei, wenn man nun den ersten Draht bis an die Grenze des blauen Saumes einschiebt. Der Draht kommt dabei auf helle Rothgluth, während der innere Draht nur schwach glüht. Lässt man aber den äusseren Draht tiefer und tiefer eindringen, bis er bei fortdauernd heller Gluth den leuchtenden Theil der Flamme erreicht, so kehrt der Strom seine Richtung um (BUFF).

3) Die hier angeführten und eine Menge ähnlicher Versuche sind auf verschiedene Weise erklärt worden. Nach dem Vorschlag von BRAUN bezeichnet man alle jene elektromotorischen Erregungen schlechthin als Flammenströme.

Die Ursache derselben kann man vermuthen:

a) im Verbrennungsprocess als solchem (POUILLET),

b) darin, dass die verschiedenen Schichten der Flamme die von ihnen umspielten Elektroden durch Contakt verschieden erregen (»Contaktströme« nach BRAUN),

c) in einer thermoelektrischen Differenz der Elektroden (»Thermostrom« nach BRAUN),

d) in der Reibung der Flammengase gegen eingesenkte Elektroden (HENRICI).

4) BUFF hatte die Behauptung ausgesprochen, dass die beiden letzten Ursachen gleichzeitig im Flammenstrom thätig sind, dass dagegen eine Elektricitätserregung durch den Verbrennungsprocess selbst unwahrscheinlich ist. ELSTER

und Geitel[1]) haben die Richtigkeit dieser Sätze durch ausführliche Untersuchungen geprüft.

Ihre Ansicht hat nach mehrfachen Modificationen eine von den früheren erheblich abweichende Form angenommen. Sie halten eine Elektricitätserregung durch den Verbrennungsprocess als solchen für ausgeschlossen, ebenso durch Thermoströme. Sie erblicken die Ursache der Flammenströme bei gewissen Anordnungen des Versuchs in der Reibung der Flammengase an den Elektroden. (Beispiel: Lässt man eine Gasflamme aus einem glühenden Platinrohre brennen, so ist die gesammte Flamme, was für Elektroden man auch in ihre Nähe bringen oder in sie einführen mag, stets positiv).

Die Elektricitätserregung in Flammen, in welche glühende Drähte eintauchen, wird aus der Beobachtung (siehe nächsten Paragraphen) erklärt, dass glühende, feste Körper in Berührung mit heissen Gasen negativ elektrisch werden. Um diesem Gedankengange auch die Flammenströme in isolirten leuchtenden Flammen, in welche keine glühenden Drähte tauchen, einzufügen, wird den weissglühenden Kohlentheilchen die Rolle der erregenden festen Körper zuertheilt. Vollkommen unbewiesen ist endlich die Hypothese, dass Gase im Contakt mit glühenden Gasen positiv elektrisch werden. Sie erscheint *ad hoc* gemacht, um aus dem oben erwähnten Princip auch die elektromotorischen Kräfte in isolirten, ohne jedes Metall construirten nicht leuchtenden Flammen zu erschliessen. Es ist danach wohl der Ausspruch gerechtfertigt, dass die schwierige Frage der Flammenelektricität bisher keine völlig genügende Lösung gefunden hat.

5) Elektricitätserregung durch Contakt von Gasen mit glühenden Körpern.

Die Resultate der von Elster und Geitel[2]) in dieser Frage angestellten Experimentaluntersuchungen sind in Folgendem kurz zusammengefasst.

Isolirte Leiter laden sich elektrisch in der Nähe eines glühenden Körpers. Diese Elektrisirung wird durch die Gasmasse vermittelt. Die Erscheinung tritt auf sowohl bei normalem Drucke, wie auch in verdünnten Gasen. Der isolirte Leiter wird im Allgemeinen positiv. In Wasserstoff wird er positiv, so lange der glühende Körper schwach roth leuchtet; bei heller Gelbgluth ist das Vorzeichen umgekehrt. In Luft und Kohlensäure liegt das Maximum der Elektricitätsentwickelung bei heller Gelbgluth. Bei langanhaltendem Glühen tritt unter bestimmten Versuchsbedingungen in einem hohen Vacuum von selbst allmählich negative Erregung auf. Quecksilberdampf scheint nicht elektromotorisch zu wirken. Im magnetischen Felde nimmt im Allgemeinen die positive Elektrisirung zu, die negative ab.

VI. Die Funkenentladung und ihre Gesetze.

1) Zwischen zwei räumlich getrennten Elektroden gehen in mehr oder minder regelmässigen Intervallen Funken über, sobald die Gasdichte oberhalb einer gewissen Grenze liegt und hinreichende Elektricitätsmengen von hoher Spannung von der Stromquelle geliefert werden. Die Elektroden selbst werden durch die Funken zerstäubt; im Spectrum der Gasstrecke sind die den Elektroden

[1]) Elster und Geitel, Wied. Ann. 16, pag. 193. 1882; 19, pag. 588. 1883; 31, pag. 109. 1887; 37, pag. 315. 1889.

[2]) Elster und Geitel, Wied. Ann. 16, pag. 209. 1882; 19, pag. 588. 1883; 26, pag. 1. 1885; 31, pag. 109. 1887; 37, pag. 315. 1889; Wien. Ber. 97, pag. 1175. 1888.

angehörigen Linien zu beobachten. Die Funkenentladung ist um so energischer, die mitgerissenen Theilchen der Elektroden leuchten um so heller, je grösser die verfügbare Elektricitätsmenge ist. Um sehr intensive Funken zu erhalten thut man deshalb gut, eine Leydener Batterie parallel zur Funkenstrecke zu schalten. (Anwendung bei den Ladeflaschen einer Influenzmaschine) Platten und Kugelelektroden eignen sich für Funkenentladungen am besten; doch erhält man auch zwischen einer Kugel und einer Spitze Funken, wenn bei jeder Entladung eine erhebliche Elektricitätsmenge zur Verfügung steht, also unter Benutzung von Leydener Flaschen. Neben dem Funken können auch gleichzeitig oder kurz darauf die gewöhnlichen Formen der Gasentladung auftreten. Grosse Funken sind in eigenthümlicher Weise verzweigt.

2) Begriff der Schlagweite. Funkenmikrometer.

Unter Schlagweite versteht man den Abstand gegebener Elektroden, bei welchem der Funken einer Batterie von bestimmter Oberfläche und bestimmter Ladung eben übergeht. Die Bestimmung der Schlagweite geschieht mit Hilfe des Funkenmikrometers. Die Riess'sche[1]) Form desselben besitzt einen Messingfuss mit mikrometrisch verschiebbarem Schlitten. Auf Fuss und Schlitten stehen je ein vertikaler, sorgfältig lackirter Glasstab mit den Fassungen für die Elektroden. Als solche können nach Wahl, Kugeln, Platten, Spitzen dienen; saubere Politur und Staubfreiheit ist nothwendig.

3) Beziehung zwischen Schlagweite und Entladungspotential.

Wir wollen als Entladungspotential die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden bezeichnen, welche bei bestimmtem Elektrodenabstand zur Funkenbildung nöthig ist. Entladungspotential und Funkenlänge stehen in gegenseitiger Abhängigkeit. Dieselbe wurde zuerst untersucht durch Smith und Fergusson auf Veranlassung von W. Thomson[2]). Zwischen den Platten eines Luftcondensators, von denen die eine ganz schwach convex war, gingen die Funken über; die Potentialdifferenz der Platten wurde mit einem Thomson'schen Elektrometer bestimmt.

Resultat: Die Potantialdifferenz wächst langsamer als die Funkenlänge.

Genauere Versuche hat Baille[3]) ausgeführt mit einem absoluten Elektrometer. Geht die Entladung zwischen Kugeln von 1 *mm* Durchmesser vor sich, von denen die eine an Erde liegt, so ist bei gleicher Funkenstrecke das Entladungspotential das gleiche, mag die isolirte Kugel positiv oder negativ sein; es wächst gleichmässig mit wachsender Schlagweite, so lange keine Büschel-Entladungen neben den Funkenentladungen hergehen. Folgen die Funken rasch auf einander, so erhält man zu kleine Werthe des Entladungspotentials. Baille lässt deshalb die Influenzmaschine Condensatoren von grosser Capacität laden und schaltet die Funkenstrecke dazu parallel, so dass die Potentialdifferenz V an den Kugeln langsam steigt. Bei Verwendung einer schwach gekrümmten und einer ebenen Platte als Elektroden fand Baille zwischen V und der Funkenlänge δ die Relation $V^2 = a\delta + b\delta^2$ als den Beobachtungen conform.

4) Funkenentladung bei höherem Druck.

Wolf[4]) hat disruptive Entladungen in Gasen von höherem Druck untersucht. Als Elektroden dienten Kugeln von 5 *cm* Radius; von Gasen wurden benutzt

---

[1]) Riess, Reibungselektr. 1, pag. 325.

[2]) W. Thomson, Phil. Mag. (4) 20, pag. 316. 1860.

[3]) Baille, Ann. de chim. et de phys. (5) 25, pag. 486. 1882.

[4]) Wolf, Wied. Ann. 37, pag. 306. 1889.

Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure. Den Quotienten $\frac{V}{\delta}$ von Entladungspotential und Funkenlänge betrachtet Wolf als Maass für den Widerstand gegen die Funkenentladung. Für Drucke zwischen 1 und 5 Atmosphären ist bei Luft, O, N, CO_2 das Potential V dem Druck proportional, bei H sogar zwischen 1 und 9 Atmosphären.

5) Funkenentladungen des Induktoriums.

Zwischen den mit den Enden der sekundären Spirale verbundenen Elektroden gehen in den meisten Fällen nur die dem Oeffnungsstrom entsprechenden Funken über, weil er erheblich grössere elektromotorische Kraft besitzt als der Schliessungsstrom. Ein in die Funkenbahn eingeschaltetes Wasser-Voltameter wird daher ganz ähnlich polarisirt wie durch einen constanten, mit dem Oeffnungsstrom gleichgerichteten Strom.

6) Oeffnungsfunken haben verschiedene Färbung je nach den Metallen, zwischen denen sie übergehen. Kupferdrähte geben grünliche, Zinkstäbe bläuliche Oeffnungsfunken. Bei Eisenelektroden sprühen die Funken intensiv. Sie sind besonders kräftig und stark grün gefärbt, wenn die Unterbrechung zwischen Quecksilber und Quecksilber geschieht.

VII. Der Lichtbogen.

1) Entstehung und äussere Erscheinung des Lichtbogens.

Stehen einander bei gewöhnlicher Temperatur zwei metallische Leiter in einem Abstande von einigen Millimetern gegenüber und werden beide Leiter auf verschiedenes Potential gebracht durch Verbindung mit den Polen einer Stromquelle, so kann im Allgemeinen diese Potentialdifferenz sich nicht durch die Luftschicht zwischen den Elektroden ausgleichen. Erst wenn die elektromotorische Kraft der Stromquelle sehr gross wird, tritt der »Schliessungsfunken« auf. So erhielt Gassiot[1]) mit Hülfe einer Säule von 3250 Elementen Cu | H_2O | Zn bei einem Elektrodenabstand von 0·25 bis 0·51 *mm* eine continuirliche Reihe von Funken. Die Säule Hittorf's[2]) von 400 Chromsäureelementen gab bei einem Abstande von 0·056 *mm* Schliessungsfunken.

Stellt man dagegen zunächst Contakt zwischen den Leitern her, so dass also der elektrische Strom zu Stande kommt, und entfernt man sie dann von einander, so tritt ein Funke schon bei geringen elektromotorischen Kräften auf, der »Oeffnungsfunken«. Mit dem Oeffnungsfunken hört aber im Allgemeinen auch der Uebergang der Elektricität zwischen beiden Elektroden auf. Nur wenn einmal der Abstand der Leiter an der Unterbrechungsstelle richtig gewählt wird und wenn zweitens die Elektricität den Elektroden rasch und in grosser Menge zugeführt wird, tritt eine dauernde elektrische Strömung ein, der Lichtbogen.

Ein solcher Lichtbogen lässt sich mit den verschiedenartigsten Elektroden herstellen. Da aber bisher genauere Untersuchungen nur mit zugespitzten Kohlenelektroden ausgeführt worden sind, soll für die erste Orientirung das Aussehen des Kohlenlichtbogens charakterisirt werden.

2) Als Stromquelle wollen wir eine Säule von 40 Bunsen'schen Elementen oder eine Gleichstromdynamomaschine von mindestens 50 Volts Klemmspannung voraussetzen. Wir wollen die Kohle, welche mit dem positiven Pol der Stromquelle in Verbindung steht, die positive, die zweite Kohle die negative nennen.

[1]) Gassiot, Phil. Mag. 25, pag. 290. 1844.

[2]) Hittorf, Pogg. Jubelb., pag. 440. 1874.

Wir bringen zunächst beide Kohlen zur Berührung; an der Contaktstelle ist der Widerstand gross. Nach dem Gesetz von JOULE wird eine lokale Wärmeproduktion eintreten, welche die Berührungsstelle zum Glühen bringt. Werden nunmehr die Kohlen von einander entfernt, so dass ein Luftraum von einigen Millimetern sie trennt, so zeigt sich zwischen ihnen eine flammenartige, hin- und herwogende Lichtgarbe von intensivem Glanze. Bis zu einem gewissen Maasse wächst sie an Umfang und Lichtfülle mit wachsendem Abstand der Kohlen, um aber zu erlöschen, sobald die Bogenlänge einen bestimmten Werth übersteigt.

Das blendende Licht, das vom Lichtbogen ausstrahlt, macht es dem unbewaffneten Auge unmöglich, die Einzelheiten an den Kohlen und dem Bogen anzuschauen. Man entwirft daher am besten mit einer achromatischen Linse das Bild des Bogens auf einen weissen Schirm. Man sieht dann, dass das intensivste Licht nicht vom Lichtbogen kommt, sondern von den Elektroden. Die positive Kohle verliert bald ihre Spitze und erhält schliesslich eine kraterförmige Höhlung. Die negative Kohle bleibt spitz oder erhält bei unrichtiger Bogenlänge einen kleinen Hut. Zum Theil rührt dieser davon her, dass kleine intensiv glühende Theilchen von der positiven zur negativen Kohle übergehen. Auch von der negativen Kohle lösen sich Theilchen ab, wenngleich in geringerem Maasse. Der grössere Theil davon nimmt seinen Weg zur positiven Elektrode, der Rest zerstreut sich in den umgebenden Raum. Sind die Kohlenstäbe homogen, d. h. unterscheiden sich ihre verschiedenen Theile nicht von einander, sind sie ferner möglichst frei von mineralischen Verunreinigungen, so ist der Lichtbogen ruhig. Ist jedoch die Zusammensetzung der Kohlen eine ungleichmässige, so sieht man den Bogen bald an dieser, bald an jener Stelle übergehen, das Licht ist unruhig, flackert hin und her. Es ist daher von hoher Wichtigkeit, gute Kohlen zu verwenden. DAVY[1]), der zuerst den Lichtbogen hergestellt und untersucht hat, benutzte Stäbchen von Holzkohle; in Folge ihres grossen Leitungswiderstandes wurden sie sehr heiss in ihrer ganzen Ausdehnung, nicht bloss in der Umgebung des Bogens. Dieser Umstand in Gemeinschaft mit ihrem lockeren Gefüge bedingte sehr schnellen Abbrand. FOUCAULT[2]) formte deshalb die Elektroden aus der Kohle, welche sich bei der Gasbereitung in den Retorten absetzt. Sie ist sehr dicht und fest, zerbricht nicht leicht, ist ein besserer Leiter als Holzkohle und erhitzt sich somit viel weniger; sie brennt langsam ab. In neuerer Zeit hat das technische Bedürfniss dahin geführt, die Kohlen für Bogenlicht in besonders sorgfältiger Weise herzustellen; nähere Mittheilungen darüber liegen ausserhalb des Rahmens dieses Werkes.

Bei der näheren Betrachtung des Bogens sieht man im Innern einen stark leuchtenden bläulichen Kern, umgeben von einer fast dunkel erscheinenden Schicht. Diese wird ihrerseits von einer grünlichen Aureole umschlossen. Blendet man das Licht ab, welches von den weissglühenden Elektroden herrührt, so erkennt man, dass der Lichtbogen relativ grosse Ausdehnung hat.

3) Temperatur im Lichtbogen.

Die positive Kohle ist weit heisser, als die negative. Das Ende der positiven Kohle glüht intensiv weiss; sogar in beträchtlicher Entfernung vom Bogen leuchtet sie noch in kräftiger Rothgluth. Die negative Kohle ist nur an ihrer Spitze weissglühend. Man hat mehrfach versucht, die Temperatur des Lichtbogens resp. der Elektroden zu bestimmen. Alle diese Bestimmungen von E. BECQUEREL[3]),

[1]) DAVY, Phil. Transact. 2, pag. 487. 1821.

[2]) FOUCAULT, Mondes 11, pag. 620. 1866.

[3]) E. BECQUEREL, Ann. de chim. et de phys. (3) 68, pag. 139. 1863.

DEWAR [1]), ROSSETTI [2]) sind nicht einwandsfrei; sie beruhen auf der Messung der Lichtstärke oder der Wärmestrahlung. Da aber die Beziehung zwischen diesen Grössen und der Temperatur durch empirische, nur in relativ niederen Temperaturen geprüfte Formeln ausgedrückt ist, muss nothwendigerweise durch die Anwendung dieser Relationen auf weit höhere Temperaturen eine uncontrolirbare Unsicherheit entstehen. Es ist deshalb nicht überraschend, wenn die Resultate der genannten Beobachter weit auseinander gehen. BECQUEREL giebt die mittlere Temperatur von Bogen und Kohlenspitzen zu höchstens 2100° an, ROSSETTI findet als Minimaltemperatur 2500° resp. 3900° für die äussersten Spitzen von negativer resp. positiver Kohle. DEWAR endlich berechnet die Temperatur des Bogens zu 6000°. Jedenfalls liegt die Temperatur des Bogens über der Schmelztemperatur des Platins. Es kann hier nur kurz darauf hingewiesen werden, dass man jetzt in der Technik Gebrauch von den hohen Hitzegraden des Bogenlichtes macht, um Aluminium rein oder mit Eisen oder Kupfer legirt aus Korund [Verfahren von COWLES [3])] oder reinem, besonders hergestellten Thonerdehydrat [Verfahren von HÉROULT [4])] zu reduciren.

4) Wir sahen, dass man zunächst Contakt zwischen den Kohlen herstellen muss, um den Lichtbogen zu erzeugen. Wie HERSCHEL [5]) gezeigt hat, kann man indessen auch von vornherein die Kohlen in einen Abstand von 2—3 Millimetern bringen und die Lichtbogenbildung durch den kräftigen Funken einer Leydener Flasche einleiten.

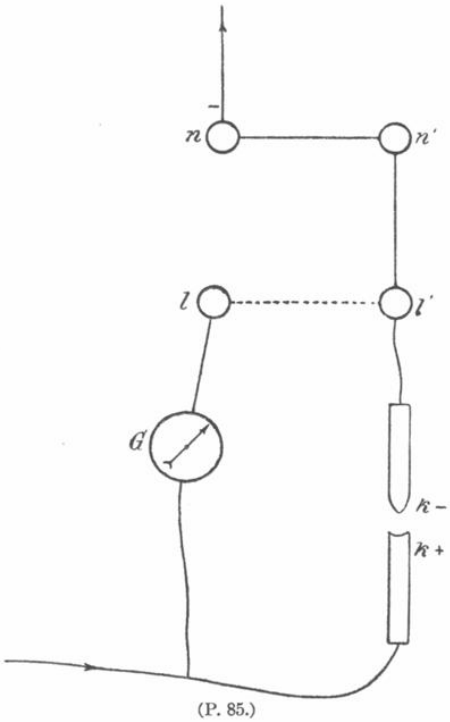
Im Lichtbogen wird die Ueberführung der positiven Elektricität von der Anode zur Kathode von der Materie zwischen den Elektroden ausgeführt; ob diese Leistung den Gastheilchen oder den von den Elektroden abgeschleuderten Partikeln eigenthümlich ist, bleibe an dieser Stelle unerörtert. Jedenfalls lässt sich beweisen, dass diese Fähigkeit, Elektricität zu transportiren, der Materie des Lichtbogens auf kurze Zeit erhalten bleibt auch nach der Unterbrechung des Bogens.[6]) Dauert die Unterbrechung nur $\frac{1}{20}$—$\frac{1}{25}$ Sekunde, so tritt bei erneuter Schliessung der Strombahn der Bogen wieder hervor, selbst bei einem Kohlenabstand von 3 *mm*. Aus diesem Grunde erhält man auch einen dauernden Lichtbogen, wenn man zu seiner Speisung Wechselstrom von genügend hoher Spannung wählt[7]). Selbstverständlich sind in diesem Falle beide Elektroden gleichwerthig; sie brennen in gleichem Maasse ab und bleiben beide spitz. Solche Wechselstrombogenlichter finden in der Praxis ebenso wohl Verwendung, wie die Gleichstrombogenlichter. In jedem Falle muss durch einen geeigneten Mechanismus, dessen Regulirung dem Strome selbst obliegt, dafür Sorge getragen werden, dass die Kohlen, in dem Maasse, als sie abbrennen, einander genähert werden. Ausführliches über diese Bogenlampen gehört nicht hierher.

5) Damit überhaupt ein Lichtbogen zwischen Kohlenelektroden möglich ist, muss nach Versuchen von EDLUND [8]) die elektromotorische Kraft der Stromquelle einen bestimmten Minimalwerth überschreiten. Mit weniger als 25 BUNSEN'schen Elementen hinter einander gelang es nie einen deutlichen Bogen zu erhalten

[1]) DEWAR, Proc. Roy. Soc. 30, pag. 85. 1880.
[2]) ROSSETTI, Atti del Ist. Ven. (5) pag. 5. 1879. Beibl. 3, pag. 821. 1879.
[3]) ERHARD, Elektr. Zeitschrift Bd. 10, pag. 236. 1889.
[4]) ERHARD, Elektr. Zeitschr. Bd. 10, pag. 262. 1889.
[5]) HERSCHEL, POGG. Ann. 49, pag. 122. 1840.
[6]) WIEDEMANN, El. Bd. 4, pag. 833.
[7]) JAMIN und ROGER, Compt. rend. 66, pag. 37. 1868; s. WIED., El. Bd. 4, pag. 834.
[8]) EDLUND, POGG. Ann. 133, pag. 353. 1868.

(direkte Berührung der Kohlen darf nicht vorhanden sein). Mit 25 Elementen aber gelang der Versuch zuweilen. Ausserdem muss für jede Spannung ein gewisses Minimum von Stromstärke vorhanden sein, damit ein Bogen entstehen kann. Je grösser die verwandte elektromotorische Kraft ist, um so weiter lassen sich die Kohlen von einander entfernen, ohne dass der Bogen verlischt. Mit einer elektromotorischen Kraft von 100 Volt kann man leicht Lichtbogen von mehr als 1 *cm* Länge erzielen. DAVY[1]) erhielt mit 2000 Elementen einen Bogen von 100 *mm*.

6) Die supponirte elektromotorische Gegenkraft im Lichtbogen. Versuche, sie direkt nachzuweisen.



(P. 85.)

Wie in No. 5 erwähnt wird, lässt sich ein Lichtbogen zwischen Kohlenelektroden nur erzeugen, wenn die elektromotorische Kraft der Stromquelle einen Betrag von rund 40 Volt überschreitet. Die Analogie, welche zwischen dieser Thatsache und der Erfahrung besteht, dass zur Wasserzersetzung mindestens 3 DANIELL'sche Elemente in Hintereinanderschaltung nöthig sind, hat EDLUND auf den Gedanken gebracht, auch im Lichtbogen eine der Polarisation entsprechende Gegenkraft anzunehmen. Die Versuchsanordnung, welche er benutzt hat, die Richtigkeit seiner Annahme zu prüfen, war die folgende: $nn'll'$ sind 4 Quecksilbernäpfe; $n'l'$ sind dauernd metallisch verbunden. n ist mit dem negativen, l durch das Galvanometer G hindurch mit dem positiven Pol der Stromquelle verbunden. $K+$ und $K-$ sind positive resp. negative Kohle des Lichtbogens. Eine Wippe verbindet anfangs die Näpfe n und n' mit einander; durch ein fallendes Gewicht konnte stets in der gleichen Zeit von etwa $\frac{1}{80}$ Sekunde die Verbindung nn' unterbrochen und statt dessen die Verbindung ll' hergestellt werden.

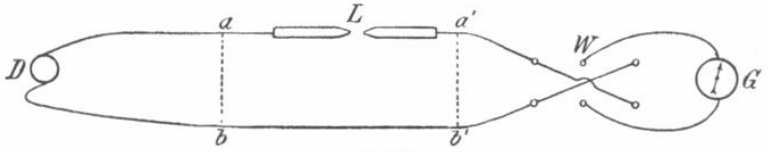
Wäre nun im Lichtbogen ein Polarisationszustand vorhanden, der auch kurze Zeit nach der Unterbrechung des Hauptstromes noch fortbesteht, so müsste er einen Ausschlag von bestimmtem Sinne an einem Galvanometer geben, dessen Drahtenden unmittelbar nach dem Oeffnen des Hauptstromes mit beiden Kohlen in Verbindung gesetzt werden.

In der ersten Lage der Wippe fliesst nun der Hauptstrom durch die Kohlen nach l', n' und kehrt durch die Wippe über n zur Stromquelle zurück. Durch Umlegen der Wippe wird n und n' von einander getrennt, der Hauptstrom also unterbrochen; dafür wird aber Lichtbogen und Galvanometer durch ll' zu einer Schliessung vereinigt. Durch besonderen Versuch wurde nachgewiesen, dass wirklich die Verbindung ll' erst eintritt, wenn bereits n und n' von einander getrennt sind, dass also der Strom der Säule niemals direkt durch G gehen konnte.

[1]) DAVY, Phil. Transact. 2, pag. 487. 1821.

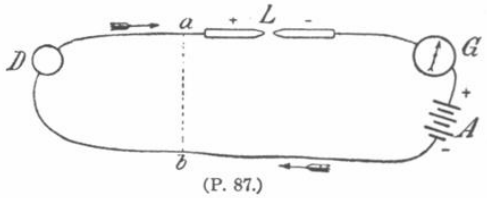
[2]) EDLUND, POGG. Ann. 131, pag. 586. 1867; POGG. Ann. 134, pag. 250. 1868.

EDLUND beobachtete in der That einen Ausschlag und berechnete daraus für die elektromotorische Gegenkraft Werthe zwischen 18 und 27 Volt. Diese Rechnung ist nicht einwurfsfrei, weil sie für Gasstrecken ohne weiteres das OHM'sche Gesetz für richtig annimmt. Zudem sind die direkt beobachteten Grössen mit erheblichen Fehlern behaftet.



(P. 86.)

In anderer Form hat später LECHER[1]) diese Versuche wieder aufgenommen. D bedeutet eine Dynamomaschine, L den Lichtbogen, w einen Commutator, G ein Spiegelgalvanometer mit dicken Windungen. An G ist eine Hemmung angebracht, so dass die Nadel nur nach einer Richtung ausschlagen kann. Die Stromrichtung im Galvanometer wird so gewählt, dass die Nadel in Folge der Hemmung in ihrer Ruhestellung verharrt. Wird dann zwischen den Punkten a und b Kurzschluss hergestellt, so verlischt der Bogen. Falls nun, wie EDLUND meint, in dem verlöschenden Lichtbogen eine elektromotorische Gegenkraft existirte, müsste das Galvanometer abgelenkt werden. Es war in der That ein kleiner Ausschlag zu beobachten, aber er war gleich gross, ob der Kurzschluss zwischen a und b oder zwischen a' und b' hergestellt wurde, so dass er jedenfalls davon herrührt, dass Nadel und Hemmung federn. LECHER's Versuche sprechen also nicht für die EDLUND'sche Hypothese, wenngleich man beachten muss, dass das benutzte Galvanometer den vollen Strom aufnahm, also jedenfalls relativ wenig Windungen besass und deshalb in Anbetracht des grossen Widerstandes im erlöschenden Lichtbogen als unempfindlich zu bezeichnen ist. Es ist zu bedauern, dass LECHER keinen Versuch gemacht hat, um wenigstens näherungsweise die Empfindlichkeit des Galvanometers zu bestimmen. Es scheint mir lohnend, den nebenstehend skizzirten Ergänzungsversuch zu machen. Darin bedeutet A eine beliebig veränderliche Anzahl von Akkumulatoren; bei Beginn des Versuches werden sie vom Maschinenstrom im Sinne der Ladung durchflossen. Sobald bei ab Kurzschluss hergestellt wird, giebt der Entladungsstrom einen Ausschlag, falls G hinreichend empfindlich ist. Man würde daraus ersehen können, ob der negative Erfolg der Versuche von LECHER entscheidende Bedeutung beanspruchen kann.



(P. 87.)

Auch Beobachtungen, welche LUGGIN[2]) auf zwei verschiedene Weisen angestellt hat, vermochten keine Gegenkraft von erheblichem Betrage zu entdecken. Bei der ersten Methode floss der Strom einer Dynamomaschine durch Ballastwiderstände und eine Unterbrecherfeder zur Anode, von der Kathode zur Maschine zurück. Die Kathode war dauernd an Erde gelegt, die Anode wurde nach der Unterbrechung des Maschinenstromes mit der isolirten ungeladenen Nadel eines v. LANG'schen Elektrometers auf einen Augenblick leitend verbunden. Eine

[1]) LECHER, WIED. Ann. 33, pag. 609. 1888.

[2]) LUGGIN, Wien. Ber. 98, pag. 1192. 1889.

merkliche Polarisation der Anode hätte sich durch eine Ablenkung der Elektrometernadel kundgeben müssen. Es zeigte sich jedoch nichts, selbst wenn erst 0·005 Sekunden seit dem Abschnappen der Unterbrecherfeder verflossen waren.

Die zweite Methode war der EDLUND'schen ähnlich. Eine Akkumulatorenbatterie von 80 Volt sandte ihren Strom durch Lichtbogen und Unterbrecherfeder. Die Kathode war durch 100000 Ohm hindurch dauernd mit dem einen Ende eines empfindlichen Galvanometers DEPREZ D'ARSONVAL in Verbindung. Wenn man den Excenter der Unterbrecherfeder drehte, so wurde der Strom unterbrochen, ohne dass ein kräftiger Oeffnungsfunke auftrat. Kurz darauf stellte der Excenter die Verbindung zwischen der Anode und dem zweiten Ende des Galvanometers her. Ein Ausschlag im Sinne einer Polarisation von etwa 0·5 Volt wurde beobachtet. Schaltete man aber ein Element von 0·67 Volt elektromotorischer Kraft in die Galvanometerleitung gegen den Sinn des fraglichen Polarisationsstromes, so entstand ein Ausschlag von etwa 0·4 Volt im Sinne des Elementes. Es ist wahrscheinlich, dass die beobachtete Ablenkung thermoelektrischen Ursprungs ist; keinenfalls ist eine Gegenkraft im Betrage von vielen Volt zur Zeit nachweisbar. Das Endergebniss der in No. 6 enthaltenen Erörterungen kann man also dahin zusammenfassen, dass für eine elektromotorische Gegenkraft zur Zeit kein stichhaltiger Beweis existirt. Es muss andererseits die Möglichkeit zugegeben werden, dass die fragliche Polarisation nach Unterbrechung des Bogens so schnell verschwindet, dass die Methoden von EDLUND und LUGGIN versagen. Sollte aber der angedeutete Ergänzungsversuch nach LECHER's Beobachtungsweise durch einen Akkumulator einen deutlich messbaren Ausschlag liefern, so würde ich definitiv die Gegenkraft für widerlegt halten.

7) Der scheinbare Widerstand im Lichtbogen.

EDLUND[1]) schaltete eine grössere Anzahl von BUNSEN'schen Elementen hinter einander; die Schliessung enthielt den Lichtbogen, eine Tangentenbussole sowie einen grossen Flüssigkeitsrheostaten (Lösung von $CuSO_4$ mit einer festen und einer messbar beweglichen Kupferplatte). Von dem Bogen wurde ein vergrössertes Bild auf einem mit Theilung versehenen weissen Schirm entworfen, um die Bogenlänge messen zu können. Ein Theilstrich der Skala bedeutete 0·4 *mm*. Man stellte einen Lichtbogen von bestimmter Länge her und las die Stromstärke an der Bussole ab. Dann wurde der Lichtbogen ausgeschaltet und soviel Widerstand im Rheostaten hinzugefügt, bis der alte Galvanometerausschlag erreicht war. Es ist dann der neu eingeschaltete Flüssigkeitswiderstand dem Gesammtwiderstand des Lichtbogens äquivalent. Derartige Messungen werden ausgeführt für verschiedene Bogenlängen bei demselben Strom und für dieselbe Bogenlänge bei verschiedenen Strömen. Daraus leitet EDLUND die Relation ab: $W = A + Bl$, wo W der scheinbare Widerstand des Lichtbogens, l die Bogenlänge ist, A und B Constanten, welche nur von der Stromstärke I, nicht mehr von der Bogenlänge abhängig sein sollen. A ist näherungsweise umgekehrt proportional mit I, B dagegen nimmt mit wachsendem I viel rascher ab als A. Setzen wir $A = \frac{a}{I}$, so wird $W = \frac{a}{I} + Bl$, somit die Potentialdifferenz der Kohlen $e = WI = a + BlI$. Dieser Ausdruck hat viele Aehnlichkeit mit einem andern in der Lehre von der Elektrolyse auftretenden: $P = p + iw$, wo P die Spannung an den Platten eines vom Strom i durchflossenen Voltameters ist, p die Polarisation, w der Wider-

[1]) EDLUND, POGG. Ann. 131, pag. 586. 1867.

stand der Flüssigkeit. Diese äusserliche Analogie hat wiederum EDLUND dazu geführt, die oben genannte Grösse a als eine elektromotorische Gegenkraft anzusehen. Nach seinen Beobachtungen[1]) wäre sie nahezu constant und hätte einen Werth von etwa 40 Volt. Es wäre aber der obige Ausdruck auch aus der Voraussetzung eines Uebergangswiderstandes an den Elektroden ohne Schwierigkeit abzuleiten.

8) Die Potentialdifferenz beider Kohlen.

Der Beobachtung unmittelbar zugänglich und deshalb anschaulicher als der scheinbare Widerstand ist die Klemmspannung an der Lampe. FRÖLICH[2]) hat zuerst derartige Messungen ausgeführt. Es zeigt sich, dass mit wachsender Bogenlänge die Klemmenspannung zunimmt und zwar nahezu nach einer geraden Linie. Die Spannung S als Funktion der Bogenlänge lässt sich also wiedergeben durch einen Ausdruck von der Form $S = a + bl$. FRÖLICH konnte nicht sicher unterscheiden, ob a und b von der Stromstärke abhängen, obgleich Stromstärken von 4—120 Ampère verwandt wurden.

Genauere Messungen hat NEBEL[3]) an einer Bogenlampe von SCHWERD angestellt. Resultat: Die Constanten a und b ändern sich kaum mit der Stromstärke. Bei constanter Bogenlänge sinkt die Klemmspannung anfangs stark bei Vermehrung der Stromstärke, erreicht ein Minimum und steigt dann langsam wieder. Mit zunehmender Bogenlänge tritt dieses Minimum erst bei grösserer Stromstärke auf. Die Constante a nimmt mit wachsendem Durchmesser der Kohlen ab. UPPENBORN[4]) giebt an, dass mit wachsendem Strome a wächst, b abnimmt. Auch zeigen bei gleichem Strom und gleichem Durchmesser Kohlen von verschiedenen Bezugsquellen weit differirende Werthe von a und b (wie wir weiter unten sehen werden, vermuthlich durch den Gehalt an Salzen). Durch Probierstifte, welche seitwärts in den Lichtbogen eingeführt wurden, haben LUGGIN[5]), LECHER[6]) und UPPENBORN[7]) das Potentialgefälle zwischen den Elektroden wenigstens näherungsweise bestimmt. Das Gefälle betrug bei LUGGIN in einem Versuch 33·7 Volt zwischen Anode und Bogen, 8·8 Volt zwischen Bogen und Kathode; die entsprechenden Zahlen von UPPENBORN sind 32·5 und 5·5 Volt.

Alle in No. 7 und 8 genannten Resultate lassen sich sowohl verstehen, wenn man eine Polarisation vom Betrage a oder einen Uebergangswiderstand (von der Bogenlänge unabhängig) vom Betrage $\frac{a}{I}$ annimmt. Der wahre Widerstand des Bogens wäre der Bogenlänge proportional. Ob es einen Sinn hat, den Lichtbogen trotz seiner oben skizzirten Form wie einen linearen Leiter zu behandeln, ist auch zweifelhaft. V. v. LANG[8]) und ARONS[9]) haben Versuchsanordnungen angegeben, durch welche sie die Streitfrage zu Gunsten einer Gegenkraft entschieden zu haben glauben.

v. LANG geht von dem folgenden Gedankengang aus: $2n$ gleiche galvanische

---

[1]) EDLUND, POGG. Ann. 131, pag. 586. 1867; POGG. Ann. 133, pag. 353. 1868.

[2]) FRÖLICH, Elektrotechnische Zeitschrift 4, pag. 150. 1883.

[3]) NEBEL, EXNER's Repert. 22, pag. 527. 1886.

[4]) UPPENBORN, Centralblatt für Elektrotechnik Bd. 10, pag. 102. 1888.

[5]) LUGGIN, Wien. Ber. Bd. 98, pag. 1192. 1889; Bd. 96, pag. 759. 1887.

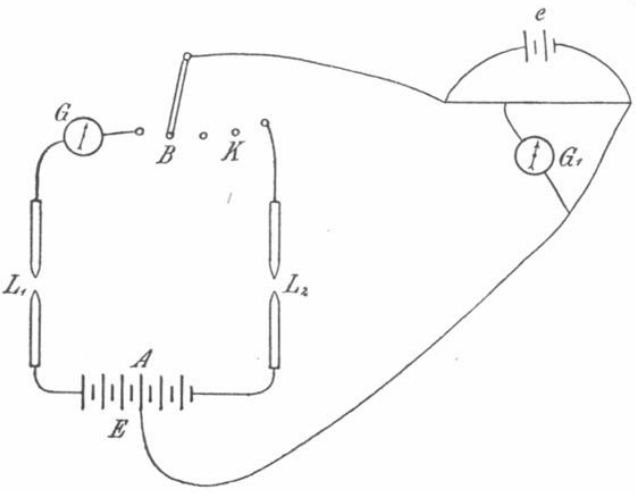
[6]) LECHER, Wien. Ber. 95, pag. 992. 1887.

[7]) UPPENBORN, Centralblatt für Elektrotechnik Bd. 10, pag. 102. 1888.

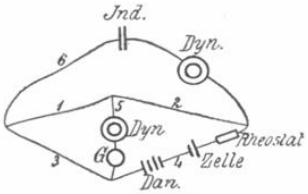
[8]) v. LANG, WIED. Ann. 26, pag. 145. 1885; Wien. Ber. 91, pag. 844. 1885; Wien. Ber. 95, pag. 84. 1887.

[9]) L. ARONS, WIED. Ann. 30, pag. 95. 1887.

Elemente sind hinter einander geschaltet und durch einen passenden Drahtwiderstand geschlossen. Man denke sich auf dieser äusseren Schliessung den Punkt B bestimmt, welcher dasselbe Potential hat wie der Halbirungspunkt A der Batterie zwischen dem n und dem $n+1$. Element. Das System der beiden zwischen A und B liegenden parallelen Zweige kann also bei der Widerstandsmessung genau so behandelt werden, wie ein gewöhnlicher Metallwiderstand. Man misst auf diese Weise den 4. Theil des Gesammtwiderstandes der Batterie. Diese Betrachtung hat v. LANG auf den Lichtbogen übertragen. Das nebenstehende Schema mag zur Veranschaulichung dienen. e ist die Messbatterie der WHEATSTONE'schen Combination, G_1 das Brückengalvanometer. E ist die aus 2×29 BUNSEN'schen Elementen bestehende Batterie, $L_1 L_2$ zwei Bogenlichter, deren Kohlen mikrometrisch verstellbar waren. Bei der geringen Bogenlänge von $\frac{1}{3}$ *mm* gelang es auf einige Zeit beide Lichter in gleicher Stärke zu ruhigem Brennen zu bringen. K ist ein Kurbelrheostat, der Zehntel Ohm enthält. Die Kurbel wurde auf den Punkt B gestellt, für welchen das Potential dasselbe war wie im Punkte A. G giebt den Strom in der Hauptleitung an. Daraus leitete v. LANG den Widerstand für die halbe Batterie E + einem Lichtbogen + Zuleitungen ab. Wurden sodann L_1 und L_2 aus- und statt dessen metallische Widerstände eingeschaltet, so erhielt man analog den Widerstand der halben Batterie + Zuleitungen für sich. Durch Subtraktion soll aus bei den Messungen der wahre Widerstand des Lichtbogens sich ergeben und damit auch der Betrag der Gegenkraft. v. LANG fand bei 4·3 Ampère die Gegenkraft = 39 Volt. ARONS stützt sich auf folgende von E. COHN[1]) herrührende Methode zur Bestimmung des Widerstandes und der Polarisation von Elementen. In den Zweigen 1, 2, 3 einer WHEATSTONE'schen Brücke befindet sich je ein Widerstand von a Ohm, in 4 ein Rheostat, eine beliebige Zahl von DANIELL'schen Elementen, sowie eine durch diese polarisirte Zelle. 5 und 6 enthalten je eine Rolle eines Elektrodynamometers, 5 ausserdem ein Galvanometer G, 6 ein Induktorium. Der Widerstand in 4 wird nun so abgeglichen, dass die in 6 erzeugten Wechselströme keinen Ausschlag am Dynamometer verursachen. Dazu sei ein Widerstand x im Rheostaten nothwendig. $a - x$ ist alsdann der Widerstand von DANIELL's + polarisirte Zelle. Ferner giebt der Ausschlag am Galvanometer ein relatives Maass für die im Zweige 4 wirkende elektromotorische Kraft, d. h. für die Differenz $E - e$ der elektromotorischen Kraft der sämmtlichen DANIELL's und der



(P. 88.)



(P. 89.)

[1]) E. COHN, WIED. Ann. 13, pag. 665. 1881.

Polarisation e der Zelle. Ein analoger Versuch nach Ausschaltung der polarisirten Zelle liefert den Widerstand der DANIELL's allein, sowie den relativen Werth ihrer elektromotorischen Kraft. Durch diese Methode wird somit Polarisation und wahrer Widerstand eines polarisirten Elementes von einander getrennt.

Diese Methode hat ARONS auf den Lichtbogen angewandt. Die polarisirte Zelle ist ersetzt durch den Lichtbogen, die Kette E durch eine Akkumulatorenbatterie; ausserdem sind an der Methode kleine Aenderungen vorgenommen, welche dem vorliegenden Zwecke angepasst sind.

ARONS fand bei zwei Versuchen:

Stromstärke $3{\cdot}4\,A$; wahrer Widerstand 2·1 Ohm, Gegenkraft $= 40{\cdot}6$ Volt.
„ $4{\cdot}1$ „ „ „ $1{\cdot}6$ „ „ $39{\cdot}6$ „

Die Uebereinstimmung zwischen den Resultaten von v. LANG und ARONS ist bemerkenswerth. Trotzdem lässt sich daraus nicht beweisen, dass eine derartige Gegenkraft existirt. Erstens wird bei beiden Methoden angenommen, dass der Messstrom (bei LANG von 6 Smee. Elementen, bei ARONS von einem Induktorium) keinen Einfluss auf den Widerstand des Bogens und die angenommene Gegenkraft ausübt: das ist nicht unbedenklich [s. K. FEUSSNER[1])], besonders in Bezug auf den Widerstand. Zweitens aber lässt sich leicht zeigen, dass man die beobachteten Erscheinungen auch erklären kann ohne die Annahme einer elektromotorischen Gegenkraft, wenn man den Widerstand der Gasstrecke, wie es der Wirklichkeit entsprechen kann, als eine Funktion der Stromstärke ansieht. Setzt man den Widerstand W der Gasstrecke $= w_0 + \frac{\alpha}{I}$, wo w_0 und α von der Stromstärke unabhängig sind, so ergiebt sich, dass die Methoden von v. LANG und ARONS nur den Betrag von w_0 liefern, also einen zu kleinen Werth. Ich will damit durchaus nicht behaupten, dass ein solcher Ausdruck $W = w_0 + \frac{\alpha}{I}$ der Wirklichkeit entspricht. Aber es geht aus dieser Betrachtung hervor, dass für uns auch aus diesen Versuchen kein zwingender Grund zu Gunsten einer Gegenkraft im Lichtbogen entnommen werden kann.

Für zwei Kugelelektroden entspricht bei gegebener Funkenlänge ein bestimmter Durchmesser dem maximalen Werthe von V. Je grösser die Funkenstrecke ist, um so grösser wird der Kugeldurchmesser, dem das Maximum von V zugehört. Die Hauptresultate giebt die folgende Tabelle wieder, welche ich, wie mehrere mir nicht zugänglichen Angaben, dem bekannten Werke von G. WIEDEMANN entlehne. Im $C \cdot G \cdot S$-Systeme sind die Werthe von V:

Schlagweite	Durchmesser in *cm*				
	∞	6	1	8·35	0·1
0·1	14·67	14·78	15·25	16·04	16·10
0·3	35·35	36·12	37·32	36·29	24·12
0·5	54·47	55·06	54·66	49·21	30·00
1·0	105·49	112·94	83·05	59·49	36·26

CHRYSTAL[2]) hat aus den Versuchen von BAILLE ermittelt, dass eine lineare Formel $V = \alpha + \beta\delta$ den Beobachtungen für alle Werthe von $\delta > 0{\cdot}1$ *cm* genügt; für Werthe von $\delta < 0{\cdot}1$ ist die lineare Gleichung unrichtig.

[1]) FEUSSNER, Centralblatt für Elektrotechnik, Bd. 10, pag. 3. 1888.

[2]) CHRYSTAL, Proc. Roy. Edinb. Soc. 1882, pag. 487.

Später haben in der gleichen Richtung gearbeitet MACFARLANE[1]), LIEBIG[2]), PASCHEN[3]), FREYBERG[4]). Gelegentliche Beobachtungen rühren von QUINCKE[5]) und CZERMAK[6]) her. Die von ihnen gefundenen Resultate stimmen nur stellenweise mit einander. Von den verschiedenen empirischen Formeln, welche für die Beziehung zwischen V und δ angegeben worden sind, hat sich keine als ausreichend erwiesen. PASCHEN benutzte zur Potentialmessung das RIGHI'sche Elektrometer, weil es bequem abzulesen und in der Empfindlichkeit leicht zu reguliren ist. Das Elektrometer wurde mit einer KIRCHHOFF'schen Potentialwaage öfter geaicht. Zur Funkenstrecke war eine Batterie von 7 grossen Leydener Flaschen parallel geschaltet. Durch einen Vorversuch wurde näherungsweise ermittelt, bei welcher Einstellung des Elektrometers der Funke überging. Bei den definitiven Messungen wurde dann die Influenzmaschine ganz langsam gedreht, sobald der Ausschlag des Elektrometers sich dem vorher bestimmten Werthe näherte Damit wird erreicht, dass die Potentialdifferenz der Elektroden sich ganz allmählich dem Grenzwerthe nähert, wo der Funke übergeht.

Es zeigte sich, dass fast stets der auf die frisch gereinigten Kugeln treffende Funke ein kleineres Potential lieferte, als die auf bereits benutzte Flächen übergehenden. Eine bestimmte Erklärung vermochte PASCHEN dafür nicht zu geben.

In den nachstehenden Tabellen bedeutet jedes Mal V_1 den Mittelwerth des Entladungspotentials für den ersten, V_m für die späteren Funken. Maasssystem: Elektrostatische $C \cdot G \cdot S$. Für jeden neuen Versuch kommt frische Oberfläche zur Verwendung.

a) Kleine Funkenstrecken.

Funkenlänge δ in *cm*	Kugeln von 1 *cm* Radius		Kugeln von 0·5 *cm* Radius		Kugeln von 0·25 *cm* Radius	
	V_1	V_m	V_1	V_m	V_1	V_m
0·01	3·38	3·35	3·42	3·45	3·61	3·67
0·02	5·04	5·12	5·18	5·18	5·58	5·40
0·03	6·62	6·65	6·87	6·94	6·94	6·93
0·04	8·06	8·12	8·22	8·31	8·43	8·43
0·05	9·56	9·56	9·75	9·75	9·86	10·04
0·06	10·81	10·83	10·87	10·97	11·19	11·20
0·07	11·78	11·97	12·14	12·20	12·29	12·30
0·08	13·40	13·39	13·59	13·60	13·77	13·77
0·09	14·39	14·45	14·70	14·72	14·89	14·87
0·10	15·86	15·90	15·97	15·99	16·26	16·30
0·11	16·79	16·93	17·08	17·11	17·26	17·24
0·12	18·28	18·31	18·42	18·47	18·71	18·71
0·14	20·52	20·58	20·78	20·84	21·26	21·20

[1]) MACFARLANE, Trans. Roy. Edinb. Soc. 28, pag. 633. 1877; Phil. Mag. (5) 10, pag. 389. 1880.

[2]) LIEBIG, Phil. Mag. (5) 24, pag. 106. 1888.

[3]) PASCHEN, WIED. Ann. 37, pag. 69. 1889.

[4]) FREYBEEG, WIED. Ann. 38, pag. 231. 1889.

[5]) QUINCKE, WIED. Ann. 19, pag. 545. 1883.

[6]) CZERMAK, Wien. Ber. 97, pag. 307. 1888.

b) Grössere Funkenstrecken.

Funkenlänge δ in *cm*	Kugeln von 1 *cm* Radius		Kugeln von 0·5 *cm* Radius		Kugeln von 0·25 *cm* Radius	
	V_1	V_m	V_1	V_m	V_1	V_m
0·10	15·96	16·08	16·11	16·36	16·45	16·53
0·15	21·94	22·06	22·17	22·35	22·59	22·69
0·20	27·59	27·75	27·87	28·12	28·18	28·75
0·25	32·96	33·24	33·42	33·46	33·60	33·61
0·30	38·56	38·85	39·00	38·94	38·65	38·74
0·35	43·93	44·24	44·32	44·34	43·28	43·48
0·40	49·17	49·41	49·31	49·45	47·64	47·68
0·45	54·37	54·54	54·18	54·27	51·56	51·87
0·50	59·71	60·05	59·03	59·21	54·67	54·82
0·55	64·60	64·88	63·35	63·58	57·27	57·76
0·60	69·27	69·36	67·80	68·20	59·95	60·13
0·70	78·51	78·87	75·04	75·36	63·14	63·96
0·80	87·76	87·79	81·95	82·61	66·39	66·83
0·90					68·65	69·01
1·00					70·68	71·69
1·20					74·94	75·17
1·50					79·42	79·93

Die durch diese Tabellen veranschaulichte Beziehung zwischen V und δ liess sich, im Gegensatz zu den Angaben von MACFARLANE, nicht durch eine Curve zweiten Grades darstellen. Der Verfasser hat darauf verzichtet, eine neue empirische Formel aufzusuchen. Bei Funkenstrecken unter 2·5 *mm* liefern die kleinsten Kugeln den grössten Potentialwerth. Zwischen 2·5 und 4·2 *mm* entspricht das Maximum den mittleren, für noch grössere Funkenstrecken den grössten Kugeln.

Die Uebereinstimmung der von PASCHEN erhaltenen Zahlen mit denen früherer Beobachter ist keine vollkommene, vielmehr sind seine Zahlen stets grösser. Die Differenz erklärt sich möglicherweise aus dem von JAUMANN[1]) constatirten Einfluss der Potentialänderungen auf den Entladungsvorgang. Wie JAUMANN zeigt, tritt die Entladung bei gegebenen Elektroden und bei gegebener Funkenlänge nicht stets bei derselben Potentialdifferenz auf; es genügt eine um so geringere Spannung, je rascher man das Anwachsen derselben vor sich gehen lässt. Dieser Umstand war den früheren Beobachtern unbekannt und mag sehr wohl einen erheblichen Einfluss auf ihre Resultate gehabt haben. PASCHEN hält seine Zahlen für zuverlässiger als die seiner Vorgänger, weil in Folge der grossen Capacität der von ihm benutzten Leydener Batterie und in Folge langsamer Elektricitätszufuhr im entscheidenden Moment der Anstieg des Entladungspotentials sich sehr langsam vollzog.

PASCHEN hat ferner Messungen in verdünnter Luft, sowie in Wasserstoff und Kohlensäure angestellt. Auch hier beansprucht der erste Funke ein anderes Entladungspotential als alle späteren; er ist deshalb von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen worden. Einige der Resultate enthält die folgende Tabelle der Entladungspotentiale V.

---

[1]) JAUMANN, Wien. Ber. 97, pag. 765. 1888.

Druck in *cm* Quecksilber	Funkenstrecke *mm* Luft	CO_2	H
10	12·35	12·69	7·12
20	20·51	20·01	11·51
30	27·91	26·79	15·54
40	35·13	32·86	19·43
50	42·08	39·18	23·20
60	48·75	45·08	26·89
70	55·24	50·74	30·42

Während BAILLE[1]) aus analogen Versuchen schloss, dass V und der Druck P einander proportional seien, während MACFARLANE[2]) zwischen V und P eine Gleichung zweiten Grades annahm, findet PASCHEN, dass $\frac{V}{P}$ mit wachsendem Druck zuerst schnell, dann langsamer abnimmt, ungefähr wie eine Hyperbel, aber doch etwas abweichend.

Das Potential V hängt ab von der Funkenstrecke δ und dem Druck P. Diejenigen Werthe des V, welche zu Werthen von δ und P gehören, derart, dass $P\delta = const$, stimmen nahezu mit einander überein, wie die folgenden Tabellen zeigen.

Luft $P\delta = 7·5$			Luft $P\delta = 7·5$			Luft $P\delta = 20$		
P	δ	V	P	δ	V	P	δ	V
10	0·75	16·23	30	0·25	16·83	28·6	0·7	34·30
15	0·50	16·54	40	0·19	16·86	33·3	0·6	34·63
20	0·38	16·75	50	0·15	16·68	40·0	0·5	35·13
25	0·30	17·00	75	0·10	16·33	54·0	0·4	34·77
						66·66	0·3	35·39

Wasserstoff $P\delta = 7·5$			Wasserstoff $P\delta = 7·5$			Wasserstoff $P\delta = 20$		
P	δ	V	P	δ	V	P	δ	V
10	0·75	9·50	30	0·25	9·58	28·6	0·7	19·12
15	0·50	9·32	40	0·187	9·69	33·33	0·6	19·25
20	0·38	9·47	50	0·15	9·90	40·0	0·5	19·43
25	0·30	9·59	75	0·10	10·44	50·0	0·4	19·43
						66·66	0·3	20·00

Kohlensäure $P\delta = 7·5$			Kohlensäure $P\delta = 7·5$			Kohlensäure $P\delta = 20$		
P	δ	V	P	δ	V	P	δ	V
12·5	0·6	16·45	30·0	0·25	17·79	33·33	0·6	33·03
15·0	0·5	16·48	40 0	0·187	18·33	40·0	0·5	32·86
20·0	0·38	17·02	50·0	0·15	17·77	50·0	0·4	33·46
25·7	0·30	17·92	75·0	0·10	17·21	66·66	0·3	34·11

Für Kohlensäure ist die Uebereinstimmung somit geringer als für Luft und Wasserstoff. Trotzdem scheint es, als ob jenes Produkt δP von besonderer Bedeutung für die Funkenentladung ist. Man kann das Resultat auch so aussprechen: Das Entladungspotential ist nur abhängig von der Anzahl der Molekeln in der Gasschicht zwischen den Elektroden, nicht von ihren mittleren Abständen.

[1]) BAILLE, Ann. de chim. et de phys. (5) 29, pag. 187. 1883.

[2]) MACFARLANE, Phil. Mag. (5) 10, pag. 389. 1880.

FREYBERG[1]) hat Funkenpotentiale nach einer andern Methode bestimmt. Stehen zwei isolirte Elektroden mit den Belegungen eines Condensators in Verbindung, so ist stets ihre Potentialdifferenz $V = \frac{Q}{\gamma}$, wenn γ die Capacität des Systems, Q die auf dem Condensator angehäufte Elektricitätsmenge darstellt. Wird speciell die Elektricitätsmenge durch allmähliche Zufuhr von Elektricität gesteigert, bis der Funke zwischen den Elektroden überspringt, so liefert jene Gleichung $V = \frac{Q}{\gamma}$ den Werth des Entladungspotentials. Q setzt sich aus zwei Theilen zusammen; der eine Theil q_1 ist im Funken übergegangen, der andere q_2 im Condensator zurückgeblieben. Die drei Grössen γ, q_1, q_2 werden galvanometrisch gemessen. Leider differiren die drei für γ beobachteten Werthe erheblich von einander ($517 \cdot 10^{-10}$, $475 \cdot 10^{-10}$, $481 \cdot 10^{-10}$), so dass in den absoluten Werthen eine Unsicherheit von ca. 5% enthalten ist. Zur Verwendung kamen Kugeln von 6 verschiedenen Grössen, Platten, abgerundete Spitzen. Wie schon BAILLE und PASCHEN, constatirt auch FREYBERG den Einfluss des Kugelradius auf das Entladungspotential. Die benutzten Funkenstrecken gehen bis zu grossen Werthen hinauf. Von den gewonnenen Resultaten führe ich die mit Spitzen erhaltenen nicht auf, weil sie an die specielle Form derselben gebunden sind und deshalb ein allgemeines Interesse nicht beanspruchen können.

Schlagweite in *cm*	Potential in Volts. Kugeln. Durchmesser in *cm*						
	0·50	0·75	1·0	2·0	4·0	6·0	Platten
0·1	5050	—	4660	4560	—	4530	4340
0·2	8600	9700	9500	8700	8400	7900	7500
0·3	11100	12500	11700	11600	11200	10500	10700
0·4	13500	14100	14000	14400	14200	12800	13700
0·5	15100	16600	16800	17000	16600	16400	16300
0·6	16600	18400	19300	19500	20100	19200	19100
0·7	17900	19900	21000	22500	23200	22600	—
0·8	18400	20900	23200	24600	25800	26000	24500
0·9	19300	21300	25100	27200	27800	28800	—
1·0	19500	22100	25800	29000	29900	31600	28800
1·1	19800	23000	26400	30900	31900	32800	—
1·2	21400	24800	27900	32700	34200	35000	—
1·3	22000	25800	28200	—	—	36700	—
1·4	22500	26200	28500	—	—	41400	—
1·5	23100	27200	29500	—	—	—	—
1·6	23200	28300	30900	—	—	—	—
1·8	23800	28600	34600	—	—	—	—
2·0	24600	29100	35400	—	—	—	—
2·2	25700	29500	36000	—	—	—	—
2·4	26600	30000	37200	—	—	—	—
2·6	27400	30500	—	—	—	—	—
2·8	27900	30800	—	—	—	—	—
3·0	28400	31200	—	—	—	—	—
3·5	29200	31900	—	—	—	—	—
4·0	29600	32400	—	—	—	—	—
4·5	29900	33500	—	—	—	—	—
5·0	30700	34100	—	—	—	—	—

[1]) FREYBERG, l. c.

Um ein Bild zu geben, wie weit die Messungen der verschiedenen Beobachter mit einander übereinstimmen, füge ich die folgenden Tabellen bei.

Schlagweite δ in *cm*	Entladungspotential V bei Kugeln von 0·25 *cm* Radius			Entladungspotential V bei Kugeln von 0·5 *cm* Radius		
	Baille	Czermak	Paschen	Baille	Czermak	Paschen
0·1	15·73	16·06	16·53	15·25	15·80	16·18
0·2	26·94	27·46	28·75	26·78	27·22	28·12
0·3	36·94	37·60	38·74	37·32	37·76	38·94
0·4	43·92	46·26	47·68	45·50	47·77	49·45
0·5	50·83		54·82	47·62		59·21
0·6	57·31		60·13	54·66		68·20
0·7	61·12		63·96	65·23		75·36
0·8	64·17		66 83	72·28		82·61
0·9	65·98		69·01	77·61		
1·0	67·22		71·69			

Schlagweite δ in *cm*	Entladungspotential V bei Kugeln von 1 *cm* Radius				
	Baille	Freyberg	Czermak	Paschen	Quincke
0·1	15·3	15·5	15·14	15·96	14·78
0·2	26·8	31·7	26·57	27·25	26·39
0·3	27·3	38·9	37·5	38·36	37·31
0·4	45·5	46·6	47·69	48·84	46·69
0·5	54·7	56·0		59·20	
0·6	65·2	64·2		69·18	
0·7	72·3	69·9		78·87	
0·8	77·6	77·4			
0·9	80·1	83·7			
1·0	83·1	85·9			

Schlagweite δ in *cm*	Entladungspotential V bei Kugeln von 2 *cm* Radius		Entladungspotential V bei Kugeln von 6 *cm* Radius	
	Quincke	Freyberg	Baille	Freyberg
0·1	14·8	15·2	14·8	15·1
0·2	26·4	29·0	25·6	26·2
0·3	37·3	38·5	36·1	34·9
0·4	46·7	48·0	45·0	42·5
0·5	56·4	56·8	55·1	54·7
0·6	66·6	64·9	65·2	64·0
0·7	75·3	75·1	75·4	75·3
0·8	83·9	82·1	88·0	86·7
0·9		90·8	97·4	95·9
1·0		96·8	112·9	105·4

9) Der zischende Bogen.

Zuweilen ertönt am Lichtbogen ein zischendes Geräusch; er brennt dann unregelmässig und springt auf den Kohlen hin und her. Das Zischen tritt regelmässig ein, wenn der Lichtbogen hergestellt wird und hört erst auf, wenn die Kohlen auf normale Glühtemperatur gekommen sind. Nach Cross und Shephard[1]) ist die Spannung an den Kohlen des zischenden Bogens ungefähr halb so gross als

[1]) Cross und Shephard, Proc. Amer. Ac. 1886, pag. 227.

bei normalem Brennen. LECHER[1]) giebt dafür die folgende Erklärung: Der zischende Bogen ist eine stark diskontinuirliche Entladung. Das Instrument zeigt nur die mittlere Spannung an. Diese muss daher wesentlich niedriger sein, als bei der dem ruhigen Lichtbogen entsprechenden continuirlichen Entladung.

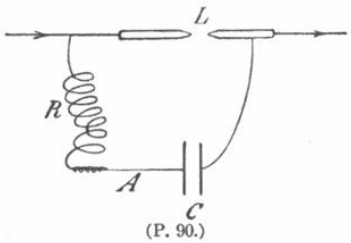
10) Die Spannung im Wechselstromlichtbogen.

JOUBERT[2]) bestimmte die Potentialdifferenz an den Kohlen eines Lichtbogens, der von einer SIEMENS'schen Wechselstrommaschine gespeist wurde, durch eine besondere Vorrichtung für jede Phase des Wechselstromes. Er fand die Klemmspannung $= 0$ für den Moment, wo auch der Strom $= 0$ ist, als Maximum 40 bis 45 Volts für den Moment des maximalen Stroms. Abfall und Anstieg des Potentials vollziehen sich ausserordentlich rasch; auch aus diesen Thatsachen geht klar hervor, dass die in 6 erwähnten Versuche von EDLUND und LUGGIN ein negatives Ergebniss haben mussten.

11) Ist der Lichtbogen eine continuirliche Entladung?

Nach G. WIEDEMANN[3]) wird die hohe Potentialdifferenz zwischen den Kohlen auch durch die Annahme verständlich, dass der Lichtbogen aus einer grossen Anzahl sehr schnell auf einander folgender disruptiver Entladungen besteht. Wirklich erklärt würde aber damit nichts; es wurde vielmehr nur der Lichtbogen als ein Vorgang gleicher Art aufgefasst, wie die gewöhnliche intermittirende Funkenentladung.

Mit den einfachen bekannten Mitteln lässt sich eine Diskontinuität nicht nachweisen; weder rotirender Spiegel, noch Telephon giebt das geringste Anzeichen dafür, so lange der Bogen nicht zischt. Weit empfindlicher ist eine von LECHER[4]) benutzte, von HERTZ[5]) angegebene Methode. Im Schema bedeutet L den Lichtbogen C einen Condensator (ein Mikrofarad), R die primäre Spirale eines RUHMKORFF'schen Inductoriums, A den eigentlichen Messapparat. Derselbe besteht aus einem sehr dünnen geradlinigen Messingdraht von etwa 50 *cm* Länge; das eine Ende ist fest, das andere mit einer federnden Spirale verlöthet. Der Messingdraht ist nahe an diesem zweiten Ende einmal um eine mit Spiegel versehene Stahlaxe geschlungen. Ist nun der Lichtbogen ein continuirlicher, elektrischer Vorgang, so nimmt der Condensator eine der Potentialdifferenz der Kohlen entsprechende Ladung an und damit hört jede Strömung durch den Apparat A auf. Wenn dagegen der Vorgang dicontinuirlich ist, so muss in raschem Tempo C seine Ladung verändern. Es durchfliessen dann Wechselströme den Apparat A; er erwärmt sich, dehnt sich aus, die Spiralfeder dreht Axe und Spiegel, im Fernrohr verschiebt sich das Skalenbild.



(P. 90.)

LECHER fand nun für Elektroden aus C, Ag, Cu keinen Ausschlag. Dagegen bei Fe und namentlich Pt Elektroden reagirte der Apparat, aber nur sobald der Widerstand R kurzgeschlossen wurde. Mit anderen Worten: Für C, Ag, Cu lässt sich mit den jetzigen Hilfsmitteln eine Discontinuität nicht nachweisen, bei Fe und Pt ist sie vorhanden, die einzelnen Entladungen folgen einander aber sehr rasch.

---

[1]) LECHER, WIED. Ann. 33, pag. 609. 1888.
[2]) JOUBERT, Compt. rend. 91, pag. 161. 1880.
[3]) G. WIEDEMANN, Electricität. Bd. 4, pag. 835.
[4]) LECHER. WIED. Ann. 33. pag. 609. 1888.
[5]) HERTZ, WIED. Ann. 19, pag. 782. 1883.

12) Wie im Eingang von 11 bereits hervorgehoben wurde, kann der Nachweis, dass in gewissen Fällen der Lichtbogen discontinuirlich ist, nicht als eine reale Erklärung angesehen werden. Genau dieselben Schwierigkeiten, wie sie vorstehend für den Lichtbogen geschildert sind, treten in verstärktem Maasse auch bei dem Unternehmen hervor, die Gesetze der Glimmentladung zu erklären (s. einen früheren Abschnitt). Auch da giebt es Entladungen, wo wir eine Discontinuität nachweisen können, andere, wo es bisher nicht gelungen ist.

Auch da haben wir hohe Spannungen zwischen den Elektroden, auch da haben wir das Hauptgefälle des Potentials in der unmittelbaren Nähe der Elektroden. Es scheint mir desshalb unrichtig, dass wir bisher die Erklärung der Vorgänge im Lichtbogen unabhängig von den Erscheinungen der Glimmentladung angestrebt haben. Auf den Gedanken, dass beide Vorgänge verschiedener Art sind, kann man nur kommen, wenn man die extremen Fälle neben einanderhält. Es lässt sich jedoch zeigen, dass kein principieller Unterschied zwischen Glimmentladung und Bogenlicht existirt, dass beide Erscheinungen sich stetig in einander überführen lassen. Die in den extremen Fällen vorhandene grosse Differenz liegt vielleicht nur an dem, was leitet.[1])

13) Einfluss des Salzgehaltes der Kohlen.

Casselmann[2]) tauchte die Kohlen in Lösungen von Borsäure, salpetersaurem Strontium, Kaliumhydroxyd, Zinkchlorid und glühte sie vor dem Einsetzen in die Bogenlampe aus. Es entstand ein ruhiger, je nach dem Zusatz verschieden gefärbter Bogen; seine Länge konnte bei gegebener elektromotorischer Kraft der Stromquelle erheblich grösser gewählt werden, wie für gewöhnliche Kohlen. Eine wie grosse Rolle die im Bogen verdampfende Substanz spielt, ersieht man am besten aus der Angabe von Hittorf,[3]) wonach im Kaliumdampf 80 Elemente einen Bogen liefern zwischen 3—4 Millim. entfernten Elektroden, ohne dass erst eine Berührung derselben vorhergehen muss.

Nach Cross und Shephard[4]) hat die supponirte Gegenkraft für Kohlen, welche mit Borax, K_2SO_4 oder Na_2SO_4 getränkt sind, bei 5 Ampère die Werthe 6·4; 10·9; 9·0 Volts.

14) Versuche mit metallischen Elektroden.

Nach Grove[5]) bildet sich der Lichtbogen verschieden leicht zwischen verschiedenen Metallelektroden. Die Schwierigkeit, den Bogen zu entzünden, wächst in der Reihenfolge: K, Na, Zn, Hg, Fe, Sn, Pb, Sb, Bi, Cu, Ag, Au, Pt. Edlund[6]) und v. Lang[7]) haben die von ihnen angenommene Gegenkraft für verschiedene Metallelektroden ermittelt; sie scheint im Allgemeinen für die schwerer schmelzbaren grösser zu sein, als für die leichter schmelzbaren.

15) Einfluss der Erwärmung und der Lage der Elektroden.

Kühlt man nach Lecher[8]) beide Kohlen ab, so sinkt die Potentialdifferenz erheblich. Stehen die Kohlen horizontal, so erhielt er bei 2 Millim. Bogenlänge eine normale Spannung von 42 Volts, dagegen 52 Volts bei Erwärmung der ne-

---

[1]) Stenger, Wied. Ann. 25, pag. 31. 1885.

[2]) Casselmann, Pogg. Ann. 63, pag. 576. 1844.

[3]) Hittorf, Pogg. Jubelb. pag. 440. 1874.

[4]) Cross und Shephard, Proc. Amer. Ac. 1886, pag. 227.

[5]) Grove, Phil. Mag. 16, pag. 480. 1840.

[6]) Edlund, Pogg. Ann. 131, pag. 586. 1867; 133, pag. 353. 1868.

[7]) v. Lang, Wied. Ann. 31, pag. 384. 1887.

[8]) Lecher, Wied. Ann. 33, pag. 609. 1888.

gativen, 48 Volts bei Erwärmung der positiven Kohle, 35 Volts, wenn beide Elektroden abgekühlt wurden. Entsprechend gaben Platinelektroden bei derselben Bogenlänge eine Spannung von 35 Volts normal; durch Abkühlung beider Elektroden sinkt sie auf 26. Alle Versuche sind mit 5 Ampère ausgeführt. VILLARI[1]) zeigte, dass bei Kohlenelektroden der horizontale Bogen kürzer ist als der vertikale; bei vertikalen Kohlen ist der Bogen länger, wenn die obere Kohle positiv ist, die untere negativ, als bei der entgegengesetzten Stromrichtung.

16) Lichtbogen in verdünnter Luft und in anderen Gasen.

Die Kohlenelektroden werden auch im Vacuum zerstäubt; die Zerstäubung ist also jedenfalls nicht allein durch den Verbrennungsprocess bedingt. Bei normalem Druck ist die Bogenlänge am kleinsten in Wasserstoff; dann kommt Leuchtgas, Kohlensäure, Luft. Mit abnehmendem Gasdruck wird der Bogen länger. In Wasserstoff ist die Leuchtkraft des Bogens viel geringer als in den übrigen Gasen.[2]) Platinelektroden verhalten sich ähnlich. Mit wachsender Verdünnung der Luft nimmt die Temperaturdifferenz der Kohlenelektroden ab;[3]) auch in H und N ist der Temperaturunterschied zwischen Anode und Kathode nicht so ausgeprägt als in Luft.

16) Beeinflussung des Lichtbogens durch magnetische Kräfte. Der Lichtbogen verhält sich nach DAVY[4]) und CASSELMANN[5]) magnetischen Kräften gegenüber genau so wie ein gleichgeformter beweglicher metallischer Leiter. Er wird abgelenkt durch genäherte Magnete, durch den Erdmagnetismus, kann in continuirliche Rotation versetzt werden. In neuerer Zeit ist mehrfach vorgeschlagen worden, den Lichtbogen zum Schweissen von Metallstücken zu verwenden und durch magnetische Kräfte auf die richtige Stelle zu lenken.[6])

VIII. Ueber den Einfluss des Lichtes auf elektrische Erscheinungen.

1) Beeinflussung der Funkenbildung.

HERTZ[7]) hat zuerst einen Einfluss des Lichtes auf die Funkenbildung konstatirt. Ein Inductorium erzeugte gleichzeitig zwei Funken, den Unterbrechungsfunken im primären Kreise und den Funken zwischen den in geeignetem Abstande befindlichen Elektroden im sekundären Kreise. Der Versuch zeigt, dass die maximale Länge des sekundären Funkens erheblich kleiner ist, wenn ein metallisches Gehäuse ihn umschliesst. Da auch Nichtleiter, wie Glas, Paraffin, Hartgummi den gleichen Einfluss ausüben, sobald sie zwischen beide Funken eingeschaltet werden, kann die Ursache nicht in einer elektrostatischen oder elektrodynamischen Schutzwirkung bestehen. Es lässt sich vielmehr nachweisen, dass das ultraviolette Licht, wie es in reichem Maasse von dem primären Funken ausgesandt wird, die Funkenbildung befördert. Noch wirksamer ist daher das Licht einer Magnesiumlampe oder eines Lichtbogens wegen ihres Reichthums an kurzwelligen Strahlen. Das Licht wirkt nach HERTZ hauptsächlich auf den negativen Pol des Funkens, die Beschattung der Anode dagegen ist ziemlich gleichgültig. Mit abnehmendem Luftdruck wächst die Beeinflussung des Funkens durch Belichtung. Die späteren Beobachter haben diese Resultate in mancher

[1]) VILLARI, Rend. R. Acc. dei Lincei 5 I, pag. 730. 1889.
[2]) VILLARI, Rend. R. Acc. dei Lincei. Bd. 5 I, pag. 730. 1889.
[3]) STENGER, WIED. Ann. 25, pag. 31. 1885.
[4]) DAVY, Phil. Trans. 2, pag. 427. 1821.
[5]) CASSELMANN, POGG. Ann. 63, pag. 588. 1844.
[6]) UPPENBORN, Elekt. Zeitschr. 1890, pag. 553.
[7]) HERTZ, WIED. Ann. 31, pag. 983. 1887.

Hinsicht geklärt und erweitert. E. WIEDEMANN und EBERT[1]) benutzten als Elektricitätsquelle eine Influenzmaschine. Nach ihren Beobachtungen ändert sich durch die Belichtung der ganze Charakter der Entladung. Ohne Belichtung ist der Uebergang der Elektricität zwischen den Elektroden ungeordnet und schwankend, die Bahn des Funkens springt unstät hin und her, ein eingeschaltetes Telephon giebt ein wechselndes Geräusch. Sobald aber die Belichtung beginnt, beobachtet man einen vollkommen geradlinigen, ruhig an seinem Orte verharrenden, äusserst zarten Lichtfaden; das Telephon giebt einen reinen Ton. Die Zahl der Entladungen vergrössert sich durch die Belichtung im Verhältniss 3:4. Mit abnehmendem Druck nimmt die Stärke der Einwirkung erst bis zu einem Maximum zu, dann wieder ab. Bei Drucken, wo die Kathodenstrahlen reichlich entwickelt sind, ist kein Einfluss der Belichtung mehr zu konstatiren. Ausser in Luft ist die Erscheinung auch deutlich in Wasserstoff, besonders kräftig in Kohlensäure. Auch die Natur der Kathode ist von Bedeutung. Unter den Metallen ist am wirksamsten eine Kathode aus Platin, dann folgen Zink und Kupfer. Gering ist die Wirkung bei Eisen, Aluminium, Palladium, Silber. Sehr kräftig wirkt eine Kathode von Nigrosinlösung. Bekleidung der schwach wirkenden Metalle mit Nigrosinlösung erhöht ihre Wirksamkeit erheblich. Es scheint, als ob die Wirkung um so ausgesprochener ist, je kräftiger die Kathode ultraviolette Strahlen absorbirt. Die Belichtung der Anode ist vollkommen einflusslos.

Unter gewissen Bedingungen vermag nach ELSTER und GEITEL[2]) das Licht auch hemmend auf die Funkenbildung zu wirken. Benutzt man nämlich als positive Elektrode einer Influenzmaschine eine Kugel aus beliebigem Metall, als negative Elektrode eine Platte von amalgamirtem Zink, so setzt bei geeignetem Elektrodenabstand der Funkenstrom aus, sobald man mit einer Magnesiumlampe die negative Platte belichtet. Wird die Kugelelektrode durch einen abgerundeten Metallstab ersetzt, oder so weit zurückgezogen, dass sich daran Büschellicht bildet, so erlischt letzteres bei Belichtung der negativen Platte. Der Versuch gelingt auch, wenn man als negative Elektrode reines Zink oder amalgamirtes Messing wählt.

2) Wirkung des Lichtes auf das Leitungsvermögen verdünnter Luft.

ARRHENIUS[3]) hat folgenden Versuch angestellt. Ein kurzes cylindrisches Glasrohr von 1 *cm* Durchmesser kommunicirt am einen Ende mit einer Luftpumpe; am anderen Ende war eine 3 *mm* dicke Quarzplatte luftdicht aufgekittet. In das Rohr waren diametral gegenüber zwei Platindrähte eingeschmolzen in einem Abstande von 4 *mm* von der Quarzplatte. Der Abstand der Drahtenden betrug 1·4 *mm*. Die Spitzen zweier mit den Polen einer HOLTZ'schen Maschine verbundenen Nadeln lagen in einem gegenseitigen Abstande von 1·7 *mm* möglichst nahe an der Aussenfläche der Quarzplatte. Die beiden Platindrähte waren durch eine Leitung verbunden, welche ein empfindliches THOMSON'sches Galvanometer und eine Säule von 38 Clark Elementen enthielt. So lange die Influenzmaschine ausser Thätigkeit war, zeigte das Galvanometer keinen Ausschlag. Sobald jedoch zwischen den Nadelspitzen Funken übergingen, gab das Galvanometer einen Ausschlag von etwa 50 Skalentheilen. Wovon rührt dieser Strom

---

[1]) E. WIEDEMANN und EBERT, WIED Ann. 33, pag. 241. 1888; WIED. Ann. 35, pag. 209. 1888.

[2]) ELSTER und GEITEL, WIED. Ann. 39, pag. 332. 1890.

[3]) ARRHENIUS, WIED. Ann. 33, pag. 638. 1888.

her, wodurch ist die verdünnte Luft — nur für Druck zwischen 0·6 *mm* und 15 *mm* war eine Wirkung zu beobachten — leitend gemacht worden? ARRHENIUS betrachtet das Licht des Funkens als die Ursache und zwar die höchst brechbaren Strahlen desselben. Eine elektrostatische oder elektrodynamische Einwirkung des Maschinenstroms hält er für ausgeschlossen, weil ein dünnes Blatt von Nitrocellulosepapier, einem vorzüglichen Isolator, zwischen Funken und Quarzplatte gebracht, den Strom im Galvanometerkreis auf den elften Theil vermindert. Ein solcher Isolator kann sehr wohl einen grossen Theil des vom Funken ausgehenden Lichtes verschlucken, aber eine etwaige elektrische Einwirkung des Maschinenstroms nicht beeinträchtigen. Dem Referenten scheint die Sachlage nicht unzweifelhaft klargestellt durch die Versuche von ARRHENIUS. Erstens reducirt nach des letzteren Angaben der Galvanometerausschlag sich auf die Hälfte, wenn der Funken um 0·34 *mm* weiter von der Quarzplatte entfernt übergeht. Daraus würde nach seiner Anschauung folgen, dass die Wirkung von den am stärksten brechbaren Strahlen herrührt, welche selbst von Luft sehr stark absorbirt werden. Es ist aber wenig wahrscheinlich, dass auch nur ein Bruchtheil dieser Strahlen durch das Cellulosepapier geht; jedenfalls hätte eine besondere Prüfung den Beweis dafür liefern müssen. Zweitens, wenn die Wirkung von dem Lichte des Funkens herrührt, muss sie auch auftreten, wenn man als Lichtqueile eine Bogenlampe wählt, deren Kohlen eine Zinkseele enthalten, weil in einer solchen Lichtquelle die ultraviolette Strahlung ganz besonders intensiv ist. Bei diesem Versuche müsste allerdings das Licht eine erheblich grössere Strecke in der Luft zurücklegen; aber es ist ohnehin wahrscheinlich, dass die Strahlen, welche von Luft stark absorbirt werden, die Quarzplatte des Apparats nicht ohne Schwächung durchsetzen werden. Ein Experiment in dieser Richtung wäre jedenfalls zu versuchen. Drittens wäre es wünschenswerth gewesen, statt des Cellulosepapiers noch andere Nichtleiter in den Weg der Strahlen einzuschalten.

3) Zerstreuung negativer Ladungen durch das Licht.

Zuerst hat HALLWACHS[1]) den Einfluss des Lichts auf einen negativ geladenen Leiter nachgewiesen. Eine blanke Zinkplatte war an einem Isolirstatif befestigt und stand in Verbindung mit einem Goldblattelektroskop. Vor der Zinkplatte befand sich, mit ihr parallel, ein grosser Schirm aus Zinkblech, in welchem ein Fenster aus Marienglas eingesetzt war. Zinkplatte und Elektroskop isolirten gut. Sobald aber durch das Fenster hindurch das Licht einer Bogenlampe auf die negativ geladene Zinkplatte traf, begannen die Goldblättchen des Elektroskops zusammenzufallen, z. B. nahm in einem Versuch bei negativer Ladung die Divergenz der Goldblättchen in 5 Sekunden um 70 % ab. Ganz ähnlich, wie in den oben erwähnten Versuchen von HERTZ lässt sich auch hier zeigen, dass die Zerstreuung der negativen Elektricität durch die ultravioletten Strahlen der Lichtquelle herbeigeführt wird, und zwar hauptsächlich durch die Strahlen höchster Brechbarkeit, die im Sonnenlichte fehlen.[2]) Bei blanker Zinkplatte ist der Einfluss der Belichtung viel grösser, als bei stark oxydirter Oberfläche. Eisen wird weniger, Aluminium mehr beeinflusst als Zink. Gewisse negativ elektrisirte Flüssigkeiten sind ebenfalls empfindlich gegen hoch brechbare Strahlen (Seele aus Al, Zn oder Sn in den Kohlen der Bogenlampe). Besonders wässrige Lösungen von Fuchsin, Cyanin, Jodgrün zeigen die Erscheinung intensiv; geringere Wirkungen zeigen sich bei wässrigen Lösungen von salpetersaurem Kalium,

[1]) HALLWACHS, WIED. Ann. 33, pag. 301. 1888; WIED. Ann. 37, pag. 666. 1889.

[2]) STOLETOW, Beibl. 14, pag. 322. 1890.

Eosin, Hämatoxylin, Blauholz, Rothholz, Ameisensäure, Anilin. In ähnlicher Stärke wie bei den Metallen tritt das Phänomen ein bei Platten von Ebonit, Schwefel, Glas.[1]) Unwirksam sind Wasser, Aceton, Amylacetat, wässrige Lösungen von Chromsäure, Lackmus, übermangansaurem Kalium, Salpeter, Bromkalium. Es ist kein Zweifel, dass ein gewisser Parallelismus besteht zwischen der Empfindlichkeit eines negativ geladenen Körpers gegen Belichtung und seiner Absorptionsfähigkeit für ultraviolettes Licht. Nur Körper, welche ultraviolettes Licht absorbiren, werden bei negativer Ladung vom Lichte beeinflusst. Aber nicht jeder Körper, der ultraviolette Strahlen absorbirt, ist lichtempfindlich.

Elster und Geitel[2]) zeigten sodann, dass negative Ladungen auf gewissen besonders lichtempfindlichen Substanzen sogar durch das Sonnenlicht zerstreut werden. Dahin gehören Zink, amalgamirtes Messing und schwache Amalgame von Kalium und Natrium. Bei letzteren ist jedoch eine reine Oberfläche unerlässlich; entweder verwandten die Verfasser desshalb frei austretende Strahlen der Amalgame in atmosphärischer Luft, oder grössere freie Oberflächen in stark evacuirten Räumen. Eine solche Amalgamfläche nimmt eine negative statische Ladung im Sonnenlichte überhaupt nicht an; eine positive Ladung wird nicht nur aufgenommen, sondern auch unverändert beibehalten. Diffuses Tageslicht genügt.

Reines Quecksilber reagirt nicht. Unter den nicht metallischen Körpern hat die Balmain'sche Leuchtfarbe allein die Eigenschaft, negative Elektricität bei Bestrahlung mit Sonnenlicht zu verlieren.[3]) Nach den Versuchen von Stoletow[4]) ist ferner die entladende Wirkung des Lichtes *ceteris paribus* der Intensität der Lichtquelle und der Grösse der beleuchteten Stelle proportional. Sie ist auch bei sehr geringer negativer Ladungsdichte bereits merklich, ihre Grösse hängt von der Dichte ab und wächst mit ihr zunächst schneller als die Dichte, dann langsamer. Zwischen Belichtung und Beginn der Entladung liegt kein messbarer Zeitunterschied.

Besonders eingehend hat Righi die Erscheinung untersucht.

I. Beziehung der Lichtwirkung zur Oberflächengasschicht.

Hoor[5]) hatte behauptet, dass alle Vorgänge, welche die an der Oberfläche des geladenen Körpers kondensirte Gasschicht entfernen, die Zerstreuung durch Belichtung verhindern. Righi[6]) hat diese Behauptung widerlegt. Metallplatten, welche von ihrer Gasschicht vollständig befreit sind, zeigen die Erscheinung genau so, wie eine gewöhnliche Platte. Andererseits nimmt unzweifelhaft die Belichtung den Metallen einen Theil ihrer Gasatmosphäre. Belichtet man zum Beispiel eine Zn- oder Sn-Platte durch einen mit Ausschnitten versehenen Schirm, so zeigen sich nachher beim Behauchen Bilder, ähnlich wie die Moser'schen. Aber diese Bilder entstehen genau in derselben Weise bei positiver wie bei negativer Ladung. Oberflächengasschicht und Zerstreuung der Elektricität haben also nichts mit einander zu schaffen. Wenn überhaupt Gastheilchen die Fortführung der Elektricität bei Belichtung übernehmen, so müssen diese Theilchen dem freien Raum um die Metallplatte entstammen.

---

[1]) Righi, Rend. R. Acc. dei Lincei Bd. 4 I, pag. 691. 1888.

[2]) Elster und Geitel, Wied. Ann. 38, pag. 40, 497. 1889; Wied. Ann. 41, pag. 161.

[3]) Elster und Geitel, Wied. Ann. 38, pag. 40, 497. 1889.

[4]) Stoletow, Journ. d. russ. phys. chem. Ges. (7—8) 21, pag. 159. 1889; Beibl. 1890, pag. 322.

[5]) Hoor, Exner's Repertorium Bd. 25, pag. 91. 1889.

[6]) Righi, Exner's Rep. Bd. 25, pag. 380. 1889.

II. Wird eine negativ geladene Metallplatte durch eine Gypsplatte hindurch belichtet, so findet man nach kurzer Zeit die Gypsplatte negativ elektrisch.[1]) Die auf der geladenen Platte angehäufte Elektricität wird also durch die Belichtung nicht in eine andere Energieform umgesetzt, sondern nur an andere Orte übergeführt. RIGHI betrachtet desshalb den ganzen Vorgang als einen konvectiven. Durch eine sinnreiche Versuchsanordnung[2]) wird gezeigt, dass die Theilchen, welche als die supponirten Vehikel der Elektricität dienen, den Kraftlinien des Feldes folgen.

4) Zerstreuung positiver Ladungen durch das Licht.

BRANLY[3]) zeigte, dass durch Benutzung der am stärksten brechbaren Strahlen auch positive Ladungen zerstreut werden. Versuchsanordnung: die Enden der sekundären Spirale eines grossen RUHMKORFF'schen Induktoriums waren zugleich mit den Belegungen einer Leydener Batterie und den Aluminiumspitzen eines Ausladers verbunden. Ein Elektroskop verliert sowohl positive als negative Ladung schnell unter dem Einflusse der im Auslader übergehenden Funken. Alle etwaigen Störungen elektrostatischer oder elektrodynamischer Art wurden unmöglich gemacht durch ein metallisches, zur Erde abgeleitetes Gehäuse, das Induktor und Auslader umschloss.

Genauere Messungen geschahen mit Hilfe des HANKEL'schen Elektrometers. Bei 5 *cm* Abstand zwischen Funken und Versuchsplatte zerstreut sich die negative Ladung bei demselben Anfangspotential etwas schneller als die positive Ladung; zur Verwendung kamen gut polirte Platten aus Zn, Al, Cu, Cd, Bi. Mit wachsender Funkenlänge nimmt die Wirkung bei positiver Ladung schneller ab, als bei negativer.

Die Ansicht von RIGHI,[4]) dass die eben erwähnte Zerstreuung positiver Ladungen durch Belichtung von Fehlerquellen bedingt sei, scheint kaum gerechtfertigt.

5) Erzeugung positiver Elektricität durch Belichtung.

Zuerst hat HALLWACHS[5]) und kurz darauf RIGHI[6]) gezeigt, dass durch Belichtung positive Elektricität auf einem Leiter entstehen kann. Der Versuch wird einwandsfrei so ausgeführt, dass die zu untersuchende Metallplatte im Innern einer metallischen, zur Erde abgeleiteten Hülle sich befindet, deren Kontaktpotential gegen die Platte negativ ist. Dann hat nothwendigerweise von vornherein die Platte eine positive Ladung. Sobald durch ein in der Hülle befindliches Fenster das Licht einer Bogenlampe auf die Platte fällt, zeigt ein mit ihr verbundenes Electrometer eine Potentialerhöhung, d. h. ein Anwachsen der positiven Ladung an. Hätte dagegen die Hülle von Anbeginn positives Contaktpotential gegen die Platte, so hätte die beobachtete Potentialsteigerung durch Belichtung ebensowohl von einem Weggang negativer, als einer Schaffung positiver Elektricität herrühren können. Der Versuch kann noch übersichtlicher dadurch angeordnet werden, dass man Platte und Hülle aus demselben Metall wählt; auch dann zeigt das Elektrometer eine positive, durch die Belichtung erzeugte Ladung an.[7]) Die

---

[1]) RIGHI, Rend. R. Acc. dei Lincei Bd. 4 I., pag. 578. 1888.

[2]) RIGHI, Rend. R. Acc. dei Lincei Bd. 4 I, pag. 691. 1888; Bd. 6 I, pag. 151. 1890; Atti del R. Ist. Ven. (6) Bd. 7.

[3]) BRANLY, Compt. rend. 110, pag. 751. 1890.

[4]) RIGHI, EXNER's Repertorium 25, pag. 380. 1889.

[5]) HALLWACHS, WIED. Ann. 34, pag. 731. 1888; WIED. Ann. 40, pag. 332. 1890.

[6]) RIGHI, Rend. R. Acc. dei Lincei Bd. 4 II, pag. 16. 1888.

[7]) RIGHI, Compt. rend. 107, pag. 559. 1888.

elektromotorische Kraft der Strahlung hört erst auf, wenn eine bestimmte Oberflächendichte der positiven Ladung erreicht ist.[1]) Dieser Grenzwerth der Dichte hängt nur ab von der Natur des bestrahlten Körpers, der Temperatur und dem Druck der Luft, sowie der Intensität der Beleuchtung. Das Grenzpotential dagegen, auf das der Körper kommt, kann natürlich mit Form und Lage des Körpers sich ändern.[2])

Die besonders empfindlichen Metalle Zn rein, sowie amalgamirt und Aluminium nehmen positive Ladung auch im Sonnenlichte an.

Noch bequemer ist eine Versuchsanordnung, welche von RIGHI[3]) angegeben worden ist und seitdem von verschiedenen Beobachtern benutzt wurde. Eine vertikale Metallscheibe A ist einem parallelen Drahtnetz B in geringem Abstande gegenübergestellt. A wird mit dem einen, B mit dem andern Quadrantenpaar eines Elektrometers verbunden. Ausserdem ist A an Erde gelegt, die Nadel des Elektrometers wird mit 100 Elementen Cu, H_2O, Zn geladen. Wird auf einen Moment A auf das Potential der Erde gebracht, dann wieder isolirt und durch die Maschen des Netzes von Magnesiumlicht oder Bogenlicht getroffen, so weicht die Elektrometernadel aus der Ruhelage. Der Ausschlag wächst, bis ein bestimmter Grenzwerth erreicht ist. Der Endzustand wird um so schneller erreicht, je näher die Lichtquelle dem Plattensystem liegt. Besteht z. B. A aus Zink, B aus Messing, so ist der Ausschlag negativ. Auch wenn vor der Belichtung A irgend wie geladen war, stellt sich derselbe Endausschlag her. Wird A sehr nahe an B herangebracht, so ändert sich die, durch die Belichtung erzeugte Ablenkung nicht, wenn man nachträglich A und B von einander entfernt. Daraus schliesst RIGHI, dass durch die Belichtung beide Metalle auf gleiches Potential gebracht worden sind, dass also die beim Versuch beobachtete Ablenkung des Elektrometers das Contaktpotential A/B misst. In einer späteren Arbeit[4]) hat RIGHI nach dieser Methode eine Reihe von Contaktpotentialen in verschiedenen Gasen ermittelt. Das Contaktpotential ist für alle Combinationen von Metallen dasselbe in Kohlensäure, trockener und feuchter Luft. In Wasserstoff dagegen geben nur Combinationen von C, Bi, Sn, Cu, Zn dasselbe Contaktpotential wie in Luft; besteht dagegen A oder B aus Pt, Pd, Ni, Fe, so erhält man andere Werthe. So ist z. B. Zu/Pt in Luft = 1·12 Volts, in Wasserstoff 0·69 Volts. Befinden sich A und B in einem Gemenge von Luft und Ammoniak, so erhält man grössere Contaktpotentiale als in reiner Luft, wenn auch nur eines der Metalle Pt, Pd, Ni, Fe, Sn, Bi der Combination angehört. In allen Fällen kehrt in Luft nach einiger Zeit der normale Werth zurück. In Leuchtgas hat die Combination Pt/Cu das entgegengesetzte Zeichen wie in Luft.

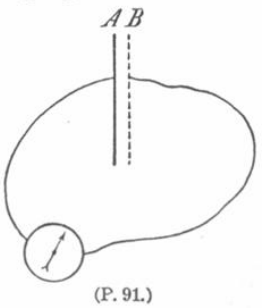
Nach BICHAT und BLONDLOT[5]) wird die durch Belichtung entstehende positive Ladung wesentlich verstärkt, auf das 6—7fache, wenn man während der Belichtung einen kräftigen Luftstrom gegen die der Erregung unterliegende Platte treibt. Anblasen ohne Belichtung ist einflusslos. Die Erscheinung wird in dieser Anordnung so kräftig, dass man sie in der Vorlesung bequem demonstriren kann.[6])

---

[1]) RIGHI, Rend. R. Acc. dei Lincei Bd. 4 II, pag. 66. 1888.
[2]) RIGHI, WIED. Ann. 41, pag. 505. 1890.
[3]) RIGHI, Rend. R. Acc. dei Lincei Bd. 4 I, pag. 185. 1888.
[4]) RIGHI, Rend. R. Acc. dei Lincei 5 I, pag. 860. 1889.
[5]) BICHAT und BLONDLOT, Compt. rend. 107, pag. 29, 557. 1888.
[6]) HALLWACHS, WIED. Ann. 40, pag. 343. 1890.

6) Aktinoelektrischer Strom.

Wie STOLETOW[1]) zeigte, kann man einen dauernden Strom erhalten durch die in 3) näher auseinander gesetzte lichtelektrische Erregung. Die einfache Versuchsanordnung soll durch das nebenstehende Schema verdeutlicht werden. *A* ist eine massive Metallplatte, *B* ein Netz aus anderem Metall; zwischen beiden bestehe eine Contaktpotentialdifferenz, so dass das Netz positiv wird. So lange durch das Netz hindurch die Platte belichtet wird, fliesst ein stetiger Strom durch das Galvanometer. In diesem aktinoelektrischen Strom spielt die Luft (oder die ihr beigemengten Partikeln) die Rolle eines schlechten Leiters. Der scheinbare Widerstand der Luft folgt dem OHM'schen Gesetze nicht. Die Stromstärke wächst durch Temperatursteigerung sowie mit wachsender Elementenzahl. In verdünnter Luft[2]) wächst *ceteris paribus* der aktinoelektrische Strom mit abnehmendem Druck erst langsam, dann schneller bis zu einem Maximum; bei weiterer Verdünnung nimmt die Stromstärke bis zu einem endlichen Grenzwerth ab. Keine Wirkung der Belichtung ist vorhanden, wenn der Zwischenraum zwischen *A* und *B* statt eines Gases einen festen oder flüssigen Isolator enthält. Der Verfasser hält den Vorgang desshalb für einen konvectiven; über die primäre Ursache der elektromotorischen Erregung lässt sich Bestimmtes vorläufig nicht aussagen. Der aktinoelektrische Strom ist weiter der Intensität der Lichtquelle proportional.[3]) Endlich ist $\frac{1}{1000}$ Sekunde vollkommen ausreichend, um den Strom zur vollen Ausbildung zu bringen; die widersprechenden Versuche von BORGMANN[4]) (ein in dem oben gezeichneten Schema statt des Galvanometers eingeschaltetes Telephon schweigt, wenn in raschem Wechsel *A* belichtet und verdunkelt wird) erklären sich aus der Unempfindlichkeit des Telephons. Wird in das oben gezeichnete Schema noch eine galvanische Batterie eingeschaltet, so dass das Netz mit dem positiven, die Vollplatte mit dem negativen Pol verbunden ist, so entsteht bei Belichtung ebenfalls ein Strom. Z. B. gaben zwei DANIELL'sche Elemente bei einem Abstand von 2—3 *mm* zwischen Platte und Netz einen Ausschlag von 30—50 Skalentheilen am Galvanometer (1 Theil = 9·10 Ampère). War umgekehrt das Netz negativ, die Platte positiv, so war nur eine sehr geringe Wirkung zu verspüren. BRANLY[5]) hat diese letzten Versuche von STOLETOW[6]) weiter geführt. Auch er bildete einen einfachen Kreis aus einem Condensator, dessen eine Platte massiv, dessen andere Platte durchlöchert oder netzartig war, einer Batterie und einem Galvanometer von hohem Widerstande. Abstand der Condensatorplatten 0·6—1 *mm*. Sobald die massive Platte von den Funken eines Induktoriums belichtet wird, schlägt die Galvanometernadel aus. Der Ausschlag wächst langsamer als die Zahl der benutzten Elemente. Von 1·4—70 Volts ist der Strom stärker, wenn die belichtete Platte negativ ist. Aber je kleiner die Zahl der Elemente ist, um so näher liegen die Ausschläge einander, welche man bei Belichtung der positiven resp. negativen Platte erhält.



(P. 91.)

---

[1]) STOLETOW, Compt. rend. 106, pag. 1149. 1888; Journ. d. russ. phys. chem. Ges. (7 bis 8) 21, pag. 159. 1889; Beibl. 14, pag. 322. 1890.

[2]) STOLETOW, Journ. d. phys. (2), Bd. 9, peg. 468. 1890.

[3]) STOLETOW, Compt. rend. 108, pag. 1241. 1889.

[4]) BORGMANN, Compt. rend. 108, pag. 733. 1889.

[5]) BRANLY, Compt. rend. 110, pag. 110, 898. 1890.

[6]) STOLETOW, Compt. rend. 106, pag. 1149. 1888.

Dabei ist ein Abstand von 10 *mm* zwischen Funken und belichteter Platte vorausgesetzt. Wird dieser Abstand grösser, so nimmt der Strom immer mehr ab, welcher der Belichtung der positiven Platte entspricht und wird schliesslich unmessbar. Quarz absorbirt die Strahlen stärker, welche im letztgenannten Falle thätig sind; es scheinen hier also vorwiegend stärker brechbare Strahlen — welche von Quarz und Luft merklich absorbirt werden — zu wirken, als wenn die negative Platte belichtet wird.

7) Ueber den hemmenden Einfluss des Magnetismus auf lichtelektrische Entladungen.

Wie ELSTER und GEITEL[1]) nachgewiesen haben, wird in verdünntem Gase der Austritt negativer Elektricität aus einer belichteten Fläche (s. unter 3) im magnetischen Felde gehemmt. Der Versuch gelingt mit negativen Elektroden aus amalgamirtem Zink oder frisch geglühtem Platin in verdünnter Luft, Kohlensäure, Wasserstoff, Sauerstoff in Funkenlicht, sowie Tageslicht.

IX. Theorie der Gasentladungen.

1) Um die Erscheinungen mannigfaltiger Art zu erklären, welche wir als Entladungen durch Gasstrecken oder als elektrische Leitung in Gasen bezeichnen, sind im Wesentlichen die folgenden Hypothesen aufgestellt worden. Entweder nimmt man an, dass die Elektricität nur bewegt wird dadurch, dass die Materie, auf der sie sich befindet, ihren Ort wechselt. Wir wollen diese Anschauung als Convectionstheorie schlechthin bezeichnen. Wenn wir im Speciellen als die Träger der Elektricität, welche den Transport ausführen, die Gasmolekeln oder Theilchen fester und flüssiger Körper ansehen, wollen wir die Theorie reine Convectionstheorie nennen. Die Theorie dagegen, welche in vollkommener Analogie zur Elektricitätsleitung der Elektrolyte, die Annahme macht, dass die Ueberführung der Elektricität durch Ionen geschieht, mag Dissociationstheorie heissen. Endlich ist mit Erfolg der Versuch unternommen worden, eine Reihe von Erscheinungen, welche zu den elektrischen Vorgängen in Gasen gehören, zum Lichtäther in Beziehung zu setzen.

Es ist zur Zeit, meiner Ansicht nach, eine völlig ausreichende Erklärung aller einschlägigen Beobachtungen nach den genannten Hypothesen nicht möglich. Ich will versuchen, alle Argumente für und wider übersichtlich zusammenzustellen.

A. Reine Convectionstheorie.

2) G. WIEDEMANN und R. RÜHLMANN[2]) haben zuerst die Convectionshypothese aufgestellt. Nach ihnen sollte die Entladung in verdünnten Gasen durch die von den Elektroden abgeschleuderten, mit Elektricität geladenen Gas-Molekeln bedingt sein; beim Zusammentreffen mit andern Molekeln sollte ein Austausch der Ladung möglich sein. PULUY[3]) sah als Träger der convektiven Uebertragung die von den Elektroden losgerissenen Theilchen an, CROOKES[4]), sowie SPOTTISWOODE und MOULTON[5]) neigten der Ansicht von WIEDEMANN und RÜHLMANN zu.

3) Gegen eine solche convektive Elektricitätsleitung in verdünnten Gasen sprechen indess eine ganze Reihe von sicher beobachteten Thatsachen.

---

[1]) ELSTER und GEITEL, WIED. Ann. 41, pag. 166. 1890.

[2]) G. WIEDEMANN und R. RÜHLMANN, POGG. Ann. 145, pag. 394. 1872.

[3]) PULNY, Wien. Ber. 81, pag. 871. 1880.

[4]) CROOKES, Phil. Trans. 1879, part. I, pag. 135.

[5]) SPOTTISWOODE und MOULTON, Phil. Trans. 1880, part. I, pag. 580.

E. WIEDEMANN[1]) wies auf Versuche von WHEATSTONE[2]) und v. ZAHN[3]) hin. WHEATSTONE betrachtete das Bild eines 6 Fuss langen Entladungsrohres in einem Spiegel, der um eine zur Röhre parallele Axe in Rotation versetzt werden konnte. Das Aussehen des Bildes im rotirenden Spiegel unterschied sich in nichts von dem Bilde, wie es der ruhende Spiegel gab. Daraus konnte man berechnen, dass man den Gastheilchen im positiven Lichte Geschwindigkeiten von mindestens 200 Kilometern per Sekunde zuschreiben müsste, wenn man sie als Träger der Elektricität ansehen wollte. Solche grosse Geschwindigkeit ist an sich unwahrscheinlich; ihre Existenz wird aber direkt wiederlegt durch einen Versuch von v. ZAHN. Betrachtete er die Spectrallinien eines Entladungsrohres einmal in der Richtung der Rohraxe, das andere Mal senkrecht dazu, so war keine Verschiebung der Linien zu constatiren. Daraus folgt, dass die Gastheilchen im positiven Lichte Geschwindigkeiten über eine Meile nicht haben können.

Später haben E. WIEDEMANN und EBERT[4]) unter Benutzung der Methode der FRAUENHOFER'schen Minima 2. Klasse gezeigt, dass auch die in den Kathodenstrahlen leuchtenden Theilchen keine Geschwindigkeiten besitzen können, welche die mittleren in den umgebenden Gasräumen um mehr als 5 *km* übertreffen.

HITTORF[5]) führte durch den oberen Tubulus einer Luftpumpenglocke einen mit Spitze versehenen Draht ein. Dieser Draht bildete die eine, der Luftpumpenteller die zweite Elektrode. Isolirt stand auf dem Teller ein kleines Flugrädchen; die Flügel waren unter 45° gegen den Horizont geneigt. Bei grösseren Drucken wurde die Mühle durch den von der Spitze ausgehenden Luftstrom gedreht. Sobald jedoch soweit evacuirt war, dass im ganzen Luftraum der Glocke Glimmentladung vorhanden war, stand das Rädchen still. Auch daraus folgt, dass bei der Glimmentladung eine Fortführung von Gastheilchen fehlt.

HERTZ[6]) hat aus seinen Versuchen geschlossen, dass die Kathodenstrahlen durch convective Entladung nicht erklärt werden können, wenn man nicht Geschwindigkeiten zulassen will, welche elf Erdquadranten per Sekunde überschreiten.

4) Ist die Zersetzung der Elektricität in Luft gewöhnlicher Dichte ein convektiver Vorgang? COULOMB glaubte, dass die Abnahme der Ladung eines elektrisirten Conductors einmal herrührt von der mangelhaften Isolation der Stützen, andererseits aber von der Fortführung der Elektricität durch das umgebende Gas. HITTORF[7]) und WARBURG[8]) haben jedoch gezeigt, dass der Verlust bei mässigen Spannungen ausschliesslich auf Rechnung ungenügender Isolationsfähigkeit der Stützen zu setzen ist. Ferner hat NAHRWOLD[9]) durch sorgfältige Versuche nachgewiesen, dass Gase sich überhaupt nicht mit statischer Elektricität laden lassen sollen, falls sie völlig frei von Staub sind.

5) Mir scheint nach dem Vorhergehenden jede Möglichkeit ausgeschlossen, die elektrische Leitung der Gase durch eine Convection von Gastheilchen zu erklären. Wenngleich man zugeben muss, dass manche Erscheinung sich durch

---

[1]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 9, pag. 160. 1880; 10, pag. 202. 1880.
[2]) WHEATSTONE, POGG. Ann. 34, pag. 468. 1835.
[3]) v. ZAHN, WIED. Ann. 8, pag. 675. 1879.
[4]) E. WIEDEMANN und EBERT, WIED. Ann. 36, pag. 643. 1889.
[5]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 608. 1879.
[6]) HERTZ, WIED. Ann. 19, pag. 814. 1883.
[7]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 594. 1879.
[8]) WARBURG, POGG. Ann. 145, pag. 578. 1872.
[9]) NAHRWOLD, WIED. Ann. 5, pag. 460. 1878; 31, pag. 448. 1887.

die Convectionshypothese in einfacher Weise plausibel machen lässt, kann man nach so schwerwiegenden Widerlegungen doch nicht dabei stehen bleiben sondern muss nach anderen Erklärungen suchen. Es versteht sich von selbst, dass eine Convection durch feste Theilchen von sehr kleinen, aber doch endlichen Dimensionen zuzugeben ist. Dahin gehört erstens der Nachweis, dass Luft, in welcher ein Platindraht glüht, sich statisch laden lässt [NAHRWOLD[1])], weil nach BERLINER[2]) glühendes Platin verstäubt wird. Es wäre ferner möglich, dass die Convection der Elektricität durch nicht gasförmige Partikeln eine Rolle bei dem Einfluss des ultravioletten Lichtes auf elektrische Ladungen spielt.

Wie nämlich LENARD und WOLF[3]) gezeigt haben, vermag ultraviolettes Licht unter gewissen Bedingungen Zerstäubung herbeizuführen. Ihre Beobachtungsmethode war die des Dampfstrahls. Zn, Hg, Pt, Messing, Cu, Sn, Pb, Fe, Au, Ag werden bei negativer Ladung durch ultraviolettes Licht in abnehmendem Maasse zerstäubt, bei positiver Ladung nicht. Unelektrisch werden zerstäubt Cu, Ag, Au. Concentrirte Lösungen von Fuchsin und Methylviolett zeigen bei negativer Ladung kräftige Zerstäubung; positiv oder unelektrisch weisen sie keine Einwirkung des Lichtes auf. Eosin und Nigrosin werden nicht merklich zerstäubt. Aus diesen Daten scheint freilich ein gewisser Parallelismus zwischen Zerstäubung und Zerstreuung der Elektricität durch Bestrahlung hervorzugehen, aber ich würde doch Bedenken tragen, die Zerstäubung als die Ursache der Elektricitätszerstreuung aufzufassen. Mir scheint vielmehr, wie auch SCHUSTER[4]) annimmt, die Zerstäubung eine Begleiterscheinung des Elektricitätsverlustes zu sein, weil nach den Versuchen von LENARD und WOLF unelektrische Körper in geringerem Maasse der Zersteubung unterliegen, als negativ geladene.

6) E. WIEDEMANN und EBERT[5]) haben die Ansicht ausgesprochen, dass für den Uebergang der Elektricität in Gasen zwei wesentlich verschiedene Fälle zu unterscheiden seien. a) Der Elektricitätsverlust durch Entladungen, welche erst bei einer ganz bestimmten Dichte der Elektricität bezw. bei einem bestimmten Potentialabfall eintritt. b) Der Elektricitätsverlust, welcher bei jeder beliebigen noch so kleinen Spannung auf dem betreffenden Körper eintritt.

E. WIEDEMANN glaubt, dass beide Erscheinungen ganz verschiedenen Gesetzen gehorchen und ist daher auch der Meinung, dass in beiden Fällen die Ursache des Elektricitätsverlustes eine verschiedene sei. Im zweiten Falle setzt er Convection voraus. Meiner Meinung nach kann man, wie oben auseinandergesetzt ist, die Convectionstheorie nicht mehr als ausreichend ansehen. Ausserdem scheint mir der Gegensatz, den WIEDEMANN und EBERT zwischen den Erscheinungen unter a) resp. b) annehmen, kein principieller zu sein. Ich will versuchen, im Folgenden diese Anschauung näher zu begründen. Wenn ich recht verstehe, setzen WIEDEMANN und EBERT im Falle a) stets disruptive Entladungen voraus. Wir haben aber Glimmentladungen durch HITTORF, HERTZ, WARBURG kennen gelernt, welche vollkommen continuirlich verlaufen und doch ein grosses Potentialgefälle im Entladungsrohr erfordern. Ferner erblicken WIEDEMANN und EBERT einen wesentlichen Unterschied zwischen dem Einfluss des Lichtes auf die Funkenentladung (Versuche von HERTZ, E. WIEDEMANN und EBERT) und der Zerstreuung negativer Ladungen durch Belichtung (Versuche von

[1]) NAHRWOLD, WIED. Ann. 31, pag. 448. 1887.
[2]) BERLINER, WIED. Ann. 33, pag. 289. 1888.
[3]) LENARD und WOLF, WIED. Ann. 37, pag. 443. 1889.
[4]) SCHUSTER, Proc. Roy. Soc. 47, pag. 526. 1890.
[5]) E. WIEDEMANN und EBERT, WIED. Ann. 35, pag. 256. 1888.

Hallwachs, Righi, Bichat und Blondlot, Stoletow). Bei den Versuchen von Wiedemann und Ebert blieb die Funkenentladung der Influenzmaschine discontinuirlich trotz Belichtung, während die Zerstreuung stetig erfolgt. Aber es fehlt der Beweis, dass die Discontinuität im ersten Falle in der Sache begründet ist; sie kann möglicherweise auch ihren Grund in der Benutzung der Influenzmaschine haben. So gut jede Glimmentladung der Influenzmaschine discontinuirlich ist, mit einer geeigneten constanten Batterie continuirlich, genau so gut ist es möglich, dass durch Belichtung auch der Elektricitätsübergang zwischen Elektroden in Luft von normaler Dichte continuirlich wird, sobald nur eine Stromquelle benutzt wird, welche grosse Elektricitätsmengen zu liefern vermag. Versuche in dieser Richtung scheinen mir erwünscht.

Was die elektrischen Vorgänge in Flammen betrifft, glauben Wiedemann und Ebert den Beweis der Discontinuität gebracht zu haben. Ich habe in dem Abschnitt über die Elektricitätsleitung der Flammen gezeigt, dass dieser Nachweis nicht in unzweifelhafter Weise erbracht ist.

B. Dissociationstheorie.

1) Die Dissociationstheorie ist für die Gase zuerst aufgestellt worden durch Giese[1]) und hat später durch Schuster[2]), Elster und Geitel[3]) eine weitere Ausbildung erfahren.

In der Darstellung von Elster und Geitel wird die Hypothese in folgender Weise zum Ausdruck gebracht. Eine Gasmolekel ist ein vollkommener Isolator für Potentialdifferenzen innerhalb gewisser Grenzen, welche durch die Dichte und vielleicht die Natur des Gases bedingt sind. Jede Molekel besteht aus zwei Ionen, welche gleiche und entgegengesetzte Elektricitätsmengen enthalten. Ein Uebergang der Elektricität von einer Molekel zu einer andern kann nur unter Austausch der Ionen erfolgen. Soll ein Gas leiten, so müssen seine Molekeln in Ionen dissociirt werden.

Die Dissociation kann herbeigeführt werden entweder durch elektrische Kräfte selbst, wenn die angewandte Potentialdifferenz gross genug ist, oder durch chemische Processe, durch Erhitzen, durch Bestrahlung mit ultraviolettem Lichte.

2) Bei Entladung durch Spitzen, Funken, in Geissler'schen Röhren sind es starke elektrische Spannungen, welche die Ionen erzeugen. Gegensatz zur gewöhnlichen Elektrolyse, wo wir seit Clausius annehmen, dass Dissociation vorhanden ist, auch ohne dass elektrische Kräfte thätig sind. Giese erklärt damit, dass ein bestimmtes Potentialgefälle nothwendig ist, damit ein Strom die Gasschicht durchsetzt.

3) Schuster hat gezeigt, dass in einem Entladungsrohr, das nur Quecksilberdampf, absolut keine Luft enthält, trotzdem der Elektricitätsübergang unter Lichtentwicklung sich vollzieht. Da wir nun gewohnt sind, aus verschiedenen Gründen Quecksilberdampf als einatomig anzusehen, scheint mir, wenn man die Dissociationshypothese folgerichtig ausbauen will, die Nothwendigkeit vorzuliegen, beim Quecksilber eine Dissociation höherer Ordnung anzunehmen. Mir scheint dieser Schritt nicht allzu gewagt, weil doch der Quecksilberdampf ein ausgeprägtes Spektrum aufweist, also in dem einatomigen Molekel doch gewisse Bewegungen kleinerer Theile gegen einander vorausgesetzt werden müssen.

[1]) Giese, Wied. Ann. 17, pag. 538. 1882; 37, pag. 576. 1889; 38, pag. 403. 1889.

[2]) Schuster, Proc. Roy. Soc. 37, pag. 317. 1884.

[3]) Elster und Geitel, Wied. Ann. 37, pag. 324. 1889.

WARBURG[1]) erklärt in seiner ersten Arbeit über die Glimmentladung das grosse Kathodengefälle aus einer an der Kathode stattfindenden chemischen Zersetzung durch die elektrischen Kräfte. Die gebildeten Zersetzungsprodukte sollen sich unter Wärmeproduction fortwährend wieder vereinigen. Der Zersetzung widersteht die Contaktwirkung der Kathode. Diese Contaktwirkung müsste in hohen Temperaturen sehr gering sein, weil nach HITTORF's Versuchen das Kathodengefälle sehr klein wird, wenn die Kathode auf Weissgluth gebracht wird.

WARBURG[2]) fand später, dass das Kathodengefälle in Quecksilberdampf von derselben Grössenordnung ist wie in Stickstoff und Wasserstoff. WARBURG scheut die Annahme einer Dissociation höherer Ordnung und spricht sich deshalb nicht entschieden für die Dissociationstheorie aus.

4) In den Fällen, wo der Uebergang der Elektricität durch Gase durch Erhitzen, chemischen Process, Bestrahlung eingeleitet wird, ist die Annahme berechtigt, dass heftige intramolekulare Bewegungen vorhanden sind, welche den Zerfall der Molekeln begünstigen. Die Ursache dieser molekularen Bewegungen ist hier nicht elektrischen Ursprungs. Die Ionen werden erzeugt, ob sie Gelegenheit finden Elektricität zu leiten oder nicht. Wir wollen der Reihe nach diese drei verschiedenen Vorgänge im Sinne der Dissociationstheorie erläutern.

5) Leitung erhitzter Gase.

Nach BECQUEREL sind einschlägige Versuche hauptsächlich von J. J. THOMSON[3]) angestellt worden, der vollkommen auf dem Boden der Dissociationshypothese steht. Er hat durch sorgfältige Versuche gezeigt, dass die Dämpfe von Br, J, Jodwasserstoff, Jodkalium, Salzsäure, Chlornatrium, Salmiak relativ gut leiten. Von diesen Dämpfen ist es theils bekannt, theils von THOMSON direkt nachgewiesen worden, dass sie in hohen Temperaturen dissociirt sind. Wasserdampf und Ammoniak dagegen zeigen sich als sehr schlechte Leiter, obwohl sie auch dissociirt werden. THOMSON hilft sich durch die Annahme, dass der Zerfall in der ersten Gruppe in Atome (Ionen) stattfinden soll, in der zweiten Gruppe in Molekeln (welche nicht elektrisirbar sind). Mir scheint aber diese Annahme *ad hoc* gemacht und chemisch durch nichts gerechtfertigt.

6) Die Elektrisirung von Gasen durch glühende Körper und die unipolare Leitung erhitzter Gase.

ELSTER und GEITEL[4]) nehmen an, dass Gasmolekeln in Berührung mit glühenden Körpern dissociirt werden. Im Momente der Trennung berührt das eine Ion den Körper und giebt seine Elektricität an ihn ab. Das andere Ion verlässt mit der entgegengesetzten Elektricität den glühenden Körper und kann gegebenen Falls Elektricität an einen Leiter, den es trifft, abgeben. Es liegt in der Natur des glühenden Körpers sowie des Gases begründet, ob das positive oder negative Ion im Moment der Spaltung entladen wird, d. h. die Frage nach dem Vorzeichen der Elektrisirung der Gase durch glühende Körper kann nur das Experiment entscheiden. Enthält das Gas vorwiegend positive Ionen, so wird es einen negativ geladenen Leiter rasch entladen, besitzt also negativ unipolares Leitungsvermögen. Gelangen analog vorwiegend negative Ionen von dem glühenden Körper in die Nähe eines positiven Conduktors, so wird ebenfalls rasch Entladung eintreten, das Gas ist positiv unipolar.

[1]) WARBURG, WIED. Ann. 31, pag. 545. 1887.

[2]) WARBURG, WIED. Ann. 40, pag. 1. 1890.

[3]) J. J. THOMSON, Phil. (5) 29, pag. 358, 441. 1890.

[4]) ELSTER u. GEITEL, WIED. Ann. 37, pag. 325. 1889.

7) Nach GIESE[1]) wird ein neben einer elektrisirten Flamme aufgestellter Conduktor mit der Elektricität der Flamme geladen, auch wenn er von den Flammengasen nicht getroffen werden kann. Die Erklärung leitet GIESE aus der Dissociationshypothese ab; mit der Flammenelektricität beladene Ionen verlassen die Flammen in der Richtung der Kraftlinien. GIESE hat auch eine Reihe anderer Erscheinungen an Flammen im Sinne der Dissociationstheorie erläutert. Er hebt ferner ausdrücklich hervor, dass zwar ein Ion mit einem andern seine Ladung austauschen kann, dass aber der absoluten Grösse nach die Ladung der Ionen unveränderlich anzunehmen sei.

Ferner wird man den Grund dafür, dass Kaliumdampf in Flammen die Leitungsfähigkeit wesentlich steigert, in der Leichtigkeit vermuthen, mit der Kalium schon in der Flammentemperatur sich dissociirt.

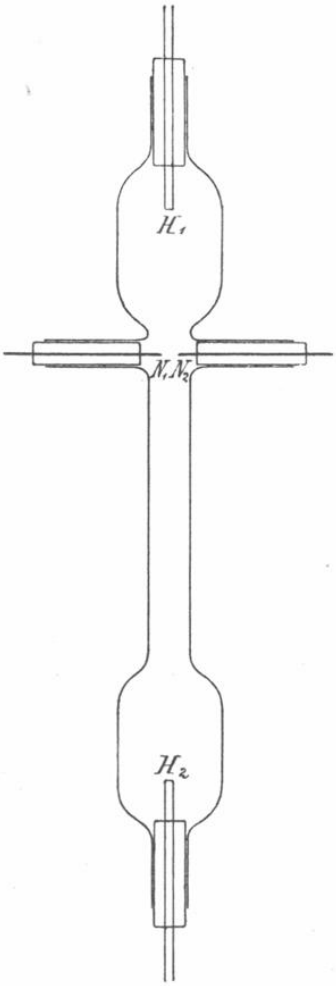
ELSTER und GEITEL[2]) fanden, dass Luft leitend wird nach Art der Flammengase, sobald sie durch Berührung mit feuchtem Phosphor ozonisirt wird. Die blosse Anwesenheit fertig gebildeten Ozons ist einflusslos. Nach der Dissociationshypothese ist die Ozonmolekel elektrisch neutral; während der Ozonbildung aber tritt Zerfall der Molekel ein und die entstehenden Ionen übernehmen die Leitung.

DESSAU[3]) hat nachgewiesen, dass in evacuirten Räumen unter dem Einfluss elektrischer Entladungen Verbindungen von Metallen entstehen können, welche ohne die Entladung nicht oder nur schwierig erzeugt werden können. Es gehören dahin Verbindungen des Goldes und des Platins. DESSAU erklärt den Vorgang durch die energischen Reactionsbedingungen des *status nascendi*, welcher während der Entladungen nach der Dissociationshypothese vorhanden ist.

8) Den Einfluss des Lichtes auf elektrische Vorgänge führt die Dissociationstheorie auf eine Zersetzung der Gastheilchen durch das ultraviolette Licht zurück. Die einzigen Versuche, welche den Nachweis einer solchen Dissociation beizubringen suchen, sind von ARRHENIUS[4]) angestellt. Wie in einem früheren Abschnitt ausgeführt worden ist, dürften diese Versuche für ein abschliessendes Urtheil nicht genügen. Zu Gunsten der Dissociationshypothese lässt sich die Thatsache anführen, dass die geladenen Substanzen, welche auf ultraviolettes Licht stark reagiren, dasselbe auch stark absorbiren, also lebhafte intramolekulare Schwingungen, welche zur Dissociation führen können, aufzuweisen haben.

9) Die Transversalentladungen. HITTORF[5]) (Fig. 92) schickte durch dasselbe Gasentladungsrohr gleichzeitig in zwei aufeinander senkrechten Richtungen zwei Ströme hindurch. Die Hauptelektroden H_1 und H_2 standen mit einer grossen Batterie von Chromsäureelementen in Verbindung; die Nebenelektroden $N_1 N_2$, zwei feine aus Capillaren 2—3 *mm* weit hervorragende Platindrähte von 2 *mm* gegenseitigem Abstand bildeten mit einer geringen Anzahl von Elementen, einem Spiegelgalvanometer und einem Commutator eine zweite Schliessung. Als im Hauptkreise 1000 Elemente und ein passender Widerstand eingeschaltet war, füllte das positive Licht den ganzen Querschnitt der 8 *mm* weiten Röhre. In der Nebenschliessung genügten dann bereits wenige Elemente, um einen merklichen Strom zu geben; Umkehr der Stromrichtung bedingte entgegengesetzten

[1]) GIESE, WIED. Ann. 38, pag. 403. 1889.
[2]) ELSTER u. GEITEL, WIED. Ann. 39, pag. 321. 1889.
[3]) DESSAU, WIED. Ann. 29, pag. 352. 1886.
[4]) ARRHENIUS, WIED. Ann. 33, pag. 638. 1888.
[5]) HITTORF, WIED. Ann. 7, pag. 614. 1879.

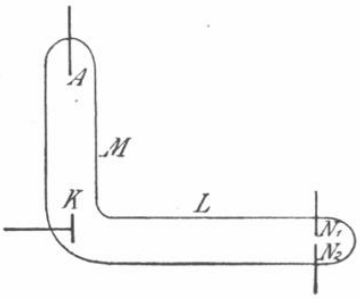


(P. 92.)

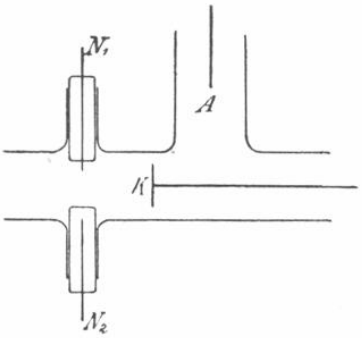
Ausschlag. Daraus scheint hervorzugehen, dass wir es in der Transversalschliessung nicht mit einer Abzweigung vom Hauptstrom zu thun haben. HITTORF schliesst daraus, dass die Molekeln eines Gases, während sie nach einer Richtung einen Strom fortpflanzen, ein wirkliches Leitungsvermögen besitzen, weil sie nunmehr nach jeder Richtung die geringste Potentialdifferenz entladen. Dieser Versuch ist jedoch nach G. WIEDEMANN, WARREN DE LA RUE und H. MÜLLER nicht einwurfsfrei. ARRHENIUS[1]) hat dem Versuche später eine Form gegeben, durch welche er zu beweisen hoffte, dass ein Gas durch Belichtung leitend wird. Die Form des Entladungsrohres ist schematisch hier wiedergegeben. A bezeichnet die Anode, K die Kathode des Hauptstroms, $N_1 N_2$ die Nebenelektroden. Bei hohen Verdünnungen durchsetzen die Kathodenstrahlen das ganze Rohr L. ARRHENIUS glaubte bei dieser Anordnung sicher zu sein, dass primärer und secundärer Stromkreis räumlich getrennt sind. Das Ergebniss war ganz ähnlich wie bei HITTORF.

E. WIEDEMANN und EBERT[2]) halten diese Versuche von ARRHENIUS nicht für einen Fortschritt gegenüber HITTORF. Nach ihnen biegt sich das positive Licht aus dem Schenkel M um das Knie; wie ein helles Band zieht es sich an der Glaswand entlang und verbindet sich vorn mit dem Glimmlicht. Die sekundären Elektroden sind also nicht vollkommen gegen die Wirkung des Hauptstromes geschützt.

Ihre eigenen Versuche sind mit dem untenstehend skizzirten Apparate ausgeführt. A bezeichnet die eine, K die andere Elektrode des Hauptstromes. Die Nebenelektrode N_1 ragt frei aus einem Glasrohr hervor, bis in die Nähe der Rohraxe, während das Ende von N_2 durch eine Röhre geschützt war.



(P. 93.)



(P. 94.)

[1]) ARRHENIUS, WIED. Ann. 32, pag. 545. 1887.

[2]) E. WIEDEMANN und EBERT, WIED. Ann. 35, pag. 220. 1888.

Bei einem Theil der Versuche wurde eine Influenzmaschine benutzt. War so weit evacuirt, dass das Glimmlicht der Hauptentladung die Nebenelektroden umschloss, so gingen die Entladungen in dem sekundären Kreise viel leichter über, als wenn keine primäre Entladung im Entladungsrohr vorhanden war. Aber die Wirkung war je nach den Umständen verschieden. War K negativ, ebenso N_1, so war die Wirkung sehr stark; Wirkung schwach, wenn K negativ, N_1 positiv, etwas stärker, wenn K und N_1 positiv, sehr schwach, wenn K positiv, N_1 negativ.

Wurde eine Akkumulatorenbatterie von 500 Elementen zur Erzeugung des primären Stroms benutzt, so wurde am Galvanometer im sekundären Kreise bei successivem Aufsteigen von niederen zu höheren Spannungen zuerst kein merklicher Ausschlag beobachtet, bis dann plötzlich der Lichtbogen eintrat. Aus allen Versuchen wird geschlossen: Innerhalb einer in eine primäre Entladung eintauchenden mit einer Elektricitätsquelle verbundenen Funkenstrecke findet keine Leitung im gewöhnlichen Sinne statt. Man kann nicht ohne Weiteres von einem elektrolytischen Processe im Gasraume sprechen.

Dagegen lässt sich jedoch zweierlei einwenden. Erstens haben wir bei den gewöhnlichen Elektrolyten Fälle, wo erst oberhalb einer bestimmten durch die Polarisation bedingten elektromotorischen Kraft ein dauernder Strom entsteht. Es hat daher nichts Aussergewöhnliches, wenn man auch hier eine derartige Polarisation für möglich hält, welche die Ueberschreitung einer gewissen Potentialdifferenz erheischt. Ich würde auch darin keine principielle Schwierigkeit finden, dass wir genöthigt sind, dieser Polarisation bei Gasen einen viel grösseren Werth beizulegen, als bei Elektrolyten. Zweitens aber ist durch die Versuche von Wiedemann und Ebert gar nicht strikt bewiesen, dass ein merklicher Strom erst bei hohen Spannungen entsteht und dann bald in die Bogenentladung überspringt, weil ihr Galvanometer nach ihren eigenen Angaben unempfindlich war.

C. Aethertheorien.

1) E. Wiedemann[1]) hat in mehreren Arbeiten seine theoretischen Anschauungen niedergelegt. Wie die vorhergehenden Abschnitte zeigen, dürften seine Ansichten nicht in jeder Hinsicht anerkannt werden. Ich muss mich darauf beschränken, die wichtigsten Punkte anzuführen.

Nach Wiedemann wird die Elektricität, wie sie z. B. eine Influenzmaschine liefert, auf der Oberfläche der Elektroden zum Theil als freie Elektricität angehäuft und dort durch die Wechselwirkung zwischen ihr und den Metalltheilchen am Austritt in die Umgebung gehindert. Erst wenn die Dichte hinlänglich gross geworden ist, wird ein Ausgleich beider Elektricitäten möglich. Ausserdem erzeugt aber die Elektricität im umgebenden Medium eine dielektrische Polarisation in der Weise, dass die Aetherhüllen der einzelnen Gasmolekeln deformirt werden und während der Rotation der Molekeln um ihre Axen stets eine bestimmte Orientirung beibehalten. Sobald die Entladung eintritt, pflanzt sich zunächst die dadurch hervorgerufene plötzliche Aenderung der dielektrischen Polarisation von den Elektroden aus durch die Aetherhüllen der Gasmolekeln fort und versetzt sie dadurch in Schwingungen. Daneben kann freilich auch ein Uebergang freier Elektriktricät von Molekel zu Molekel stattfinden. Wie die Lichtstrahlen bei phosphorescirenden und fluorescirenden Körpern in den Aetherhüllen der Molekeln oscillatorische Bewegungen bedingen, deren lebendige Kraft

[1]) E. Wiedemann, Wied. Ann. 10, pag. 246. 1888.

beträchtlich grösser ist, als der Körpertemperatur entspricht, so geschieht es auch hier. Die Gase leuchten, wie E. WIEDEMANN[1]) und HASSELBERG[2]) gezeigt haben, unter dem Einfluss elektrischer Entladungen schon bei Temperaturen unter 100°. Durch die Zusammenstösse überträgt sich allmählich die das Leuchten bedingende Aetherbewegung auf die Massen der Molekeln selbst und bedingt so sekundär eine Erhöhung der Gesammttemperatur. Die durch die elektrischen Entladungen eingeleiteten Schwingungen können so stark werden, dass die Molekeln in Atome zerfallen.

E. WIEDEMANN hält also eine Dissociation als sekundäre Folge der durch die Entladung eingeleiteten Aetherschwingungen für zulässig, während die Dissociationstheorie darin die Grundvoraussetzung der elektrischen Leitung erblickt. Die Fortpflanzung der von der Kathode ausgehenden Kathodenstrahlen gehorcht nahezu den Gesetzen des Lichtes. In 3) soll das Wesen der Kathodenstrahlen eingehender Betrachtung unterworfen werden.

2) Auch GOLDSTEIN[3]) hat eine Aethertheorie der Entladungen aufgestellt. Die Entladung soll im freien Aether vor sich gehen. Das Vacuum wird als guter Leiter angesehen, das im Rohr enthaltene Gas als Hinderniss. Obgleich nach GOLDSTEIN nur der freie Aether die Leitung übernimmt, lässt sich doch erklären, wieso verschiedene Gase unter dem Einfluss der Entladungen verschiedene Spectren liefern. Die Entladung selbst als Bewegung des freien Aethers ist lichtlos. Diese Bewegung wird aber den Gasmolekeln und den sie constituirenden Atomen mitgetheilt und durch diese auf den intramolekularen Aether. Die neu erregten Aetherschwingungen endlich geben das Licht, das wir beobachten und welches von der specifischen Natur der Gasmolekeln abhängt.

Diese Theorie ist durchaus hypothetisch. Die Versuche, welche GOLDSTEIN[4]) anführt, um zu beweisen, dass die Gastheilchen an der Leitung nicht participiren, beruhen auf der Wirkung des Magneten auf den Entladungsvorgang. Die Erfahrung hat bisher gegen eine direkte Wirkung von Magneten auf den Aether (man denke an die Drehung der Polarisationsebene im magnetischen Felde) gesprochen; mir scheint daher die Annahme viel naturgemässer, dass in magnetisirten Gastheilchen die Entladung anders verläuft als in unmagnetischen. Erklärt ist damit freilich die Sache nicht. Man vergleiche damit die Betrachtungen in 3).

3) Das Wesen der Kathodenstrahlen.

Wie wir sahen, gehen geradlinig und nahezu senkrecht zur Kathode die Kathodenstrahlen von der Kathode aus, unbekümmert um die Lage der Anode. Ihre Länge ist verschieden je nach der Dichte des Gases; sie beträgt hier einige Centimeter, dort steigt sie bis zur Grössenordnung eines Meters. In Luft sind die Kathodenstrahlen blau, bei sehr geringer Dichte äusserst lichtschwach. Sie machen sich dann hauptsächlich bemerkbar durch die Phosphorescenz des Glases. Ein genäherter Magnet biegt die Kathodenstrahlen ungefähr so, als hätte man es mit einem vom Strom durchflossenen elastischen Leiter zu thun, dessen eines Ende an der Kathode befestigt, dessen anderes Ende frei beweglich ist. Man war desshalb früher allgemein der Ansicht, dass die Kathodenstrahlen die Bahn des Stromes bezeichnen. HERTZ[5]) hat diese Ansicht als irrig nachgewiesen,

[1]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 6, pag. 298. 1879; WIED. Ann. 10, pag. 202. 1880.
[2]) HASSELBERG, Beibl. 4, pag. 232. 1880.
[3]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 12, pag. 256. 1881.
[4]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 12, pag. 261. 1881.
[5]) HERTZ, WIED. Ann. 19, pag. 798. 1883

indem er direkt auf sinnreiche Weise die Stromlinien bestimmt hat. Es zeigte sich, dass an einzelnen Stellen die Kathodenstrahlen fast senkrecht zu den Stromlinien verlaufen. Einzelne Theile des Gasraumes sind lebhaft vom Kathodenlicht erhellt, obwohl in ihnen die Intensität der Strömung verschwindend klein ist. Aus alledem folgt, dass Stromlinien und Kathodenstrahlen nichts mit einander zu thun haben.

Ein kräftiger Magnet vermag, unmittelbar an das Rohr herangebracht, die Entladung überhaupt auszulöschen. Diese Wirkung findet jedenfalls nur auf das Medium statt, nicht auf den Strom. Die Kathodenstrahlen pflanzen sich in einem magnetischen Medium anders fort, als in einem unmagnetischen.

Daraus leitet HERTZ die folgende wohlbegründete Vorstellung der Kathodenstrahlen ab. An sich sind sie lichtlos. Sie leuchten erst dadurch, dass sie absorbirt werden. Der folgende Versuch ist besonders instructiv. In ein 300 *mm* langes Rohr von 28 *mm* Weite war als Kathode eine kreisförmige Messingscheibe eingesetzt. Durch die durchbohrte Scheibenmitte war ein Glasrohr geführt, in dem sich die Anode befand. Ihr Ende ragte nur wenig über die Scheibe hervor. Die Evacuirung wurde so weit getrieben, dass am anderen Rohrende helle Fluorescenz durch die Kathodenstrahlen entstand. Die Stromlinien verlaufen bei der genannten Anordnung sicher in nächster Umgebung der direkt an einander grenzenden Elektroden. Am phosphorescirenden Ende befand sich ein Quecksilbertropfen. Wurde er erhitzt, so füllte sich das Rohrende mit rosaweissem Lichte, das die Quecksilberlinien im Spektrum zeigte. Die grüne Fluorescenz verblasste gleichzeitig und erlosch gänzlich, sobald die Dicke der Quecksilberdampfschicht über einen gewissen Betrag hinausging. Wurde durch einen Magneten den Kathodenstrahlen ein Weg gewiesen, so dass sie nicht durch den Dampf gingen, so hörte der Dampf auf zu leuchten und statt dessen phosphorescirte die getroffene Glaswand. Füllte sich durch weiteres Erhitzen und Destilliren ein immer grösserer Theil des Rohres mit Quecksilberdampf, so leuchtete von dem dampferfüllten Theile stets nur die der Kathode zugekehrte Strecke von 5—6 *cm* Länge, der dahinter liegende Rohrtheil blieb dunkel. Es erregen also die Kathodenstrahlen das Leuchten da, wo sie zuerst auf ein dichteres Medium treffen und von ihm absorbirt werden. Zu dieser Absorption genügt eine verschwindend dünne Schicht fester Körper, aber erst eine endliche Dicke für Gase. Je dichter das Gas, auf um so kürzere Strecke vermögen die Kathodenstrahlen dasselbe zu durchdringen. Dies ist wohl einer der Gründe, warum in dichteren Gasen das Kathodenlicht sich auf die nächste Nähe der Kathode beschränkt.

Auch eine Reihe anderer Erscheinungen spricht dafür, dass die Kathodenstrahlen von der eigentlichen Entladung unabhängig sind. Dahin gehört die Durchdringung der Schichten des positiven Lichtes durch die Kathodenstrahlen, die Reflexion der letzteren von der Anode, ihr ungehindertes Austreten aus engen Drahtgittern, welche die Anode bilden und die Kathode umschliessen. Es gehört dahin die Identität der Phosphorescenzspektren, welche derselbe Körper in den Kathodenstrahlen und im Sonnenlichte besitzt.

Die Annahme von CROOKES[1]), dass die Phosphorescenz durch das Aufprallen von der Kathode abgeschleuderten Theilchen entsteht, ist unhaltbar.

Endlich hat HERTZ[2]) bewiesen, dass die Kathodenstrahlen weder elektrosta-

[1]) CROOKES, Phil. Trans. 1879; part. I, pag. 135.

[2]) HERTZ, WIED. Ann. 19, pag. 809. 1883.

tische Kräfte in ihrer Umgebung veranlassen, noch durch äussere elektrostatische Kräfte beeinflusst werden.

E. WIEDEMANN[1]) hat diese fundamentalen Versuche von HERTZ als Basis zu einer Theorie der Kathodenstrahlen benutzt. Kathodenstrahlen sieht er an als Lichtstrahlen von sehr kurzer Schwingungsdauer. Die Schwingungen darin sind senkrecht gegen ihre Richtung. Mit diesen Hypothesen ist WIEDEMANN über das, was HERTZ bewiesen hatte, hinausgegangen, ohne weiteres Beweismaterial beibringen zu können.

4) E. WIEDEMANN und EBERT[2]) haben gefunden, dass bei Drucken, wo die Ausbildung der Kathodenstrahlen eine intensive ist, ein merklicher Einfluss der Belichtung auf den elektrischen Process nicht zu bemerken ist. WIEDEMANN[3]) erklärt dies in folgender Weise. Durch das ultraviolette Licht werden gewisse Schwingungen an der Kathode erzeugt. Sind diese bereits vorhanden (nämlich in den Kathodenstrahlen), dann fällt die Lichtwirkung nicht mehr ins Gewicht. In ähnlicher Weise wird die wesentliche Verbesserung des Leitungsvermögens einer Flamme durch Kaliumdampf auf die ultraviolette Strahlung des Dampfes zurückgeführt.

5) An der Kathode eines Entladungsrohres wird dem Uebergang der Elektricität ein ausserordentlich grosser Widerstand entgegengesetzt. E. WIEDEMANN und EBERT[4]) halten es für möglich, diesen Widerstand durch Veränderungen zu erklären, welche der freie Aether in der Umgebung der Kathode erleidet. Von ihnen angestellte Versuche konnten jedoch keine Veränderung der optischen Eigenschaften des Mediums auffinden.

D. Versuche zur Erklärung der Schichtenbildung.

1) RIESS[5]), DE LA RIVE[6]), BRÜCKMANN[7]), MOULTON und SPOTTISWOODE[8]) wollen die Schichtung des positiven Lichtes durch die Annahme von Schichten verschiedener Dichte und entsprechend verschiedener Leitungsfähigkeit erklären.

REITLINGER und ZERJAU[9]) setzen eine Theilung der Gasmasse in bewegte und ruhende Schichten voraus. An den Knotenpunkten sollen sich die schwerer beweglichen Stoffe sammeln. Die schlechter leitenden Schichten leuchten am intensivsten.

2) GOLDSTEIN[10]) glaubt, dass das Kathodenlicht, jedes Büschel von secundärem negativen Licht, sowie jede einzelne Schicht des positiven Lichts einen besonderen Strom repräsentirt, weil jeder dieser Theile unter dem Einfluss eines Magneten sich zu einer besonderen Curve krümmt. Wie wir gesehen haben, ist aber die Einwirkung des Magneten keine direkte, sondern wird nur auf das Medium ausgeübt. Ferner zeigt uns das Galvanometer, dass bei einer continuir-

---

[1]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 20, pag. 781. 1883.

[2]) E. WIEDEMANN und EBERT, WIED. Ann. 35, pag. 217. 1888.

[3]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 35, pag. 255. 1888.

[4]) E. WIEDEMANN u. EBERT, WIED. Ann. 36, pag. 643. 1889.

[5]) RIESS, POGG. Ann. 106, pag. 77. 1859.

[6]) DE LA RIVE, Compt. rend. 56, pag. 669. 1863.

[7]) BRÜCKMANN, Diss. Amsterdam. Beibl. 6, pag. 256. 1882.

[8]) MOULTON und SPOTTISWOODE, Proc. Roy. Soc. London 32, pag. 385. 1881; Beibl. 7, pag. 725. 1883.

[9]) REITLINGER u. ZERJAU, Sitz.-Ber. der Wiener Ak. 46, pag. 352. 1862.

[10]) GOLDSTEIN, WIED. Ann. 11, pag. 831. 1880.

lichen Glimmentladung doch wirklich Elektricität am einen Ende in das Rohr ein-, am andern Ende austritt. Siehe auch PULUJ[1]).

3) E. WIEDEMANN[2]) erklärt die Schichtenbildung dadurch, dass die von der Anode ausgehende dielektrische Polarisation in der Nähe der Kathode reflektirt wird; durch Interferenz sollen Stellen maximaler und minimaler Bewegung entstehen; erstere leuchten, die letzteren nicht.

Vorläufig existirt keine befriedigende Erklärung der Schichten des positiven Lichtes. FR. STENGER.

Thermoelektricität.

I. Allgemeine Uebersicht.

1) Bei Versuchen, die SEEBECK im Jahre 1821 anstellte über die Rolle, welche verschiedenen Metallen zufällt bezüglich der elektromotorischen Kraft in galvanischen Elementen, stiess er auf Erscheinungen, welche anzudeuten schienen, dass auch zwei Metalle, ohne Mitwirkung eines feuchten Leiters, einen Strom liefern könnten. Zwei Metalle, welche er in den gewöhnlichen galvanischen Ketten mit Kupfer verbunden in manchen Stücken abweichend und veränderlich gefunden hatte, wählte er zu den ersten Versuchen: Wismuth und Antimon. Eine Scheibe von Wismuth lag auf einer Scheibe von Kupfer; zwischen die beiden Enden wurde ein einfacher Multiplicator (ein in den Meridien gestellter spiralförmig gewundener Kupferstreifen von 13 *m* Länge) gebracht. Die Magnetnadel zeigte eine Abweichung. Eine Antimonscheibe an Stelle der Wismuthscheibe gebracht, zeigte entgegengesetzte Wirkung; andere Metalle keine oder nur geringe. Weitere Verfolgung der Erscheinung führte zu der Vermuthung, dass die Wärme der Hand wesentliche Bedingung gewesen sei. Dies bestätigte sich. SEEBECK zeigte nun in der Hauptsache das Folgende[3]):

Ein Strom (Thermostrom) entsteht, wenn zwei Metalle zu einem Kreis geschlossen sind, und die beiden Contactstellen eine Temperaturdifferenz besitzen. Abkühlung der einen Stelle wirkt wie Erwärmung der anderen. Bei kleiner Temperaturdifferenz ist der Strom derselben ungefähr proportional. Ein aus zwei Metallen hergestellter geschlossener Drahtbügel, frei beweglich aufgehängt, stellt sich, wenn er an einer Löthstelle erwärmt wird, wie eine Magnetnadel ein. Die verschiedenen Metalle verhalten sich in ihrer Wirkung verschieden und lassen sich hinsichtlich derselben in eine Reihe anordnen, die aber mit der Spannungsreihe für galvanische Erregung nicht gleich verläuft; am einen Ende derselben steht Wismuth, am anderen Antimon und Tellur. Geringe Verunreinigungen ändern aber die Stellung in der Reihe sehr oft erheblich. Eine Reihe Schwefelmetalle geben gleichfalls Thermoströme; Bleiglanz steht noch oberhalb des Wismuths; unterhalb des Antimons liegen Kupferglanz und Buntkupfererz. — Harter und weicher Stahl verhalten sich verschieden. — Bei grösserer Temperaturdifferenz kann sich die Stromrichtung umkehren[4]) (l. c. pag. 264). — Auch in

[1]) PULUJ, Sitz.-Ber. der Wiener Akad. Bd. 83, pag. 411. 1881.

[2]) E. WIEDEMANN, WIED. Ann. 20, pag. 788. 1883.

[3]) SEEBECK, GILB. Ann. 73, pag. 115, 430. 1823. POGG. Ann. 6, pag. 1, 133, 253. 1826.

[4]) Fälschlich meist CUMMING zugeschrieben.