

achtungsfehler betrugen hier kaum mehr als 0.1 %. Die Resultate werden noch etwas genauer ausfallen, wenn man die Stromstärke, die für diese Versuche den Werth von 0.16—0.5, gewöhnlich 0.25—0.3 E. Weber in einem Zweige der Brücke erreichte, noch etwas kleiner nimmt und damit auch die Hauptfehlerquellen der Erwärmung und Zersetzung der Flüssigkeit durch den Strom vermindert. Auch würde sich unschwer an der Biegungsstelle der U-Röhre ein Thermometer einsetzen lassen, um immer sicher die wirkliche Temperatur der Flüssigkeit zu kennen.

Grössere Fehler freilich stellen sich heraus bei solchen Flüssigkeiten, bei denen sich infolge der Zersetzung durch den Strom und secundärer Processe die Electroden mit einer schlechtleitenden Kruste überziehen, wie es z. B. bei einer Lösung von CaCl_2 geschieht, wo sich ein Ueberzug von Kalk bildet.

Phys. Lab. d. Univ. Würzburg im April 1877.

V. Ueber die sogenannte Unipolarität der Flammleitung und über wirklich unipolare electrische Erscheinungen; von Hermann Herwig.

§. 1.

In den Untersuchungen der jüngsten Zeit ist für verschiedene Fälle die fundamentale Thatsache constatirt worden, dass an den Unterbrechungsstellen einer eigentlichen Leitung die an Körpertheilchen gebundene Electricität unter gleichen Umständen leichter austritt, wenn sie negativ ist, als wenn sie positiv ist. Berührt werden Fälle dieser Art schon von Faraday.¹⁾ Genauere Versuche haben indessen zuerst die Herren G. Wiedemann und Rühlmann für den Fall gegeben, dass eine Holtz'sche

1) Man sehe unter anderm Pogg. Ann. XLVIII, p. 277 in Nr. 1501.

Maschine sich durch Röhren mit verdünnten Gasen entladet.¹⁾ Hr. G. Wiedemann hat dann, offenbar die Allgemeinheit dieser Beziehung ins Auge fassend, ganz kürzlich ihr Zutreffen auch auf ferneren Gebieten gezeigt. Inzwischen hatte auch ich weiteres experimentelles Material beigebracht und glaubte dann gleichfalls, die Allgemeingültigkeit des erwähnten Satzes hinstellen zu dürfen,²⁾ musste aber vorläufig die Flammenleitung ausnehmen, die eine andere Art der electricischen Bewegung zu bedeuten schien und bekanntlich umgekehrt die positive Electricität leichter von den Electroden in sich aufnimmt, als die negative.³⁾ Bei fernerm Nachdenken jedoch über diesen Gegenstand glaubte ich mich nicht bei einer solchen Ausnahmestellung der Flamme beruhigen zu können und führte eine Reihe von besonderen Versuchen über die Flammenleitung aus. Durch dieselben hoffe ich bewiesen zu haben, dass die positive Unipolarität der Flamme eine ausschliesslich secundäre Erscheinung ist und keine Ausnahme von dem erwähnten sonst gültigen Verhalten darbietet.

Für das Entscheidende bei der scheinbaren Unipolarität der Flammenleitung halte ich das Auftreten von freier Electricität in der Flamme selbst, welche gegen die von aussen zugeführte Electricität wirkend das Anschmiegen der Flammengase an die Electroden oder auch einfach die Uebergabe der äusseren electricischen Bewegung an die Flammengase entweder erleichtert oder erschwert und damit die Differenzen in die Ableitungen hineinbringt. Bei dieser Auffassung würden also namentlich die älteren Flammenversuche in Frage kommen, welche direct die Eigenelectricität der Flammen darzuthun suchten. So hat schon 1813 Brande⁴⁾ die kräftige Anziehung einer ge-

1) Pogg. Ann. CXLV. p. 381.

2) Die genaueren Citate aller hier berührten Arbeiten folgen im §. 7 des gegenwärtigen Aufsatzes.

3) Pogg. Ann. CLIX. p. 559.

4) Schweigger's Journ. XI. p. 66.

wöhnlichen Flamme durch einen negativ geladenen Conductor gezeigt. Namentlich aber gehören die Beobachtungen von Pouillet¹⁾ hierher, wonach im Innern einer Wasserstofflampe negative Electricität und aussen um dieselbe herum positive Electricität von grosser Spannung auftritt. Etwas ähnliches fand auch Hr. Buff.²⁾

Im Anschlusse hieran habe ich eine Anzahl von Versuchen mit der Holtz'schen Maschine gemacht. Bei fortgesetzter Ladung der verschiedensten Conductoren mit dieser Maschine zeigte sich eine äusserst kräftige, auf grosse Distanzen hin wirkende Anziehung der Flamme durch die negativen Conductoren in der Art, dass die Flamme zwischen positiven und negativen Conductor gestellt, sich lebhaft mit der Spitze dem negativen zuwandte. Die Flammen, mit denen ich operirte, waren leuchtende und nichtleuchtende (bei Anwendung von Bunsen'schen Brennern) Gasflammen.³⁾ Dabei war es nicht einmal erforderlich, die Lampen selbst besonders abzuleiten; ebenso verhinderte es die Erscheinung nicht, wenn statt des gewöhnlichen metallenen Bunsen'schen Brenners ein ebenso eingerichteter Brenner aus Glas benutzt wurde. Eingehendere Versuche, die mit dicken und langen, theils vertical, theils schräg gestellten Platindrähten als Conductoren gemacht wurden, schienen nun zu zeigen, dass diese Bewegung der Flammen wesentlich von der Einwirkung der geladenen Conductoren auf die ganzen äusseren und oberen Flammenpartien herrührte, während die eigentlich inneren Flammenpartien umgekehrt von positiven Conductoren angezogen werden. Das liess sich einmal aus den eigenthümlichen Gestaltungen der Flammen schliessen, wenn dieselben zu zwei ziemlich weit von einander entfernten Platindrähten, deren einer vom positiven und der

1) Pogg. Ann. XI. p. 427, in welcher Uebersetzung übrigens einmal positiv und negativ mit einander verwechselt ist.

2) Liebig Ann. LXXX. p. 9.

3) Man sehe auch die Versuche des Hrn. Bleekrode. Pogg. Ann. CLVI. p. 305.

andere vom negativen Pole der Maschine geladen wurde, in verschiedene Zwischenstellungen gebracht wurden.¹⁾ Dann aber war besonders charakteristisch die Gestaltung ganz kleiner Flammen, wenn ein verticaler positiver oder negativer Platindraht, central von oben dieselben treffend, gegenübergebracht wurde. Nach allem Genannten darf man eine Eigenelectricität der Flammen annehmen, die in den inneren heissen Partien negativen, in den mehr äusseren und oberen Partien positiven Charakter besitzt.

§. 2.

Hr. Hankel hat in seiner grossen Arbeit: „Ueber das Verhalten der Weingeistflamme in electricischer Beziehung“¹⁾ die gesammten Erscheinungen an den Flammen auf zwei Gesichtspunkte zurückzuführen gesucht, nämlich auf die Aenderung des electromotorischen Charakters der Metalle bei hoher Erhitzung und auf einen besonderen Uebergangswiderstand an der negativen Electrode in den Flammen. Eine Eigenelectricität der Flamme wird dabei ausdrücklich ausgeschlossen.²⁾ Indessen sind die Resultate der zahlreichen Spannungsmessungen an verschiedenen Metalldrähten und Blechen in der Flamme, welche Hr. Hankel in ausgezeichnete Weise durchgeführt hat, für diese Auffassung nicht beweisend. Für ein stets in derselben Flammenlage befindliches Platinblech gegenüber verschiedenen Metalldrähten im Alkohol der Lampe wurden zunächst Spannungen gefunden,³⁾ die sich von den Spannungen derselben Combinationen ohne Hinzutreten der Flamme um einen so nahezu constanten Summand unterschieden, wie es bei der Schwierigkeit dieser Messungen überhaupt nur erwartet werden konnte. Das spricht keinesfalls gegen das Vorhandensein einer bestimmten Eigenelectricität in der betreffenden Flammenlage. Wei-

1) Abh. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. VII. p. 1.

2) l. c. p. 28.

3) l. c. p. 21.

terhin wurden an Stelle des Platinbleches Drähte verschiedener Metalle wiederum in derselben Flammenlage benutzt und gaben mit einer Ausnahme, die Hr. Hankel selbst für nicht sehr wesentlich hält, sämmtlich fast gleiche Spannungsänderungen zu erkennen.¹⁾ Das dürfte sogar gegen die ausschliessliche Bedeutung der blossen Metallcontacte mit den Flammengasen sprechen. Für verschiedene Flammenlagen endlich ergab sich das Resultat, dass die Metalle zunächst hoch über der Flamme fast dieselben Spannungen zeigten, die auch mit Ausschaltung der Flammengase bei directer Berührung mit dem Lampendochte erreicht wurden, und dass sie dann weiter eine um so mehr nach der negativen Seite sich bewegende Spannung ableiteten, je mehr sie von hoher Lage über der Flamme aus in tiefere heissere Flammenpartien gebracht wurden.²⁾ Alle diese Resultate lassen sich also mit der Annahme einer Eigenelectricität der Flamme sehr gut vereinigen. Man setze nur überall statt oder neben: „durch Berührung mit den heissen Flammengasen wird der Charakter der Metalle electropositiver“, das andere: „die heissen Flammengase sind selbst negativ.“

Hr. Hankel hat deshalb als eigentlich entscheidenden Versuch für seine Auffassung auch einen anderen angeführt,³⁾ wobei zwei Wasserstrahlen, in solcher Weise durch verschiedene Flammenstellen geführt, dass daselbst glühende Metalldrähte kräftige Spannungsdifferenzen gezeigt haben würden, keine Differenz erkennen liessen. Hieraus schliesst Hr. Hankel, dass ausschliesslich die Temperaturerhöhung der Metalle in den früheren Versuchen das Wirksame gewesen sei. Nun wird man aber doch sehr wohl annehmen können, dass die durch stets erneuerte Wassermassen hergestellte Temperaturengleichheit an den fraglichen Flammenstellen nicht nur das

1) Abh. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. VII. p. 34.

2) l. c. p. 30.

3) l. c. p. 27.

electromotorische Verhalten des Wassers gegen die Flammengase, sondern ebenso auch den electricischen Eigencharakter der Flamme im wesentlichen gleich erscheinen lässt, da der letztere offenbar gleichfalls durch die Temperaturverhältnisse bedingt ist. Wollte man z. B. mit Pouillet voraussetzen, dass durch den Act der Verbrennung selbst nach der Sauerstoffseite positive und nach der Wasserstoffseite negative Electricität getrieben werde,¹⁾ so würden in der unmittelbaren Umgebung der Wasserstrahlen die Kohlenwasserstoffgase am Verbrennen mehr verhindert (etwa, wie auch ein in eine Flamme hineingebrachtes Drahtnetz das weitere Entzünden der Flammengase verhindert) erst von ferneren eigentlichen Verbrennungsstellen her negative Electricität erhalten und diese müsste offenbar bei der gleichen Einwirkung der beiden abkühlenden Wasserstrahlen auf die Verbrennung quantitativ sehr viel constanter sein, als wenn man an ganz verschiedenen Verbrennungsstellen direct das Verhalten von mitglühenden Drähten prüfte. Dass sich dennoch der später zu besprechende Uebergangswiderstand für die negative Electricität auch an solchen Wasserstrahlen zeigen kann, wie Hr. Hankel es fand,²⁾ ist damit einleuchtend.

Es scheint hiernach jedenfalls die Schwierigkeit, welche für die Annahme einer Eigenelectricität aus den Hankel'schen Versuchen etwa gefolgert werden könnte, klein im Vergleich zu der Schwierigkeit, welche die Erklärung der in §. 1 besprochenen Bewegungserscheinungen der Flammen bei der Annahme bieten würde, dass blos die durch die Flammentemperaturen geänderten Contactkräfte der Metalle in Betracht zu ziehen seien. Denn diese Bewegungserscheinungen gehen, wie gesagt, in kräftigster Weise vor sich bei Anwendung eines gläsernen Brenners und bei einer Entfernung der geladenen Metallconductoren von den glühenden Flammengasen; die viele

1) Pogg. Ann. XI. p. 428.

2) Abh. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. VII. p. 51.

Centimeter beträgt, so dass von irgend einer erheblichen Temperaturerhöhung des Metalles nicht die Rede ist. Ohne deshalb im entferntesten an der bedeutsamen Rolle, welche die verschiedenen Metallcontacte in der Flamme, wie bei jedem Gaselemente, spielen, zweifeln zu wollen, glaube ich doch behaupten zu müssen, dass diese Contacte allein nicht ausreichen, um alle electricischen Erscheinungen an der Flamme zu erklären, und dass man daneben noch eine Eigenelectricität der Flamme annehmen muss, die, wie oben angegeben, für die eigentlich heissen Partien der Flamme das negative Vorzeichen besitzt, für die weiteren Umgebungen der heissen Partien dagegen das positive. Es würde also neben den Contactkräften an den Berührungsstellen der Electroden und der Flamme noch weitere electromotorische Kräfte in der Flamme selbst geben, wodurch die eigentlich heissen Flammenstellen negative Ladung erhalten, während die positive Electricität in die Umgebung der heissen Stellen gedrängt wird. Ob diese electromotorischen Kräfte nun, wie Pouillet glaubte, von dem Verbrennungsacte selbst oder von irgend einem anderen in der Flamme spielenden Processe herrühren, das ist für die vorliegende Untersuchung gleichgültig.

§. 3.

Eine negative Eigenelectricität in den eigentlich heissen Flammentheilen würde, wie eingangs bemerkt wurde, die sogenannte positive Unipolarität der Flamme oder den Uebergangswiderstand, den die negative Electricität beim Eintritt in die Flamme findet, ohne weiteres erklären, da die heissen Flammentheile für die electricische Leitung natürlich die allein entscheidenden¹⁾ sind und diese also, selbst mit negativer Eigenelectricität geladen, von der positiven Electrode leichter die äussere electricische Be-

1) Man vergleiche den sehr lehrreichen Versuch des Hrn. Hittorf, Pogg. Ann. CXXXVI. p. 229. Nr. 62.

wegung in sich aufnehmen. Man hat dabei einfach zu denken, dass die geladenen Flammengase als leicht bewegliche Körper der durch die Potentialdifferenz an beiden Electroden dargestellten electricen Triebkraft unterliegen und deshalb von der negativen Electrode fort und zu der positiven hin gedrängt werden.

Von besonderer Bedeutung dürfte aber weiter diese Auffassung dadurch werden, dass sie auch die übrigen eigenthümlichen Eigenschaften der Flammenleitung, die sonst völlig isolirt unter all unseren Erfahrungen auf electricem Gebiete stehen, ungezwungen zu erklären im Stande ist. Dahin gehört vor allem die von Hrn. Hankel¹⁾ und von Hrn. Hittorf²⁾ constatirte Thatsache, dass der sogenannte Uebergangswiderstand an der negativen Electrode wächst mit der electromotorischen Kraft der angewandten Batterie. Ich suchte diesen Punkt zunächst über die engeren, bisher eingehaltenen Grenzen hinaus experimentell zu verfolgen und verglich zu dem Zwecke in zahlreichen Messungen den Flammenwiderstand im galvanischen Strome mit dem für Inductionsströme geltenden. Diese Messungen haben zu sehr lehrreichen Resultaten geführt. Zu ihrer Ausführung benutzte ich ein Spiegelgalvanometer, welches ich für die verschiedensten Anwendungen hatte construiren lassen und an dieser Stelle kurz zu beschreiben mir erlaube.

Die Fig. 1 Taf. IV gibt eine Ansicht des Instrumentes. Dasselbe besitzt im ganzen eine Höhe von 64 Ctm.; das Gehäuse des Multiplicators, welches beim Gebrauche durch Holzschieber ganz geschlossen wird, hat eine Höhe von 19 Ctm., eine Breite von 22 Ctm. und eine Tiefe (senkrecht gegen die Ebene der Windungen) von 18 Ctm. Jeder der kräftigen Magnete des astatischen (stets gemeinsam bewegten) Paares bildet einen Cylinder von 10 Ctm. Länge und 11 Mm. Basisdurchmesser. Die

1) Abh. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. VII. p. 72.

2) Pogg. Ann. CXXXVI. p. 233.

Anwendung so langer, kräftiger Magnete bietet manche Vortheile. Einmal ist für definitive Ablenkungen bei einem annähernd astatischen Paare nicht nur, wie auch bei einem einfachen Magnete, die Empfindlichkeit der Einstellung, sondern im allgemeinen auch die Grösse der Ablenkung wesentlich vom Momente der Magnete abhängig und dieses ist für gestreckte Magnete stets grösser als für gedrungene bei gleicher Masse. Dann aber sind derartige kräftige Magnete von etwaigen Störungen in der Suspension, sowie von Veränderungen der magnetischen Momente weit unabhängiger und halten deshalb in ausgezeichneter Weise ihre Ruhelage ein. Endlich ist, wenn es auf kräftige Dämpfung ankommt, dieselbe mit solchen Magneten besser zu erzielen (wobei daran gedacht wird, dass die dämpfenden Metallmassen natürlich in derselben Art, wie die Drahtwindungen, angebracht sind).

Der mit dem Magnete verbundene Spiegel ist, wie es die grösser gezeichnete Fig. 2 direct erkennen lässt, einfach mit der Hand unter ziemlicher Reibung um eine verticale und dann weiter mit einer feinen Schraube um eine horizontale Axe drehbar. Die Umgebung *b* des Spiegels wird beim Gebrauche des Apparates durch einen hohlen Messingcylinder, der nur an einer Seite eine Spiegelglasscheibe trägt, vollständig abgeschlossen. Für die Suspension dienen einige Coconfäden, welche über eine Schraube *c* führen, die mittelst einer Ueberwurfschraube festgelegt werden kann. Sind die herabhängenden Coconfäden einmal central gerichtet, so bleiben sie in dieser Richtung, wenn man auch durch Drehung der Schraube die Magnete senkt oder hebt. Die Träger der Schraube sind mit einem Torsionskreis *d* verbunden.

Was den Multiplicator betrifft, der der Empfindlichkeit wegen in gestreckter Gestalt gewählt wurde, so sollte der Apparat auch als Differentialgalvanometer für die verschiedensten Zwecke dienen, und ist deshalb der Multiplicatorrahmen durch ein nahezu 3 Mm. dickes Stück Hartgummi *ee* in zwei völlig isolirte Hälften zerlegt. Auf

jede Hälfte sind der Reihe nach aufgewickelt: 2500 Windungen weichen umsponnenen Kupferdrahtes von 0.2 Mm. Durchmesser; 28 Windungen besten mit Guttapercha überzogenen Kupferdrahtes von 1.65 Mm. Durchmesser; 269 Windungen doppelt mit Seide besponnenen Kupferdrahtes von 1 Mm. Durchmesser. Die Widerstände der Windungen betragen bei 20° C.: für die 2500 Windungen im Durchschnitt 346 Siemens-Einheiten, für die 269 Windungen etwa 2.9 S.-E. und für die 28 Windungen kaum 0.1 S.-E. Die 4 Enden der Guttaperchadrähte führen, mit Ausnahme des eingeklemmten äussersten Endes ganz von Guttapercha bedeckt, an die Klemmen *f*, die überall abgerundet gearbeitet und in je drei übereinanderliegenden Hartgummistücken sorgfältig isolirt befestigt sind. Die Enden der mit Seide besponnenen Drähte dagegen führen zu den 8 Klemmen *g* und *h*. Diese Klemmen sind mit den Klemmen *i* und *k* des seitlich aufgestellten Stöpselumschalters, Fig. 3, verbunden, und kann man mit Benutzung von höchstens 6 Messingstöpseln in den Löchern *l, m, n* der getrennten Messingschienen in leicht ersichtlicher Weise jede Combination der 4 Seidendrahtsysteme, sei es in einem Schliessungskreise oder in zwei differentiellen Kreisen, herstellen.

Für differentielle Messungen ist es noch wichtig, die beiden Hälften des Multiplicators in ganz symmetrische Lage zu den Magneten bringen zu können. Das lässt sich bei der Länge der Suspensionsfäden ganz einfach durch ein geringes Corrigiren an der feinen Schraube *o* erreichen, nachdem selbstverständlicherweise die Befestigung des Multiplicatorrahmens von vornherein möglichst symmetrisch gegen die Magnete angeordnet ist. Will man endlich von stärkeren Dämpfungen Gebrauch machen, als sie durch die aus Messing gearbeitete Unterlage der beiden Multiplicatorhälften zu erreichen ist, so kann man einen beigegebenen, mit isolirendem Ueberzuge versehenen Kupfering benutzen, der sich noch bequem in den Hohlraum des Multiplicatorrahmens einschieben lässt.

Die Empfindlichkeit dieses Galvanometers ist also durch Benutzung der verschiedenen Drahtsysteme ungefähr innerhalb der Grenzen 1 bis 200 für einfache Stromkreise und 1 bis 100 für differentielle Stromkreise zu variiren und ist bei Anwendung der gesammten 5594 Windungen eine sehr grosse. Dabei ist die Reduction der Werthe der einzelnen Drahtsysteme aufeinander in schärfster Weise durchzuführen, da bei Vergleichen in diesem Sinne höchstens Sprünge von 1 zu 5 vorkommen.

Verfertigt wurde das Galvanometer in vortrefflicher Weise von Hrn. Mechaniker Waibler in Darmstadt.

§. 4.

Mit Hülfe dieses Apparates habe ich eine grössere Zahl von Messungen über die in ihren Werthen bisher noch unbekannten Widerstände einer nichtleuchtenden Bunsen'schen Flamme, welche weder besonders isolirt, noch besonders abgeleitet war, angestellt und dieselben auf Drahtwiderstände (mit weniger empfindlichen Windungssystemen des Galvanometers gemessen) reducirt. Ich wollte dabei, wie bemerkt, zunächst die Flammenwiderstände vergleichen, einmal für Ströme, die galvanisch von vier Grove'schen Elementen geliefert wurden, und dann für die Inductionsströme eines grossen Stöhrer'schen Inductors, wenn in dessen primären Kreis dieselben vier Elemente eingeschaltet waren. Die Electroden bestanden aus zwei sehr kräftigen, rechteckigen Platinblechen von 58 Mm. Länge und 15.5 Mm. Breite, die an rückwärts anliegenden langen Platindrähten von reichlich 1 Mm. Durchmesser mittelst dünnerer Platindrähte befestigt waren. Die dicken Platindrähte waren am oberen Ende der Bleche umgebogen und reichten bis zu 200 Mm. ausserhalb der Flamme. Alles, was mit der Flamme irgendwie in Berührung kam war auf diese Weise Platin. Die Bleche wurden dann bei allen zuvörderst zu erwähnenden Versuchen der Länge nach vertical in der gleichen, ziemlich tiefen Flammenlage

möglichst symmetrisch gegen die Flamme so gestellt, dass sie sich ihre freien Flächen zukehrten.

Im galvanischen Strome zunächst zeigte sich der Flammenwiderstand anfangs ziemlich kräftig wachsend in dem Maasse, als die Platinbleche durch Aufnahme von Kohlenstoff in der bekannten Weise ihre Oberfläche veränderten und matt wurden. Bald aber waren viel constantere Zustände erreicht und habe ich wesentlich für diese die Vergleichen der galvanischen und der Inductionsströme vorgenommen. Wenige Beispiele mögen genügen, um daran die Besprechung anzuknüpfen. Die dabei angegebenen Distanzen der Bleche sind nur als rohe durchschnittliche Werthe anzusehen; man wird finden, dass es für den Zweck der vorliegenden Messungen gar nicht auf eine genauere Beachtung dieses Umstandes ankam.

Versuchsreihe 1.

Durchschnittliche Distanz der Bleche 13 Mm., die Stellung also schon näher den äusseren, weniger gut glühenden Flammentheilen.

Widerstand	Siemens-Einheiten.
im galvanischen Strome . . .	36 450 000
„ Schliessungsinductionsströme	123 190 000
„ galvanischen Strome . . .	38 440 000

Distanz 2 bis 3 Mm.

Widerstand	
im galvanischen Strome . . .	17 050 000
„ Schliessungsinductionsströme	38 490 000
„ galvanischen Strome . . .	16 910 000

Distanz 6 Mm., schönsten Glühen der Bleche.

Widerstand	
im galvanischen Strome . . .	15 930 000
„ Schliessungsinductionsströme	59 220 000
„ galvanischen Strome . . .	14 480 000
„ Oeffnungsinductionsströme, der mit lebhaftem Funken durchgeht	24 770

Versuchsreihe 2.

An einem anderen Tage gemacht. Distanz 9 Mm.

Widerstand	Siemens-Einheiten.
im galvanischen Strome . . .	20 500 000
„ Schliessungsinductionsstrome	148 610 000
„ galvanischen Strome . . .	20 690 000

Distanz etwa 3 Mm., nicht so schönes Glühen
der Bleche, wie eben.

Widerstand	
im galvanischen Strome . . .	29 690 000
„ Schliessungsinductionsstrome	102 750 000
„ galvanischen Strome . . .	28 950 000

Versuchsreihe 3.

An einem anderen Tage gemacht. Distanz 12 Mm.,
weniger gutes Glühen.

Widerstand im galvan. Strome 36 340 000

Distanz circa 2 Mm.

Widerstand im galvan. Strome 28 240 000

Distanz 8 Mm., schönsten Glühen.

Widerstand im galvan. Strome 25 200 000

Distanz 2—3 Mm., nicht so schönes Glühen.

Widerstand im galvan. Strome 29 690 000

Versuchsreihe 4.

An einem anderen Tage gemacht. Distanz 13 Mm.

Widerstand	
im Schliessungsinductionsstrome	133 200 000

Distanz 8 Mm.

„ Schliessungsinductionsstrome 95 100 000

Distanz circa 1 Mm.

„ Schliessungsinductionsstrome 33 280 000

„ galvanischen Strome . . . 26 140 000

Distanz 10 Mm.

„ galvanischen Strome . . . 24 130 000

Versuchsreihe 5.

An einem anderen Tage gemacht. Distanz etwa 2 Mm.	
Widerstand	Siemens-Einheiten.
im Schliessungsinductionsstrome	39 160 000
„ galvanischen Strome	27 440 000
Distanz 9 Mm., schönsten Glühen.	
„ galvanischen Strome	16 600 000
„ Schliessungsinductionsstrome	73 970 000
„ galvanischen Strome	16 090 000

In diesen Versuchen sind die absoluten Zahlenwerthe für die grössten Widerstände in einigen Inductionsströmen nur als ungefähr richtig anzusehen, da die zugehörigen Galvanometerablenkungen nur mehr eine geringere Anzahl von Scalentheilen betragen. Für den Vergleich können jedoch die Zahlen noch unbedingt benutzt werden. Die Ablenkungen im galvanischen Strome entsprechen stets einer beträchtlichen Zahl von Scalentheilen. Ich versäume nicht hinzuzufügen, dass der Inductionsapparat bei diesen Versuchen gegenüber dem Galvanometer so stand, wie es auch bei einer früheren Arbeit¹⁾ eingerichtet war, und dass sein Eisenkern nicht den allergeringsten Einfluss auf das Galvanometer übte. Sämmtliche Zahlen sind ferner durch wiederholte Messungen an abwechselnd gerichteten (bei den Inductionsströmen durch Vertauschen der Inductionsdrähte) Strömen gefunden worden, so dass die Einflüsse der Eigenströme der Flamme, die infolge einer unsymmetrischen Anordnung der Bleche auftreten könnten, eliminirt sind. Diese Einflüsse, vielfach direct aufgesucht, zeigten sich übrigens auch durchweg äusserst gering.

Man wird aus den wenigen vorstehenden Beispielen ersehen, dass die Flammenleitung im galvanischen und im Schliessungsinductionsstrome auf ganz verschiedene Weise erfolgt. Während für den galvanischen Strom die Distanz der Bleche ziemlich gleichgültig ist und es wesent-

1) Pogg. Ann. CLIX. p. 63.

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

lich auf den Zustand des Glühens ankommt, wird beim Inductionsstrom die Leitung durch verringerte Distanzen ganz bedeutend erleichtert. Hieraus ist zu schliessen, dass wenigstens zum Theil die Electricitätsausgleichung im Inductionsschliessungsstrom durch eine schwache Entladung erfolgt. Kräftige Entladungen mit schöner Funkenbildung gibt natürlich der Inductionsöffnungsstrom. Da letztere Entladungen hier nur des Vergleiches mit den Schliessungsströmen halber ein Interesse haben, so habe ich von allen gemachten Versuchen oben nur ein Beispiel angeführt. Alle anderen Versuche würden zu einem ähnlichen Ergebnisse führen. Danach geht im Oeffnungsstrom einige tausendmal mehr Electricität durch, als im Schliessungsstrom, welcher letzterer also eine eigenthümlich schwache Entladung darbietet.

Dem gegenüber möge zu einem nicht uninteressanten Vergleiche noch das Resultat einiger Versuche dienen, die ich für den Electricitätsdurchgang durch verdünnte Gase hinzufügte. Ein barometerähnliches Rohr von 5 Mm. lichte Durchmesser mit oben eingeschmolzenem Platindraht enthielt über Quecksilber Luft von 5 bis 10 Mm. Quecksilberdruck. Bei einer Distanz von ungefähr 1 Mm. zwischen der Spitze des eingeschmolzenen Platindrahtes und der Quecksilberfläche fanden dieselben oben benutzten Inductionsströme, die hier beide natürlich mit Lichterscheinung durchgingen, durchschnittlich die folgenden Widerstände: der Schliessungsstrom, welcher leicht nur für negativen Platindraht durchging, 340 000 Siemens-Einheiten; der Oeffnungsstrom 31 000 Siemens-Einheiten. (Der galvanische Strom geht durch eine solche Vorrichtung natürlich absolut nicht). Der Oeffnungsstrom überwiegt hier also den Schliessungsstrom nur etwa um das Zehnfache. Der Schliessungsstrom selbst ist mindestens hundertmal stärker hier im verdünnten Gase, als in der Flamme.

Für die Verhältnisse des galvanischen und des Schliessungsinductionsstromes in der Flamme kann endlich noch folgende 6. Versuchsreihe erwähnt werden. Die beiden

dicken Platindrähte sollten selbst als Electroden dienen und verliefen in heissester Flammenlage symmetrisch parallel in horizontaler Richtung mit einer Distanz von ungefähr 1 Mm. Dann wurde gefunden:

Widerstand	Siemens-Einheiten.
im galvanischen Strome . . .	156 500 000
„ Schliessungsinductionsstrome	184 900 000
„ Oeffnungsinductionsstrome	43 800

Wenn also nach all diesem der Schliessungsinductionsstrom in der Flamme wenigstens zum Theile durch eine Entladung erfolgt und dennoch die gesammte Bewegung dieses Stromes einen viel grösseren Widerstand findet, als schwache galvanische Ströme, so gilt letzteres also sicher in allerstärkstem Maasse für denjenigen Antheil des Schliessungsstromes, der etwa in ähnlicher Art wie ein galvanischer Strom, sich ausgleicht. Das Wachsen des Flammenwiderstandes mit gesteigerter electromotorischer Kraft ist also bis zu diesen Grenzen in ausgeprägtester Weise gültig.

Dieses vereinzelt dastehende Verhalten hat nun bisher in keiner Weise irgend eine Erklärung gefunden. In allen anderen Fällen, wo nicht einfach das Ohm'sche Gesetz Anwendung hat (also namentlich bei der galvanischen Polarisation und bei Entladungen), erfolgen die electricen Ausgleichungen relativ leichter mit gesteigerter electromotorischer Kraft; so ist es selbstverständlich auch bei den wesentlich in Entladungsart erfolgenden Oeffnungsinductionsströmen in der Flamme. Es wird zur Erklärung hier also ein ganz neuer Gesichtspunkt heranzuziehen sein und der scheint in einfacher Weise durch die Annahme einer negativen Eigenelectricität in den heissen, also eigentlich wirksamen Flammentheilen gegeben zu sein. Es ist unter dieser Voraussetzung an der negativen Electrode für die Flammengase eine Abstossungskraft thätig, die mit der Differenz der Potentialwerthe auf beiden Electroden steigt. Das ist also der mit der electromotorischen Kraft wach-

sende Uebergangswiderstand für die electriche Bewegung. An der positiven Electrode findet allerdings aus denselben Gründen eine um so bessere Ableitung statt, je grösser die Differenz der Potentialwerthe ist. Indessen kommt es hier, wie bei jeder mehr stationären electriche Strömung, für die gesammte übergehende Electricitätsmenge wesentlich auf die Stelle des grössten Widerstandes, d. i. also die negative Electrode an. Dass den Vorgängen an den Electroden gegenüber die electriche Bewegung innerhalb der Flamme selbst relativ leicht erfolgt, ist eine durch alle früheren und auch durch die hier vorliegenden Versuche constatirte Thatsache, deren Erklärung in ähnlicher Weise zu geben sein wird, wie ich es für die Leitungen der Metalledämpfe andeutete.¹⁾

§. 5.

In dem vorhin behandelten Falle war die Abstossung der negativ geladenen Flammengase von der negativen Electrode dadurch variirt worden, dass die Electroden bis zu verschiedenen Potentialdifferenzen geladen wurden. Man kann nun weiter auch die Variationen dieser Abstossung studiren, die umgekehrt durch verschiedenen Ladungszustand der Flammengase hervorgerufen werden. Es ist hier aber wohl zu beachten, dass man den Ladungszustand der inneren Flammengase nicht dadurch wesentlich wird verändern können, dass man etwa die Lampe mit dem einen Pole einer andererseits zur Erde abgeleiteten Batterie verbindet, wie es Hr. Hankel in einer besonderen Versuchsreihe²⁾ einrichtete. Eine so zugeführte Spannung wird sich (nach der in der Hauptsache auch hier anwendbaren Potentialtheorie für Leiter) sicherlich grösstentheils in den äusseren Flammentheilen verbreiten und kann deshalb allerdings an Drähten, die von aussen in die Flamme führen, gemessen werden; sie wird jedoch nicht auf die

1) Pogg. Ann. CLIII. p. 418.

2) Abh. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. VII. p. 44.

Verhältnisse der für die gegenwärtige Untersuchung allein entscheidenden inneren Flammentheile einen irgend erheblichen Einfluss haben können. Um mit verschiedenen Ladungszuständen der inneren Flammengase zu arbeiten, ist man vielmehr auf die in der Flamme selbst spielenden Vorgänge angewiesen und wird dem früher Gesagten zufolge verschiedene Flammenlagen benutzen. Für solche habe ich nun in einer Anzahl von Versuchen die Widerstände mit einander verglichen. Dabei wurden die Platinbleche mit ihrer Längsausdehnung theils vertical, theils horizontal verwandt. Ich gebe einige Beispiele für die durch diese Versuche gewonnenen Resultate.

Versuchsreihe 7.

Die Bleche vertical. Distanz ihrer zugewandten Flächen circa 6 Mm. Die glühende Flamme hat eine Höhe von etwa 20 Ctm. Unteres Ende der Bleche 6 Ctm. über der unteren Flammengrenze; schönsten Glühen,

Widerstand im galvanischen Strome von 4 Grove'schen
Elementen 16 310 000 S.-E.

Jetzt die Bleche durch Heraufrückung der Lampe 1 Ctm. über der unteren Flammengrenze; kaum so gutes Glühen,

Widerstand 12 210 000 S.-E.

Bleche wieder 6 Ctm. hoch, schönsten Glühen,

Widerstand 19 230 000 S.-E.

Bleche 1 Ctm. hoch, weniger gutes Glühen,

Widerstand 10 550 000 S.-E.

Versuchsreihe 8.

Die Bleche horizontal und deshalb mit geringerer Oberfläche in der Flamme. Distanz ihrer zugewandten Flächen 7 Mm. Unteres Ende der Bleche 10 Ctm. über der unteren Flammengrenze, sehr schönes Glühen,

Widerstand 61 270 000 S.-E.

Bleche 6.5 Ctm. hoch, Widerstand 59 000 000 „

„ 1 „ „ „ glüht entschieden schlechter,

Widerstand 46 500 000 S.-E.

Bleche 2	Ctm. hoch,	mässiges Glühen,	
		Widerstand	58 000 000 S.-E.
„ 1	„ „	schlechteres Glühen,	
		Widerstand	48 450 000 „
„ 3	„ „	schönes Glühen,	
		Widerstand	62 260 000 „
„ 6	„ „	sehr schönes Glühen,	
		Widerstand	65 800 000 „
„ 9 $\frac{1}{2}$	„ „	sehr schönes Glühen,	
		Widerstand	65 400 000 „
„ 1	„ „	schlechteres Glühen,	
		Widerstand	49 910 000 „

Oder, wenn nicht nach der Reihenfolge der Versuche, sondern nach den Distanzen vom unteren Flammenende ab geordnet wird, im Mittel:

Distanz 1	Ctm.	48 300 000 S.-E.	
„ 2	„	58 000 000	„
„ 3	„	62 260 000	„
„ 6	„	62 400 000	„
„ 10	„	63 330 000	„

Noch ausgeprägter ist die folgende

Versuchsreihe 9.

Höhe der sichtbaren Flamme 22 $\frac{1}{2}$ Ctm. Bleche horizontal.

Unteres Ende der Bleche über der
unteren Flammengrenze

8	Ctm.,	schönes Glühen,	Widerstand	62 600 000
2	„	schlechteres Glühen,	„	41 400 000
1	„	noch weniger Glühen,	„	37 200 000
11	„	Spitze des inneren Flammenkegels ziemlich an der unteren Blechgrenze, schönsten Glühen,	Widerstand	70 600 000
(15	„	noch ziemlich gutes Glühen,	Widerstand 93 400 000)

Bei sämtlichen Messungen dieser Art wurden nicht die höchsten unruhigen, sondern nur ruhige und constante

Flammenlagen benutzt, wie aus den angegebenen Dimensionen erhellt. Die wenigen vorstehenden Beispiele aus einer grösseren Zahl ebenso verlaufener Versuche mögen genügen, um zu zeigen, dass in den mittleren heissesten Flammentheilen, welche die stärkste negative Eigenelectricität besitzen, trotz des besseren Glühens der Bleche ein entschieden grösserer Widerstand herrscht, als in den tiefen Lagen, wo die Eigenelectricität der Flamme nicht so stark ausgebildet ist. Bedenkt man dabei, dass in ungefähr gleicher Flammenlage, wie sie in den überhaupt kräftig glühenden Flammentheilen derselben Höhe gegeben ist, nach den zuerst mitgetheilten Versuchen besseres Glühen der Bleche eine bessere Leitung bedingt, so spricht das jetzt gewonnene Resultat also mit grosser Entschiedenheit dasselbe aus, wie das des vorigen Paragraphen.

Das allerletzte eingeklammerte Beispiel der 9. Versuchsreihe, welches einen bereits über die heisseste Flammenlage nach oben hinausgehenden Fall betrifft, zeigt offenbar den die Leitung abschwächenden Einfluss eines minder lebhaften Glühens, während man dort wohl noch nicht, wie in tiefen Flammenlagen, den günstigen Einfluss einer erheblich geringeren Eigenelectricität thätig haben wird. Die letztere wird sich vielmehr, aus den nur wenig unterhalb liegenden heissesten Partien durch die Bewegung der Flammengase weitergeführt, noch ziemlich unvermindert auch in dieser Lage vorfinden. Deshalb ergibt sich hier also aus zwei Gründen ein so starker Widerstand.

§. 6

Ein letzter Punkt von Bedeutung ist der von Hrn. Ferd. Braun ausführlich untersuchte¹⁾, dass bei ungleicher und deshalb einen Strom erzeugender Anordnung der Electroden im allgemeinen ein noch hinzugefügter galvanischer Strom leichter durch die Flamme geht, wenn

1) Pogg. Ann. CLIV. p. 488.

er dem Eigenstrom der Flamme, der infolge ihrer Contacte mit den Electroden (theils als thermoelectrischer, theils als hydroelectrischer Strom) entsteht, entgegengerichtet ist. Auch bei meinen Versuchen ist dieses Verhalten einigemal unbeabsichtigter Weise zum Ausdruck gekommen und hat sich dann jedesmal bestätigt. Es zeigte sich alsdann übrigens noch weiter, dass das arithmetische Mittel des Flammenwiderstandes für den galvanischen Strom, letzteren einmal im Sinne und das andere mal entgegengerichtet gegen den Flammencontactstrom genommen, entschieden kleiner war, als wenn bei ganz symmetrischer Anordnung der Electroden der Strom unter sonst gleichen Umständen durchging, ohne einen bereits vorhandenen Strom der Flamme anzutreffen.

Solche Ungleichheiten in der Anordnung der beiden Electroden können übrigens, wenn man, um die Verhältnisse nicht zu sehr zu compliciren, in derselben Flammenhöhe operirt und natürlich beide Bleche glühend anwendet nicht sowohl durch verschiedene Stellung, als vielmehr durch verschiedene Beschaffenheit der Bleche entstehen, und deshalb habe ich diese Fälle nur einigemal zufällig beobachtet. Schliesslich habe ich aber von den zuvor ein wenig gereinigten Blechen ein paar Male bloss das eine vor dem Stromesdurchgang kräftig geglüht und dadurch beide vorübergehend etwas ungleichartig gemacht. Auch in diesem Falle trat mit dem Contactstrom der Flamme die durchschnittliche bessere Leitungsfähigkeit für einen galvanischen Strom ein, obschon doch früher constatirt war, dass die Verkohlung des Platins bei längerem Glühen die Flammenleitung verschlechtert, wenn sie an beiden Blechen in der gleichen Weise erfolgt ist. Zum Beweise möge ein einziges Beispiel genügen.

Versuchsreihe 10.

Beide Bleche in angenähert symmetrischer Anordnung, Distanz ihrer Flächen von einander 6 Mm. Ziemlich tiefe Flammenlage. Verhältniss der Stromstärken für

den äusseren galvanischen Strom im einen und anderen Sinne $\frac{397}{343}$. Durchschnittlicher Widerstand der Flamme 15 650 000 S.-E.

Jetzt das eine Blech allein kräftig und lange geglüht, alsdann wieder möglichst die vorige Anordnung. Verhältniss der Stromstärken $\frac{342}{576}$, durchschnittlicher Widerstand 12 620 000 S.-E.

Jetzt das andere Blech allein ebenso lange geglüht, so dass beide Bleche wieder nahezu gleichartig waren, dann wieder die vorige Anordnung. Verhältniss der Stromstärken $\frac{375}{345}$, durchschnittlicher Widerstand 16 100 000 S.-E.

Es ist leicht ersichtlich, wie diese Verhältnisse sich dem Früheren ähnlich erklären lassen. Setzt man voraus, etwa das mit bestimmten Flammengasen bedeckte Blech I sei positiv gegen das in der Flamme anderswerthige Blech II, so wird der positive Eigenstrom in der Flamme von Blech I zu Blech II, im aussen angebrachten Galvanometer dagegen von Blech II zu Blech I fliessen. Die Flammengase sind also, soweit es nur auf diese Contacte ankommt, in der Nähe des Bleches I positiver, als in der Nähe des Bleches II. Kommt nun weiterhin der Strom einer galvanischen Batterie hinzu, welcher dem Flammencontactströme entgegengerichtet sein möge, so wird hierdurch am Bleche II ein positives und am Bleche I ein negatives Potential hervorgerufen. Das wirkt also an beiden Blechen günstig auf die Ableitung ein. Ist der galvanische Strom dagegen dem Flammencontactströme gleichgerichtet, so macht er für sich das Blech I positiv und das Blech II negativ und erschwert sich dadurch an beiden Stellen die Ableitung. Man kann diese beiden Fälle auch gerade so auffassen, als wenn im Falle gleichgerichteter Ströme im ganzen eine grössere Potentialdifferenz thätig wäre, im Falle entgegengesetzt gerichteter dagegen eine kleinere, als für den Normalfall der Abwesenheit des Flam-

mencontactstromes. Im ersteren Falle muss daher nach §. 4 der Flammenwiderstand grösser sein. Das Resultat, dass das arithmetische Mittel der Widerstände für den ersten und zweiten Fall kleiner ist, als der Widerstand des Normalfalles, bedeutet dann einfach, dass die Zunahme des Flammenwiderstandes langsamer erfolgt, als die Zunahme der electromotorischen Kraft; und das ist ja beinahe selbstverständlich und übrigens hinreichend experimentell constatirt.

Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass man in dem complicirteren Falle, wo ausser den verschiedenwerthigen Contacten der Electroden mit der Flamme noch eine wesentlich verschiedene Eigenelectricität der Flamme (die unabhängig von den Electrodencontacten zu denken ist) in der Umgebung der beiden Electroden vorliegt, zu der hier besprochenen Wirkung noch die der Eigenelectricität der Flamme hinzuzufügen hat. Eine verschiedene negative Eigenelectricität in der Nähe der beiden Electroden würde nämlich, ganz für sich betrachtet, gleichfalls einen Strom geben. Da hierfür aber die electromotorische Kraft nicht an den Electroden, sondern dazwischen in den Flammengasen selbst ihren Sitz hat und dort also die Niveaudifferenzen des Potentials liegen, so ist von diesem Strome her an der Austrittselectrode aus der Flamme ein mehr positiver Charakter der Flammengase anzunehmen, also ein gerade entgegengesetztes Verhalten, wie bei dem vorhin besprochenen Contactstrom der Flamme. Diesen Fall, der sich also auch nothwendigerweise im Endresultate compliciren muss, habe ich deshalb in den oben angegebenen Versuchen möglichst vermieden.

Man könnte nun von demselben Gesichtspunkte aus noch manche der weiteren Specialitäten, die an der Flammenleitung beobachtet sind, relativ einfach erklären. Ich unterlasse das jedoch, weil diese Punkte bis jetzt eine weniger generelle Bedeutung haben. Nach allem Vorstehenden wird es also gerechtfertigt erscheinen, wenn ich den sogenannten negativen Uebergangswiderstand für die

Flamme nicht als eine wesentliche, sondern nur als eine secundäre electriche Erscheinung ansehe und glaube, dass dieser Fall keine Ausnahme von dem Satze bildet, wonach von geladenen Conductoren die Electricität, sei es an die Substanz der Conductoren oder an angrenzende Gasmoleculen gebunden, leichter austritt, wenn sie negativ ist, als wenn sie positiv ist.

§. 7.

Ehe ich nun die allgemeine Bedeutung dieses Satzes von der leichteren Beweglichkeit der negativen Electricität etwas näher bespreche, möchte ich zuvor noch zwei einzelne hierher gehörige Fälle erwähnen und daran etwa zu knüpfende Zweifel heben.

Zunächst hat bekanntlich Biot¹⁾ und später Hr. Warburg²⁾ übereinstimmende Zerstreungskoefficienten für positive und negative Electricität gefunden. Belli³⁾ gibt dagegen an, dass von einem kräftig geladenen Conductor die negative Electricität sich schneller zerstreut habe, und ebenso, dass eine negative Spitze mehr Electricität in die Luft ausströme. Die letzteren vielleicht nicht mit der nöthigen Vorsicht ausgeführten⁴⁾ Versuche hat Faraday⁵⁾ sorgfältiger wiederholt und hält sie noch nicht für genügend, weil er weniger auffallende Resultate gefunden habe. Aus alledem geht hervor, dass, soweit überhaupt bei der Zerstreung Unterschiede der Electricitäten beobachtet sind, dieselben zu Gunsten des leichteren Austrittes der negativen Electricität ausfielen. Keinenfalls findet das Umgekehrte statt, wenn auch vielleicht diese langsam vor sich gehenden electriche Ausgleichungen überhaupt wenig geeignet erscheinen, um die Unterschiede der beiden Electricitäten deutlich zu zeigen.

1) *Traité de phys.* II. p. 258.

2) *Pogg. Ann.* CXLV. p. 596.

3) *Pogg. Ann.* XL. p. 73.

4) Man sehe Peltier in den *Ann. d. chim. et phys.* LXII. p. 422.

5) *Exper. Unters.* Nr. 1521. *Pogg. Ann.* XLVIII. p. 285.

Einen anderen Fall hat Hr. Hittorf¹⁾ angegeben. Hiernach tritt die Entladung einer galvanischen Batterie von mehreren hundert Elementen von selbst ein und bildet darauf zwischen den etwas getrennten Electroden der sich Voltabogen aus, wenn man die Verhältnisse an der negativen Electrode (durch Umgebung derselben mit dem gutleitenden Kaliumdampf) besonders günstig macht. Hr. Hittorf schliesst daraus, dass auch für diese Entladung einer grossen galvanischen Batterie ähnlich, wie für die Flammenleitung, ein besonderer Widerstand an der negativen Electrode existire. Indessen ist hier doch wohl zu beachten, dass man es für die Einleitung des Voltabogens nicht entfernt mit einer constanten electricischen Bewegung zu thun hat, sondern mit einer ausgesprochenen Entladung. Für Entladungen aber kommt es stets darauf an, was an der Stelle geschieht, wo die Entladung am leichtesten ihren Anfang nimmt. Schafft man an dieser Stelle günstigere Verhältnisse im Sinne einer Entladung, macht man also z. B. diese Stellen in der Oberfläche schärfer gekrümmt (spitzer) und erhöht dadurch caeteris paribus den Werth des Differentialquotienten des Potentials nach der Oberflächennormale, oder erhitzt man diese Stelle oder auch umgibt man sie mit Gasen, welche die Entladung erleichtern, so erfolgt überhaupt die Entladung leichter, resp. reichlicher. Denn bei einer Entladung kommt alles auf den Beginn derselben an. Sind die Electricitäten einmal von der hierfür geeignetsten Stelle ausgetreten, so erhöhen sie durch Annäherung an die gegenüberstehenden Stellen die dortigen Werthe für die Differentialquotienten des Potentials nach der Oberflächennormale, deren Quadrate die nach aussen gerichteten Druckkräfte darstellen, sofort derartig, dass ein allseitiger electricischer Ausgleich die Folge ist.

Für irgendwie stationäre electricische Strömungen ist die Sachlage natürlich eine durchaus andere. Bei

1) Pogg. Ann. Jubelbd. p. 444.

diesen kommt es für die durchfliessenden Electricitätsmengen wesentlich darauf an, dass die bereits vorhandene electricische Bewegung nicht durch das Entgegentreten grosser Widerstände zu sehr in Wärmebewegung umgesetzt werde. Man wird für diese Strömungen also natürlich die grössten Intensitäten erhalten, wenn man an den Stellen des überhaupt grössten Widerstandes die Verhältnisse günstiger gestaltet, wenn man also z. B. an diesen Stellen grosse Querschnitte wählt oder, wie bei der Flammenleitung für den galvanischen Strom, besser ableitende Gase an die Electrode des grössten Widerstandes bringt.

Der erwähnte Versuch des Hrn. Hittorf gibt hier nach geradezu einen weiteren Beleg für den besprochenen Satz von der leichteren Beweglichkeit der negativen Electricität und zeigt, dass diese leichtere Beweglichkeit auch bei der Entladung einer grossen galvanischen Batterie gilt.

Ich erlaube mir nunmehr diejenigen Fälle zusammenzustellen, wo dieser Satz entweder mit Sicherheit nachgewiesen oder wenigstens wahrscheinlich gemacht ist. Es sind das die folgenden:

1) Für die Gasentladungen der Holtz'schen Maschine, die durch Röhren mit verdünnten Gasen hindurch erfolgen, haben die Herren Wiedemann und Rühlmann¹⁾ in bestimmter Weise gezeigt, dass die negative Entladung zu ihrer Einleitung eines kleineren Potentials (resp. einer kleineren Dichtigkeit) bedarf, als die positive.

2) Für die Entladung einer galvanischen Batterie von mehreren hundert Elementen sagt der vorhin besprochene Versuch des Hrn. Hittorf²⁾ dasselbe aus.

3) Für die Leitung des galvanischen Stromes durch erhitzten (auf 290—400°) Quecksilberdampf habe ich³⁾ nachgewiesen, dass der Hauptwiderstand bei dieser Leitung sich an der positiven Electrode vorfindet.

1) Pogg. Ann. CXLV. p. 381. (1872.)

2) Pogg. Ann. Jubelbd. p. 444. (1874.)

3) Pogg. Ann. CLI. p. 374. (1874.)

4) Der vorigen Nummer entsprechen völlig die längst bekannten Erfahrungen am Voltabogen, bei dem die positive Electrode eine stärkere Erhitzung erfährt.¹⁾

5) Für die einfachsten Fälle der mannichfaltigen interessanten Versuche, welche Hr. Hittorf²⁾ über Entladungen des Inductionsapparates durch Geissler'sche Röhren der verschiedensten Art ausgeführt hat, ist durch Hrn. Wiedemann³⁾ von dem in Nr. 1 formulirten Gesichtspunkte aus eine wahrscheinliche Erklärung gegeben worden.

6) Für den Inductionsfunken in freier Luft habe ich⁴⁾ nachgewiesen, dass in ihm die negative Electricität leichter von ihrer Electrode aus in Bewegung zu setzen ist, als die positive.

7) In einer ganz kürzlich veröffentlichten Arbeit⁵⁾ habe ich gezeigt, dass die Electricität von stark geladenen Quecksilberflächen auf anliegendes Glas leichter übertritt, wenn sie das negative Zeichen besitzt.

Durch die vorliegende Arbeit endlich ist bewiesen, dass die Flammenleitung keinen Ausnahmefall von dem Satze bildet, wenn auch die hier stattfindenden secundären Vorgänge den eigentlich wesentlichen Unterschied der beiden Electricitäten überdecken.

Es darf demnach von diesem Satze nunmehr wohl ohne Bedenken gesagt werden, dass er eine allgemeine Gültigkeit und damit eine fundamentale Bedeutung hat. In der That, wenn ein charakteristischer Unterschied der beiden Electricitäten sich ausnahmslos durch die mannichfaltigsten Gebiete von Erscheinungen hindurchzieht, so bedeutet das nicht weniger, als dass man die Hypothese zweier nur polar entgegengesetzter Electricitäten fallen lassen muss. Und für charakteristisch muss der hier in

1) Vgl. meine Bemerkungen Pogg. Ann. CLIX. p. 569. (1876.)

2) Pogg. Ann. CXXXVI. p. 1. 197.

3) Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss. (12. Febr. 1876.)

4) Pogg. Ann. CLIX. p. 568. (1876.)

5) Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. I. p. 73. (1877.)

Rede stehende Unterschied gehalten werden, so lange er nicht in all den oben zusammengestellten Fällen als durch secundäre Vorgänge bedingt nachgewiesen ist. Ein solcher Nachweis dürfte jedoch sehr wahrscheinlicher Weise nicht geführt werden können. Hr. Wiedemann, dem wir nach dem Angeführten zu einem grossen Theile die Constatirung dieses Unterschiedes verdanken, sucht die Möglichkeit einer Erklärung¹⁾ auch nur in einem wesentlich verschiedenen Verhalten der beiden Electricitäten, nämlich darin, dass die als Electroden benutzten Körper überhaupt die positive Electricität überwiegend anziehen.

Vor der Hand spricht also der Satz von dem leichteren Austritt der negativen Electricität aus den geladenen Körpern in bestimmter Weise, als es bisher irgend eine experimentelle Thatsache thut, gegen die seit längster Zeit ganz vorwiegend acceptirte Hypothese von zwei Electricitäten, die im übrigen gleichwerthig nur in einem polaren Gegensatze zu einander stehen.

Indirect würde dann wohl weiter dieser Satz zu Gunsten derjenigen Hypothesen sprechen, die namentlich in neuerer Zeit aufgestellt sind und nur eine Electricität annehmen, wofür in der Regel der Lichtäther gewählt wird. Andere weniger glückliche Speculationen dieser Art übergehend brauche ich hier nur die allgemeinste und in ausgezeichneter Weise durchgeführte Hypothese des Hrn. Maxwell²⁾ zu erwähnen. Um jedoch an keine einzelne Hypothese mich zu binden, will ich ganz generell andeuten, was der aufgestellte Satz für all diese Hypothesen heissen würde. Fasst man den positiven Ladungszustand eines Conductors als potentielle Energie derart auf, dass eine von dem Conductor nach aussen gerichtete Tendenz für irgend eine Bewegungsform des Aethers vorhanden ist und versteht folglich unter positiver Entladung die Fortpflanzung dieser Bewegungsform vom Conductor aus, so

1) Pogg. Ann. CXLV. p. 396.

2) Treatise on electr. and magnet. Oxford.

sagt unser Satz aus, dass die Uebertragung dieser Bewegungsform von den compacten Electroden aus an zerstreutere körperliche Aggregate (Gasmolecule oder Electrodenpartikelchen) schwerer erfolgt, als umgekehrt.

Ich darf bei dieser Gelegenheit hervorheben, dass die von Hrn. C. Neumann¹⁾ gegen die Vorstellung von nur einer electricischen Materie gerichtete Beweisführung die Voraussetzung macht, bei einem Strome sei gar nichts wirksames vorhanden ausser der in der Richtung des Stromes stattfindenden Strömungsgeschwindigkeit der gesamten electricischen Materie, eine mathematisch einfache Voraussetzung, die darum aber noch nicht nothwendigerweise eine physikalische Grundlage zu haben braucht,²⁾ und dass folglich die Deduction des Hrn. Neumann vielleicht wohl gegen bestimmte Hypothesen über nur eine electricische Materie, keineswegs aber generell gegen alle möglichen Hypothesen dieser Art beweisend sein kann. Hr. Neumann wird die Sachlage wohl selbst nicht anders ansehen. Die Hypothesen, welche eine einzige Electricität annehmen, bleiben im allgemeinen darum noch durchaus discutirbar.

Darmstadt, den 14. April 1877.

1) Pogg. Ann. CLV. p. 228 u. CLIX. p. 306.

2) Man vergleiche die Bemerkung des Hrn. Clausius in Crelle J. LXXXII. p. 86.
