DER PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND XXII.

*I. Ueber electrische Entladung in Gasen;
von O. Lehmann.*

(Hierzu Taf. III u. IV.)

In einem kleinen vor vier Jahren veröffentlichten Aufsatze¹⁾ habe ich die Resultate einer Reihe von Untersuchungen zusammengestellt, welche dahin abzielten, die grosse Menge electrischer Lichterscheinungen in Gasen nach charakteristischen Merkmalen zu ordnen, sowie deren Entstehungsbedingungen und Ursachen klarzustellen. Jene frühere Arbeit enthielt nun nur die Ergebnisse der Untersuchungen in erster Hinsicht, die übrigen sollten, wie ich zum Schlusse ankündigte einem später folgenden zweiten Theile vorbehalten bleiben.

Vorliegendes ist dieser zweite Theil. Den Hauptinhalt desselben habe ich bereits gelegentlich der letzten Naturforscherversammlung in Freiburg i. B. Ende September vorigen Jahres vorgetragen, inzwischen ist mir durch meine Uebersiedelung nach Aachen Gelegenheit geboten worden, durch Benutzung der Hülfsmittel des dortigen Laboratoriums die Untersuchungen wesentlich zu vervollständigen, sodass sich das Material der Arbeit beträchtlich vermehrt hat.

I. Die Versuchsmethode.

Das erstrebte Ziel, die Erkennung der Entstehungsbedingungen jeder einzelnen Entladungsart erforderte die Möglichkeit, die Versuchsumstände innerhalb der weitesten Grenzen zu variiren. Als variable Grössen kommen hierbei in Betracht:

- 1) die Intensität der Entladung,
- 2) die Dichte des Gases,

1) O. Lehmann, Wied. Ann. 11. p. 686 ff. 1880.
Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XXII.

- 3) die Entfernung der Electroden,
- 4) die Gestalt und Zahl der Electroden,
- 5) die Form des Gefäßes,
- 6) die chemische Natur des Gases und der Electroden,
- 7) die Temperatur,
- 8) die Nähe electrisirter Körper,
- 9) die Nähe magnetischer Körper und
- 10) innere Strömungen im Gase.

a. Widerstände. — Die Aenderung der Stromintensität erfordert entweder Aenderung der electromotorischen Kraft oder des Widerstandes.

Als Electricitätsquelle diente eine durch einen kleinen Gasmotor getriebene Influenzmaschine. Die electromotorische Kraft einer solchen lässt sich zwar durch Aenderung der Rotationsgeschwindigkeit oder durch Anbringen von Hilfsconductoren, welche eine Zweigleitung repräsentiren, ändern, allein nicht innerhalb der gewünschten weiten Grenzen, so dass nur noch die Aenderung des Widerstandes in Betracht kommen konnte.

Versuche mit Graphitwiderständen und sehr langen haarfeinen Platindrähten, sowie mit langen relativ gut leitenden Flüssigkeitssäulen führten zu negativen Resultaten, es wurde so nur Glimm- und Funkenentladung erhalten. Einzig brauchbar erwiesen sich schlechtleitende Flüssigkeiten, wie Alkohol, Aether, Terpentinöl u. s. w.

Zunächst war die Frage zu erledigen, in wie weit der specifische Widerstand solcher Flüssigkeiten als constant betrachtet werden kann.

Lässt man den vollen Strom einer mit Flaschen versehenen Influenzmaschine durch einen Tropfen Bleinitratlösung hindurch gehen und beobachtet die Enden der Electroden mit Hilfe eines etwa 100fach vergrößerndem Mikroskops¹⁾, so sieht man an der negativen Electrode schöne Krystallblättchen von Blei auftreten. Einschaltung einer kleinen Funkenstrecke bewirkt, dass diese Krystalle nur noch an den Ecken weiterwachsen. Weitere Vergrößerung der Funkenstrecke be-

1) Das benutzte Instrument war dasjenige, welches ich in Wied. Ann. 13. p. 506 ff. 1881 beschrieben habe.

wirkte Strömung der Flüssigkeit von den Electroden weg, sowie Auftreten von Dampfbläschen, und grösste Entladungsintensität endlich bewirkt zerreissende Entladung, d. h. Funken, welche von den Electroden ausgehen und entweder frei in der Flüssigkeit endigen, oder aber bei ganz besonders hoher Intensität die ganze Flüssigkeitsschicht durchdringen und von einer Electrode bis zur anderen reichen. Wird das relativ gut leitende Bleinitrat durch das schlechtleitende Terpentin ersetzt, so fällt das erste Stadium, die Electrolyse fort, und wir beobachten nur noch Strömung (Convection, mechanische Fortführung der Electricität) und Funkenentladung.

Ist somit eine Flüssigkeitssäule in einen Stromkreis eingefügt, so würde offenbar beim Uebergang der electrolytischen Leitung in die convective eine Aenderung des specifischen Widerstandes eintreten, falls wir bei convectiver Entladung überhaupt noch von Widerstand im gewöhnlichen Sinne reden dürfen, und ebenso beim Uebergang der convectiven Entladung in die disruptive. In letzterem Falle würde sogar die Flüssigkeitssäule gerade zu als Funkenstrecke wirken. Im Momente, wo die Zerreissung, der Funke, eintritt, wäre die Stromintensität sehr gross, dann wieder sehr gering.

Gerade diese letzten Fälle erwiesen sich nun zur Erzeugung der verschiedenen Arten von Entladung als die günstigsten. Derselbe Zweck muss sich dann aber ebenso gut durch wirkliche Funkenstrecken erreichen lassen, wenn nur dafür gesorgt wird, dass auch ausserhalb der Schlagweite noch ein Uebergang der Electricität möglich ist, d. h. wenn die Kugeln des zur Herstellung der Funkenstrecken benutzten Funkenmikrometers durch Spitzen ersetzt werden.

b. Funkenstrecken. — Eine Funkenstrecke in einen Stromkreis eingeschaltet wirkt ähnlich wie ein Sicherheitsventil. Sie gestattet eine Anstauung der Electricität bis zur Erreichung einer bestimmten Potentialdifferenz, dann aber tritt plötzlich Entladung eines grossen Theils der angehäuften Electricität ein, und die Stromintensität ist also in diesem Momente grösser, als sie gewesen wäre ohne Zwischenschaltung der Funkenstrecke. Die Potentialdifferenz, welche eine Funkenstrecke

zulässt, hängt ausser von ihrer Grösse wesentlich von der Form der Electrode ab. Kugeln gestatten eine grössere Anhäufung als Spitzen, und zwar eine um so höhere, je grösser deren Radius ist.

Um also die Entladungsintensität zu vergrössern, könnte man den Funkenmikrometer derart einrichten, dass sich auf die Spitzen Kugeln von verschiedenen Durchmesser aufstecken lassen. Der gleiche Zweck lässt sich indes wirksamer und bequemer in anderer Weise erreichen.

Dass eine Kugel eine grössere Potentialdifferenz zulässt als eine Spitze, beruht darauf, dass das Gefälle des Potentials an der Kugeloberfläche grösser ist als an der Spitze. Gelingt es also, durch ein geeignetes Mittel einen langsamen Abfall der Potentialcurve an der Spitze zu erhalten, so muss der gleiche Erfolg erzielt werden wie durch Anwendung einer Kugel. Es ist dies in der That möglich durch Unterschieben eines Stückchens Glasrohr, welches die Spitze um einige Millimeter überragt. Der hervorragendste Theil der inneren Wandung dieses Röhrchens ladet sich mit der Electricität der Spitze, und zwar mit um so höherer Dichte, je näher er sich der Spitze befindet.

Es ist leicht ersichtlich, dass so ein ganz langsamer Abfall des Potentials von der Spitze bis zum Ende des Röhrchens erzielt werden muss, sodass der beabsichtigte Zweck in der That erreicht wird. Je nachdem man das Röhrchen mehr oder weniger über die Spitze verschiebt, wird seine Wirkung stärker oder schwächer.

c. Vacuumflasche. — Das Ueberströmen der Electricität aus einer Spitze auf eine gegenüber oder in der Nähe befindliche Glaswand lässt sich dazu verwerthen, eine Art Leydener Flasche ohne Belegung zu construiren, die ich kurz „Vacuumflasche“ benennen will. Dieselbe besteht aus einem gewöhnlichen (etwa 1 l fassenden) luftdicht verschlossenen und gut evacuirten Kolben, durch dessen Stöpsel eine Electrode eingeführt ist. Fasst man die Flasche mit der Hand und nähert die Electrode dem Conductor einer Electrisirmaschine, so ladet sie sich ganz wie eine gewöhnliche Leydener Flasche, berührt man dann die Electrode

mit der Hand, so erfolgt ein Schlag verbunden mit heller Lichterscheinung im Inneren, weil nunmehr die gesammte aufgespeicherte Electricität sich wieder rückwärts entladet.

Ist das äussere Ende der Electrode spitz, so erfolgt, nachdem die Flasche geladen ist, von selbst langsame Entladung durch die Spitze, welche minutenlang anhält. Stellt man also eine derartige geladene Flasche in ein vollkommen dunkles Zimmer, so beobachtet man Secunden oder gar Minuten lang das Innere mit diffusem phosphorischem Lichte gefüllt. Bei Annäherung der Hand an die Spitze wird das Leuchten intensiver, hört aber desto früher auf. Gegen Ende wird es deutlich intermittirend.

Man kann die Flasche auch in umgekehrter Weise laden, nämlich auf die äussere Glaswand von dem Conductor Funken überspringen lassen, während man gleichzeitig die Electrode ableitend mit der Hand berührt. Ist die Electrode fein zugespitzt, sodass die dem Conductor gleichnamige Electricität ausströmen kann, so ist selbst diese ableitende Berührung nicht nöthig.

d. Entladungsapparat. — Da hiernach der Einfluss der auf Glaswänden in der Nähe der Electroden angehäuften Electricität von wesentlicher Bedeutung werden kann, andererseits aber Glasgefässe zur Einschliessung des zu untersuchenden Gases nicht zu vermeiden sind, so strebte ich danach, die Distanz der Gefässwände von den Electroden sehr gross zu machen im Verhältniss zu deren Distanz, d. h. also entweder äusserst kleine Distanzen der Electroden bei mässig grossen Gefässen oder sehr grosse Gefässe bei mässigen Distanzen der Electroden zu verwenden. Meine früheren Versuche sind hauptsächlich nach dem ersten Princip (mit Hülfe des Mikroskops) ausgeführt, die neueren nach dem letzteren. Als Gefäss dienten zwei mit ihrer Basis verkittete tubulirte Luftpumpenrecipienten von 16 cm Durchmesser und zusammen 48 cm Länge. In die Tubuli waren hohle Glasstöpsel eingesetzt, an welche Hähne und Electrodenträger eingeschmolzen waren. Die Electroden selbst bestanden meist aus Messingdraht von 2 mm Durchmesser und konnten leicht ausgewechselt werden, insofern sie nicht direct im Glase befestigt

waren, sondern in die genannten Electrodenträger eingeschraubt wurden. Die beiden äusseren Enden der Electrodenhalter wurden direct mit den Funkenmikrometern verbunden, deren also stets zwei gebraucht wurden, einer für die positive und einer für die negative Electrode.

Die Wirkungsweise des Apparates ist nun die folgende:

Befindet sich wie bei Fig. 1 und 2 die Funkenstrecke an der negativen Seite, so wird sich das Gefäss ebenso wie eine Vacuumflasche im Innern positiv electrisch laden, so lange bis an der Funkenstrecke die zur Entladung nöthige Potentialdifferenz erreicht ist, dann aber wird plötzliche Entladung eintreten, und sich eine intensive Lichterscheinung bemerkbar machen, welche an Glanz die erste, falls diese überhaupt wahrzunehmen war, weit übertrifft. Die Strömung bei der Ladung ist in Fig. 1 dargestellt. Dabei bedeuten die punktirten Pfeile die electrische Verschiebung. Fig. 2 zeigt die Entladung. Dieselbe stellt eine rings um die Kathode sich schliessende Strömung dar, welche die Strömung im Hauptkreise, falls die Funkenstrecke nur sehr klein ist, kaum merklich afficirt. Entfernt man die Spitzen des Funkenmikrometers über Schlagweite, so ist auch bei der Entladung die Stromintensität nur gering. Nähert man dieselben aber bei eingeschalteter Flasche bis auf Schlagweite, so kann die Stromintensität so hoch ansteigen, dass eine directe Funkenentladung zwischen beiden Electroden stattfindet. Würde die Funkenstrecke statt auf der negativen auf der positiven Seite eingeschaltet, so würde mutatis mutandis dasselbe gelten wie im erstbeschriebenen Falle. Bei Vermeidung einer Funkenstrecke ist die Stromintensität ebenso wie bei grossen Funkenstrecken sehr gering. Um die abwechselnde Ladung und Entladung des Gefässes anschaulicher zu machen, habe ich in Fig. 3 einen analogen Fall für die gewöhnliche Leydener Flasche dargestellt, ein Schema, welches etwa der Lane'schen Maassflasche entsprechen würde.

Würden die beiden Kugeln durch Spitzen ersetzt, so hätte man auch den Fall der begleitenden langsamen Entladung und würde endlich die Capacität der Flasche nur gering, die Menge zuströmender Electricität aber sehr gross

sein, so könnte ebenso wie beim Entladungsapparat auch directe Funkenentladung zwischen den beiden Kugeln eintreten, wie sehr leicht zu übersehen ist, wenn man sich die Belegungen der Flasche verschwindend klein denkt.

Nach diesen Darlegungen leistet eine Funkenstrecke also mehr als eigentlich beabsichtigt war. Sie gestattet nicht nur Vergrösserung oder Verkleinerung der Entladungsintensität im allgemeinen, sondern bewirkt gleichzeitig eine Verschiedenheit der Intensität an Kathode und Anode derart, dass derjenigen Electrode, welche direct mit der Maschine in Verbindung steht, also die Electricität langsam einströmen lässt, eine geringere Intensität zukommt als der anderen, die durch die Funkenstrecke isolirt ist und somit die angehäuften Electricität plötzlich entladet. Das scheinbare Paradoxon, dass die Intensität an beiden Polen verschieden sein kann, beruht natürlich einfach darauf, dass die beiden Theile der Entladung nicht gleichzeitig sind und unter Intensität die in der Zeiteinheit durchfliessende Electricitätsmenge für den betreffenden Moment zu verstehen ist, nicht der Mittelwerth berechnet als Quotient der während eines längeren Zeitraumes übergeführten Electricität durch die Anzahl dieser Zeiteinheiten.

II. Terminologie.

Hinsichtlich der Benennungen der verschiedenen Arten electrischer Lichterscheinungen in Gasen zeigen sich in der vorhandenen Literatur so grosse Schwankungen, dass es zweckmässig erscheint, hier zunächst die im Folgenden gebrauchten Ausdrücke scharf zu definiren. Jede electrische Lichterscheinung in Gasen besteht im allgemeinen aus vier deutlich unterscheidbaren Abschnitten. Diese sind:

- 1) Negatives Glimmlicht, bestehend aus einem sehr dünnen der Kathode anliegenden „Lichtsäum“ dem „dunkeln Kathodenraum“ und den „Glimmlichtstrahlen“.¹⁾
- 2) Positives Glimmlicht, der Anode dicht anliegend und keinen dunkeln Raum enthaltend.

¹⁾ cf. E. Wiedemann, Wied. Ann. 20. p. 757. 1883.

3) Negatives Büschellicht, durch den „Trennungsraum“ von dem negativen Glimmlicht geschieden.

4) Positives Büschellicht, durch die „positive Intermittenzstelle“ von dem positiven Glimmlicht getrennt.

Bemerkungen.

a. Die beiden Glimmlichterscheinungen können allein auftreten und dabei durch einen dunklen Raum getrennt sein oder auch unmittelbar ineinander übergehen.

b. Büschellicht setzt gleichzeitig auftretendes Glimmlicht voraus. Die beiden Büschel können getrennt sein oder sich zu einem Lichtstreifen vereinigen.

c. Sowohl im negativen wie im positiven Büschellicht kann auf den Trennungsraum, resp. die positive Intermittenzstelle abermals ein dunkler Raum folgen. Das Büschellicht „scheidet eine Schicht ab“. Es können selbst mehrere folgen, „der Lichtstreif zerfällt in Schichten“.

d. Es empfiehlt sich, statt der ausführlichen Bezeichnungen Abkürzungen anzuwenden. Ich werde folgende gebrauchen:

Negatives Glimmlicht: $-G$

Positives Glimmlicht: $+G$

Negatives Büschellicht: $-B$

Positives Büschellicht: $+B$

Die besprochenen Benennungen beziehen sich nun auf einzelne Theile der Lichterscheinung. Es lassen sich nun aber auch die Lichterscheinungen als Ganzes in verschiedene Arten unterscheiden, und zwar in folgende vier:

1) Glimmentladung. Nur Glimmlicht. $+$ und $-B$ fehlen ganz.

2) Büschelentladung. Das positive Büschellicht vorherrschend, (von $-B$ meist getrennt oder wenigstens deutlich die Verbindungsstelle erkennen lassend).

3) Streifenentladung. Das negative Büschellicht vorherrschend (gewöhnlich mit dem positiven zu einem Lichtstreif verbunden).

4) Funkenentladung. Sämmtliche Lichtarten zu einem Streifen verschmolzen, der dunkle Kathodenraum durchbrochen.

In der eingangs citirten früheren Abhandlung habe ich diese vier Entladungsarten in etwas anderer Weise definirt. Die Aenderung wurde bedingt durch die Vermehrung des Beobachtungsmaterials, insbesondere durch die eingehendere Untersuchung der Erscheinungen in grossen Gefässen bei geringen Gasdichten.

Bei intensiven Entladungen kann der Vorgang innerhalb der Electrode wenigstens nahe der Oberfläche derselben disruptiv werden, sodass sich die betreffende Stelle zum heftigen Glühen erhitzt und zerstäubt wird. Der entstehende glühende Metaldampf bildet: „Metaldampfbüschel“.

In manchen Fällen lässt sich neben der eigentlichen electrischen Lichterscheinung eine andere beobachten, die ich früher¹⁾ als Glühen des Gases aufgefasst habe. Neueren Versuchen von Hertz zufolge scheint dieselbe eine durch chemische Vorgänge bedingte Phosphoreszenzerscheinung zu sein. In Gasgemengen, welche einer Verbrennung fähig sind, z. B. Luft und Benzoldampf, lässt sich eine die Electrode umgebende Flamme beobachten.²⁾ Derartige Vorgänge sollen als „secundäre Lichterscheinungen“ im Folgenden ausser Betracht bleiben.

III. Einfluss der Intensität.

Bereits p. 696 der früheren Abhandlung habe ich eine Andeutung darüber gegeben, in welcher Weise das Auftreten der verschiedenen Entladungsarten durch die Stromintensität bedingt ist. Das Gesetz ist ein ausserordentlich einfaches:

Glimmentladung entspricht geringer negativer und geringer positiver Intensität.

Büschelentladung geringer negativer und grosser positiver Intensität.

Streifenentladung grosser negativer und geringer positiver Intensität.

Funkenentladung grosser negativer und grosser positiver Intensität.

1) Lehmann, Wied. Ann. 11. p. 700. 1880. Taf. VI. Fig. 45a. und b.

2) cf. Lehmann, Zeitschr. f. Kryst. 1. p. 5. 1877. Taf. XX. Fig. 31a.

Insofern im Falle grosser positiver Stromintensität das Gefäss, als Vacuumflasche dienend, negativ geladen erscheint, im umgekehrten Falle positiv könnte man auch sagen: „Büschelentladung entspricht einem Ueberschuss von negativer Electricität, Streifenentladung einem solchen von positiver“.

In dieser Fassung habe ich das Gesetz gelegentlich der Naturforscherversammlung in Freiburg i. B. ausgesprochen. Da man indess vielfach an dem Worte „Ueberschuss“ Anstoss genommen hat, so habe ich hier die oben gegebene Formulirung vorgezogen. Direct als Beobachtungsergebniss ausgesprochen, würde das Gesetz folgendermassen lauten:

„Glimmentladung erfolgt bei Anwendung von Funkenstrecken, welche die Schlagweite überschreiten, oder bei Abschluss von Funkenstrecken.

Büschelentladung beim Einschalten einer Funkenstrecke auf der positiven Seite.

Streifenentladung bei Einschalten einer Funkenstrecke auf der negativen Seite.

Funkenentladung beim Einschalten einer Leydener Flasche und solcher Funkenstrecke, dass eine merkliche Ladung der Flasche eintreten kann“.

Allerdings beziehen sich diese letzteren Angaben im Gegensatz zu der früheren Formulirung des Gesetzes auf einen speciellen Fall des Gasdruckes, nämlich auf mässige Verdünnung (wenige Millimeter Quecksilberdruck). Bei Anwendung anderer Gasdichten treten Störungen ein, die im Abschnitt IV näher besprochen werden sollen.

Um eine deutliche Anschauung von den hier zu besprechenden Lichterscheinungen zu geben, habe ich eine Anzahl derselben bei 18 cm Electrodenabstand direct nach der Natur photographirt und nach diesen Photographien lithographisch vervielfältigen lassen.

Fig. 4 zeigt Glimmentladung bei 1,8 mm Druck,

„ 5	„	Funkenentladung	„	„	„	„
„ 6	„	Streifenentladung	„	„	„	„
„ 7	„	Büschelentladung	„	„	„	„

Um diese Entladungsarten zu erhalten, wurde eingeschaltet:

bei Nr. 4 keine Funkenstrecke,

„ „ 5 Funkenmikrometer mit übergeschobenen Röhrchen und Flasche. Funkenstrecke beiderseits 4 mm,

Fig. 6 Funkenstrecke auf der negativen Seite 4 mm gross,

Fig. 7 „ „ „ positiven „ 4 „ „

Da zwischen Glimm- und Büschelentladung einerseits, ebenso wie zwischen Glimm- und Streifenentladung andererseits keine scharf bestimmbare Grenze existirt, wenigstens nicht hinsichtlich der Entstehungsbedingungen, so erscheint es von Interesse, auch die Uebergangsformen darzustellen. Zu diesem Zwecke sind die Figuren 8, 9, 10, 11, bei einem Druck von 1 mm aufgenommen.

Fig. 8 zeigt Streifenentladung bei $- \frac{1}{10}$ mm Funkenstrecke,

„ 9 „ Büschelentladung „ $+ \frac{1}{10}$ „ „

„ 10 „ Streifenentladung „ $- 2$ „ „

„ 11 „ Büschelentladung „ $+ 2$ „ „

Insofern der Unterschied zwischen Streifen- und Büschelentladung darauf beruht, dass im ersten Falle das Entladungsgefäß die Rolle einer positiven, im anderen einer negativen geladenen Vacuumflasche spielt, so muss sich eine Aenderung ergeben, falls wir die Bindung der Electricität durch ableitende Berührung des Gefäßes verstärken. Um solche Aenderungen nachzuweisen, dienen die Aufnahmen Fig. 12—15, einem Druck von 6 mm entsprechend.

Fig. 12 zeigt Streifenentladung bei $-1\frac{1}{2}$ mm Funkenstrecke

„ 13 „ Büschelentladung „ $+1\frac{1}{2}$ „ „

„ 14 „ Streifenentladung mit Ableitung

„ 15 „ Büschelentladung „ „

Die Ableitung wurde bewirkt durch ein aufgelegtes Stanniolblättchen, welches durch einen in den Figuren sichtbaren Draht mit der Erde in Verbindung stand.

Ein bestimmter spezifischer Farbenunterschied des positiven oder negativen Lichtes ist nicht vorhanden. Zuweilen erscheinen beide fast gleich gefärbt, bald neigt das positive, bald das negative mehr zu rother oder blauer Nuance, sodass bei gleicher Dicke der leuchtenden Schicht der Unter-

schied offenbar hauptsächlich in der verschiedenen Intensität der Strömung zu suchen ist.

Die Art und Weise der Abhängigkeit lässt sich leicht erkennen, wenn wir durch Abänderung der Funkenstrecke allmähliche Uebergänge hervorrufen. Als Regel gilt:

„Zieht sich die Entladung auf einen engeren Querschnitt zusammen, so wird die Farbe mehr röthlich, verbreitet sie sich dagegen auf grössere Flächen, so ändert sich die Farbe in bläulich.“

Abgesehen von verstärkter Absorption der Strahlen bei grösserer Dicke der leuchtenden Schicht¹⁾ könnte man auch sagen: „Bei grosser Stromdichtigkeit ist die Farbe roth, bei geringer blau“ und auch umgekehrt:

„Ist die Farbe roth, so ist daselbst die Stromdichtigkeit gross, ist die Farbe blau, so ist die Stromdichte gering.“

Da gewöhnlich (bei gleichem Querschnitt) das negative Licht blau, das positive roth erscheint, so ist zu schliessen, dass in solchem Falle die Stromintensität an der Kathode geringer ist als an der Anode, d. h. dass sich die Einzelentladungen an der Kathode rascher folgen, als an der Anode. Dasselbe gilt von $-G$ und $-B$. Somit können $-G$ und $-B$ nicht gleichzeitige Erscheinungen sein, wodurch nicht ausgeschlossen sein mag, dass in bestimmter Periode doch eine $-G$ -Entladung mit einer $-B$ -Entladung zusammenfällt.

Selbst die beiden Theile von $-G$, nämlich der „rothe Saum“ und die „blauen Glimmlichtstrahlen“ sind hiernach in Bezug auf die Intensität und folglich auch der Zeit, resp. Dauer nach verschieden.

IV. Einfluss der Gasdichte.

Wurde unter im übrigen gleichen Bedingungen wie bei den eben besprochenen Versuchen der Druck der Luft verkleinert oder vergrössert, so ergaben sich Aenderungen der Entladung, wie sie die Figuren 16—43 zeigen. Eine ins einzelne gehende Beschreibung dieser verschiedenen Formen der Lichterscheinung erscheint hier unnöthig, da es sich

1) cf. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. 2. p. 299. 1883.

dabei nicht um schwierige Untersuchungen handelt, sondern um einfache Experimente, die leicht mittelst der gewöhnlichen Vorlesungsapparate wiederholt werden können. Ausserdem ist das Gesetz, welches diese Aenderungen beherrscht, so einfach, dass es sich schon ohne weiteres aus den gegebenen Figuren erkennen lässt.

Die Figuren 16—20 zeigen die Aenderungen der Streifenentladung, die Figuren 21—25 diejenigen der Büschelentladung, und zwar nach wachsenden Drucken geordnet. Ein Vergleich der Figuren einer Reihe lehrt:

„Mit abnehmender Dichte dehnen sich die Lichterscheinungen mehr und mehr aus, mit zunehmender schrumpfen sie zusammen und zeigen ein Bestreben zur Verzweigung.“

Bei sehr grosser Verdünnung wird die Büschelentladung der Streifenentladung sehr ähnlich.

Uebergangsformen zwischen Büschel- und Streifenentladung lassen sich nun aber unter normalen Verhältnissen d. h. bei mässigen Graden der Verdünnung dadurch erhalten, dass nicht allein an der positiven, sondern auch an der negativen Seite eine kleine Funkenstrecke eingeschoben wird. Somit ist zu schliessen:

„Bei grosser Verdünnung tritt an der Kathode ein Hinderniss auf, welches ähnlich wie eine Funkenstrecke daselbst wirkt, sodass Streifenentladung vorherrschend wird.“

Bei zunehmendem Druck wird, wie schon Fig. 20 zeigt, — *B* durch ein unsichtbares Hinderniss von seinem normalen Wege abgelenkt und bei noch höheren Drucken schliesslich eine Vereinigung von — und + *B* überhaupt unmöglich, sodass sich weiter folgern lässt:

„Bei geringer Verdünnung tritt in der Nähe der Kathode ein Hinderniss auf, welches die Bildung des Lichtstreifens beeinträchtigt, sodass Büschelentladung vorherrschend wird.“

Um zu zeigen, dass diese Sätze durchaus nicht von der zufälligen Beschaffenheit der Electroden oder deren Distanz abhängen, habe ich noch die Figuren 26—30 (Streifenent-

ladung) und 31—35 (Büschelentladung) beigelegt, welche kugelförmigen Electroden entsprechen, deren Abstand kaum die Hälfte desjenigen der früher benutzten drahtförmigen ist.

Sehr schön lässt sich in diesem letzteren Falle die Einwirkung der Kathodenhindernisse auf die Glimmentladung erkennen. Die Figuren 36—43 stellen diese Veränderungen dar in der Reihenfolge, wie sie wachsender Verdünnung entsprechen. Ausgehend vom „Normalzustande“ (mässiger Verdünnung) lässt sich erkennen, wie bei abnehmendem Druck auch an der Anode ein Hinderniss auftritt, welches $+G$ nöthigt, wenigstens theilweise von der Rückseite der Electrode auszugehen und sich um dieselbe herumzuwinden. Schliesslich können beide G überhaupt nicht mehr von den Kugeln ihren Ausgang nehmen, sondern nur von Punkten in einiger Entfernung davon, während der ganze zwischen liegende Raum dunkel bleibt. Wachsender Druck bewirkt das Auftreten von B -Licht, welches zunächst eine sehr unsichere und wechselnde Stellung in der Mitte einnimmt, dann sich als röthlicher Lichtpinsel vor $-G$ festsetzt und damit zuletzt den sogenannten negativen Büschel bildet. Auf der Anode bilden sich allmählich mehrere Fleckchen G -Licht, die endlich zu der bekannten „Glimmlichthaube“ verschmelzen. Aehnlich häufen sich auch die negativen Büschel und können unter Umständen ebenfalls zu einem zusammenhängenden Lichtnebel zusammentreten, dem „negativen Glimmen.“ Sobald B -Licht auftritt, kann die Entladung, den gegebenen Definitionen zufolge (im Gegensatze zu meinen früheren Definitionen), nicht mehr Glimmentladung genannt werden. Correct genommen, würde z. B. Fig. 37 als Büschelentladung zu bezeichnen sein und Fig. 40 als Streifen, da auch hier offenbar der lange Lichtschweif, wenn auch nicht deutlich von $+G$ getrennt, als $+B$ anzusehen ist. Freilich ist diese Art von Büschel- und Streifenentladung anscheinend wesentlich verschieden von der früher beschriebenen, dagegen sehr ähnlich den mittelst des mikroskopischen Entladungsapparates¹⁾ erhaltenen Formen. In Wirklichkeit ist

1) Vgl. die frühere Abhandlung.

der Unterschied nur ein geringfügiger, wie später noch besprochen werden soll. Mit Rücksicht hierauf lässt sich also behaupten:

„Bei Verdünnung zeigt die Glimmentladung ein Streben, in Streifenentladung überzugehen, bei Verdichtung in Büschelentladung.“

Aus der oben gegebenen Darstellung der an den Electroden auftretenden Hindernisse liess sich dies schon erwarten. Was schliesslich den Funken anbelangt, so durchbricht derselbe den Kathodenraum. Für ihn sind also die Hindernisse nur insofern von Belang, als sie das zur Bildung desselben nöthige Potentialgefälle erhöhen können, in Bezug auf die Form tritt nur eine geringe Aenderung ein, indem die mittlere Strecke desselben mit zunehmender Verdünnung sich immer mehr verbreitert. Die Ausgangspunkte an den Electroden bleiben stets Punkte, die in der Regel glänzende Metaldampfbüschel aussenden. Bei hohen Verdünnungen lagert sich um diese Metaldampfbüschel auf der Kathode ein mehr oder minder ausgedehntes Stück des „rothen Saumes“, welches zuweilen die ganze Rückfläche der Electrode überzieht, an den einspringenden Stellen dicker werdend, manchmal gar die ganze Kugel einhüllend, sodass diese auf ihrer Vorderseite überhaupt nur diesen dünnen Lichtsaum zeigt.

V. Einfluss der Electrodenndistanz.

Vergrösserung der Electrodenndistanz bewirkt nur entsprechende Verlängerung des *B*-Lichtes, falls die Stromintensität der vergrösserten Luftstrecke entsprechend verändert wird. Interessanter sind die Erscheinungen bei Verminderung der Distanz auf Bruchtheile eines Millimeters.

Die Figuren 44—47 zeigen die Entladung in solchem Fall bei einem Druck von 10 mm. Deutlicher sind die Figuren 49—52, einem Druck von $\frac{1}{2}$ mm entsprechend. Man sieht daraus:

„+ *B*-Licht kann nicht in den Trennungsraum eintreten, + *G* nicht in den dunkeln Kathodenraum. + *G* verschmilzt bei grosser Annäherung

mit $-G$ zu einer einzigen Lichtmasse, und ebenso $+B$ mit $-B$.“

Wurden statt der spitzen Electroden Platten gewählt (Zehnpfennigstücke), so traten im wesentlichen dieselben Erscheinungen ein, wie dies die Figuren 53—56 zeigen.

VI. Einfluss der Form der Electroden.

Inwieweit Abrundung oder Zuschärfung der Electroden von Einfluss sein können, ist zu ersehen aus den Figuren 57—59 (Büschelentladung) und 60—62 (Streifenentladung), einem Druck von 20 mm entsprechend, und den Figuren 63—65 (Büschelentladung) und 66—68 (Streifenentladung), bei einem Druck von 4 mm aufgenommen. Bei genauer Betrachtung erkennt man daraus leicht den Satz:

„Streifenentladung wird erschwert durch stumpfe Kathode,“

„Büschelentladung wird erschwert durch stumpfe Anode.“

Da nun Streifenentladung grosse negative, Büschelentladung grosse positive Stromintensität erfordert, so lässt sich dies auch so aussprechen:

„Abstumpfung einer Electrode wirkt wie Verminderung der Stromintensität an derselben.“

Besonders erwähnenswerth erscheinen ferner erstens: geringe Distanz bei geringerer Dichte des Gases; zweitens grosse Distanz bei grosser Dichte des Gases (ohne Gefäss).

Den ersteren Fall erläutern die Figuren 69—74. Man sieht:

„Ist die Platte positiv, die Spitze negativ, so vermag sich $+G$ an derselben zu halten, ist dagegen die Platte negativ, die Spitze positiv, so werden $+G$ und $+B$ zurückgedrängt.“

Die positive Spitze erscheint dunkel, soweit sie sich im dunkeln Kathodenraume befindet, sie ist mit $+G$ bedeckt zwischen diesem und dem Trennungsraum, und mit $+B$ ausserhalb des letzteren bis auf gewisse Entfernung.

Im anderen Falle lassen sich folgende Sätze schon a priori erkennen:

1) „Zuschärfung der negativen Electrode erschwert die Funkenentladung mehr als Zuschärfung der positiven“; denn die negative Electricität strömt leichter aus, sodass die Potentialdifferenz nicht so leicht zu dem für Funkenbildung nöthigen Werthe ansteigen kann.

2) Zuschärfung beider Electroden erschwert aus gleichem Grunde die Funkenentladung in hohem Grade.

3) Bei Ableitung des einen von beiden Conductoren erscheint die Lichterscheinung nur am isolirten, und zwar am negativen $-G$ und $-B$ (Neg. Büschel., Neg. Glimmen.) positiven $+G$ und $+B$ (Pos. Büschel.) oder $+G$ (Pos. Glimmen).

VII. Einflüsse verschiedener Art.

1. Einfluss der Form des Gefässes.

a. Verlängertes Gefäss. — Wird das Gefäss über die Electroden hinaus verlängert, so erstreckt sich im Falle der Büschel- und Streifenentladung die Lichterscheinung auch in die Verlängerungen, da ja auch diese Theile der Vacuumflasche bilden. Es ist dies ersichtlich aus Fig. 75 (Streifenentladung).

b. Kugelförmiges Gefäss. — Bei kleinen kugelförmigen Gefässen wirkt das Eindringen der Electricität in die Glaswände störend. So zeigen die Figuren 76—79 vier kurz nacheinander in demselben Gefässe erhaltene Formen der Glimmentladung. Nach wenigen Minuten war überhaupt keine Glimmentladung mehr zu erhalten, sondern nur nach Streifenentladung. (Die Verdünnung betrug etwa $\frac{1}{2}$ mm.)

c. Capillares Gefäss. — Noch störender muss natürlich das Eindringen der Electricität dann werden, wenn sich an einer Stelle der Querschnitt der Röhre sehr stark verengt. So ist in einem Rohre, welches in der Mitte erweitert, an den Enden aber capillar ausgezogen ist, überhaupt nur Funkenentladung zu erhalten, da die Electroden eng umschliessenden Capillaren ebenso wirken, wie Glasröhrchen, welche auf die Spitzen des Funkenmikrometers aufgeschoben werden. Hat die Röhre eine Form, wie die bekannten Spectralröhren, so findet die Entladung

in den weiten Theilen ungestört statt. Die Electricität strömt aber nicht durch das Capillarrohr, sondern dient zunächst dazu, dasselbe nach Art des bei Influenzmaschinen gebräuchlichen Röhrencondensators zu laden. Erst wenn dort das Potentialgefälle gross genug geworden, geht die Entladung wirklich durch die ganze Röhre. Die Entladung im Capillarrohr erfolgt in grösseren Pausen als die in den Erweiterungen, sie entladet aber auch mehr Electricität und erscheint somit intensiver.

d. Leitendes Gefäss und freie Luft. — Ist die Gefässwand leitend (metallisch), so ist eine Ladung nach Art der Vacuumflasche unmöglich, bei geringem Durchmesser kann sie aber selbst die Rolle einer Electrode übernehmen, derart, dass die der Kathode benachbarte Wand als Anode dient, die Strömung nun durch das Metall hindurch fortschreitet, bis zu dem die Anode umschliessenden Theile, welcher dann, als Kathode dienend, die Entladung zur Anode veranlasst.

Ist der Durchmesser des Gefässes sehr gross gegen die Distanz der Electroden, so gleicht die Entladung derjenigen in freier Luft. Glimm- und Funkenentladung ändern sich dabei nur wenig, Streifen- und Büschelentladung aber nehmen die bereits in Abschnitt V erwähnten, den mikroskopischen Entladungen ähnlichen Formen an. Nennen wir diese Mikro-Büschel-, resp. Streifenentladung, die gewöhnlichen dagegen Makro-Büschel-, resp. Streifenentladung, so lässt sich demnach behaupten:

„In freier Luft oder bei verschwindendem Einfluss der Gefässwand erscheint Mikro-Büschel-, resp. Streifenentladung, in kleinen, nichtleitenden Gefässen und bei reichlicher Zufuhr von Electricität entsprechende Makroentladung.“

2. Einfluss der Electrodenzahl.

Verwendet man Electroden mit zwei oder mehr Spitzen, so geht die Entladung nur von einer der Spitzen aus, zuweilen alternirend von der einen oder anderen. Ueberzieht — G bei grösseren Verdünnungen die ganze Electrode, so erscheint

es in dem einspringenden Winkel mit doppelter Intensität, $+G$ bleibt dagegen im einspringenden Winkel aus.

Werden mehrere Electroden an verschiedenen Stellen des Gefäßes eingesetzt, so erscheint die Entladung zwischen zwei benachbarten, zuweilen alternirend zwischen verschiedenen Paaren, z. B. bei der Anordnung Fig. 80 bald rechts, bald links. Als Electroden dienten dabei seitlich eingesetzte Ringe.

3. Einfluss electrisirter Körper.

Annäherung einer geriebenen Harz- oder Siegelackstange ist bei Entladungen in luftverdünnten Räumen ohne wesentlichen Einfluss. Bei Entladungen in freier Luft tritt nach Righi Ablenkung nach electrostatischen Gesetzen ein. Wird bei Versuchen in evacuirten Gefäßen auf der Aussenseite eine kleine Belegung angebracht, die mit der einen oder anderen Electrode in Verbindung steht, so treten Modificationen der Lichterscheinungen ein, ähnlich wie die in Fig. 14 und 15 dargestellten.

„Die Ablenkung ist im allgemeinen derart wie bei Ableitung zur Erde, und zwar stärker, wenn durch die Eigenelectrisirung der Belegung die Bindung der Electricität (das Gefäß als Vacuumflasche betrachtet) begünstigt wird, schwächer im umgekehrten Falle“.

4. Einfluss magnetischer Körper.

Nach den bekannten Untersuchungen erfolgt die Ablenkung des Büschellichtes ähnlich wie diejenige eines biegsamen Stromleiters, die des $-G$ -Lichtes nach Art eines paramagnetischen Pulvers. Eigene Versuche, welche ich nach dieser Richtung unternahm, ergaben Folgendes: Wird ein Gefäß, wie das in den Fig. 81 und 82 gezeichnete, dessen Boden aus einer Kupferplatte besteht, auf die Pole eines Ruhmkorff'schen Electromagnets aufgesetzt und die Entladung bei verschiedenen Gasdichten untersucht, so erfolgt bei Drucken über 20 mm keine merkliche Ablenkung. Dann beginnt sich die $-B$ -Entladung nach einer Seite zu krümmen, wobei die Stelle, an der sich $+$ und $-B$ zusam-

mensetzen, am meisten abgelenkt erscheint. Gleichzeitig tritt eine seitliche Contraction der Lichtmasse ein, und bei grosser Verdünnung (1 mm) erscheint die *B*-Entladung als papierdünne, von zwei Bogenlinien begrenzte Lichtfläche, wie dies Fig. 81 zeigt. Werden die Pole gewechselt, sodass die Spitze negativ, die Platte positiv ist, so geht $+B$ von sämtlichen Punkten eines Halbkreises aus und bildet ein Gewölbe, dessen verticale Grenzfläche des in die Richtung der magnetischen Kraftlinien gelagerte $-G$ -Licht bildet. (Fig. 82.) Speciell gilt diese Regel für die Streifenentladung. (Fig. 83 zeigt Glimmlichtbogen für ein kugelförmiges Gefäss.) Im Falle der Glimmentladung erstreckt sich der Glimmlichtbogen nicht bis zur Platte, sondern nur auf geringe Entfernung von der Kathode, während sich das Gewölbe vom Büschellicht zu einem Streifen zusammenzieht, dessen Ebene auf der Fläche des Glimmlichtbogens senkrecht steht. (Fig. 84 zeigt diese Erscheinung für ein kugelförmiges Gefäss.) Büschelentladung verhält sich ähnlich wie Streifen, nur ist wie bei der Glimmentladung ein Bogen des *B*-Lichtes bevorzugt. Der Funke erleidet entweder keine Ablenkung oder folgt der Umgrenzung des Büschellichtgewölbes, und zwar vom Ende der Kathode ausgehend, also die innere Begrenzung des Glimmlichtbogens bildend, dagegen die äussere Grenze der Basis des Gewölbes. In kurze Leseform liess sich hiernach das magnetische Verhalten des Lichtes in folgenden Satz zusammenfassen:

„Denken wir uns mit dem Strome positiver Electricität schwimmend, so legen wir denjenigen Weg zurück, der durch die electrodynamischen Gesetze für einen beweglichen Stromleiter vorgeschrieben ist, bis die durch die Kathode gehende magnetische Kraftlinie erreicht ist. Alsdann findet die weitere Bewegung längs dieser Kraftlinie statt.

Die Ablenkung nimmt rasch ab mit zunehmender Gasdichte und ist bei gewöhnlichem Drucke sowie bei Funkenentladung verschwindend klein.

Bei Glimm- und Funkenentladung beschränkt sich die Ausgangsstelle des Stromes an der Anode

nahezu auf einen Punkt, bei Streifen- und Büschelentladung nimmt sie eine grössere Fläche ein.“

5. Einfluss der Temperatur.

Wird das Gas etwa dadurch, dass man eine Electrode mittelst eines galvanischen Stromes zum Glühen erhitzt oder auch durch den Durchgang des Stromes selbst erwärmt, wie dies bereits Hittorf in ausführlicher Weise gezeigt hat, so verschwindet allmählich die leuchtende Entladung. Nach meiner Ansicht sind hier zweierlei Entladungsprocesse wohl zu unterscheiden, die dunkle Entladung (Zerstreuung der Electricität) und die leuchtende. Auch bei hoher Temperatur kann ein Gas in sehr intensives Leuchten gebracht werden, falls nur durch Zerstreuung nicht soviel Electricität entladen wird, dass das zur leuchtenden Entladung nöthige Potentialgefälle unerreicht bleibt, wie dies ja die Funken einer electrischen Batterie und die Erscheinung des Blitzes lehren. Dass nun bei Erhöhung der Temperatur das Leuchten bei ungeänderten Versuchsumständen aufhört, scheint mir zu beweisen, dass: „Temperaturerhöhung die Zerstreuung oder Fortführung der Electricität auf mechanischem Wege (Convection) ganz ausserordentlich begünstigt, sodass das zur leuchtenden Entladung nöthige Potentialgefälle im allgemeinen nicht mehr erreicht wird.“

6. Einfluss der chemischen Natur des Gases.

Bereits in der früheren Abhandlung sind einige Erscheinungen der Entladungen in Gasen von verschiedener chemischer Natur dargestellt und beschrieben. Da bei zusammengesetzten Gasen eine Zersetzung eintritt, sodass durch die Entladung selbst die Natur des Gases geändert wird, so habe ich weitere Untersuchungen hauptsächlich bei gesättigten Dämpfen ausgeführt, da hier eine Trennung der (gasförmigen) Zersetzungsproducte von den Dämpfen unschwer zu ermöglichen ist. Die Principien, nach denen die Versuche ausgeführt wurden, sind in einer früheren Abhandlung¹⁾ dar-

1) O. Lehmann, Zeitschr. f. Instrumentenk., März 1882, p. 76.

gelegt. In Bezug auf die Form der Entladung ergab sich wenig Neues. Die Hauptbedeutung solcher Versuche liegt in dem Nachweis, dass die zusammengesetzten Dämpfe durch die leuchtende Entladung ausserordentlich rasch zersetzt werden, sodass dieser Umstand nicht als ein die Entladung begleitendes Phänomen erscheint, sondern als das eigentliche Wesen derselben. Vielleicht beruht das Erforderniss eines bestimmten Potentialgefälles zur Erzeugung leuchtender Entladung auf der Nothwendigkeit einer Zerreissung der Molecüle durch electriche Kräfte, während das Leuchten selbst erzeugt wird durch den chemischen Process der Wiedervereinigung. Es würde dann Entladung und Leuchten überhaupt nicht gleichzeitig sein, sondern das Leuchten später erfolgen und die Entladung vielleicht um relativ erhebliches überdauern. Da die Versuche in dieser Richtung noch nicht abgeschlossen sind, begnüge ich mich mit der gegebenen Andeutung.

7. Einfluss der chemischen Natur der Electroden.

Auch in dieser Hinsicht habe ich bis jetzt nur wenige Versuche angestellt, die in der früheren Abhandlung bereits beschrieben sind. Als Electroden dienten: feste Metalle, Kohle, Quecksilber, Wasser, kaltes und heisses Glas.

Die erfolgten Aenderungen der Lichterscheinungen erklären sich meist durch die Verminderung der Entladungsintensität infolge des geänderten Widerstandes der Electroden.

8. Einfluss von Strömungen im Gase.

Wird senkrecht auf die Bahn der Entladung ein Luftstrom gerichtet, so erfolgt meist eine partielle Ablenkung derselben, wie dies in mehreren Specialfällen in der früheren Abhandlung beschrieben ist. Diese Ablenkungen zeigen mit den magnetischen insofern eine Aehnlichkeit, als die Funkenentladung entweder gar nicht abgelenkt wird oder der Bahn einer mit ihr alternirenden anderen Entladungsart folgt.

In Kürze lässt sich dieses Verhalten der Electricität gegen Strömungen in folgender Weise aussprechen:

„Bewegung der Luft wirkt derart, als ob die

Entladung nicht direct zwischen den Electroden erfolgte, sondern zwischen diesen und Luftschichten, die durch die Strömung fortgeführt werden.“

VIII. Faraday's Theorie.

Unter allen Theorien der electricischen Entladung in Gasen, die im Laufe der Zeit aufgestellt worden sind, ist Faraday's alte Theorie die einzige, welche mit sämmtlichen Erscheinungen in Einklang zu bringen ist, und zwar nicht unter Schwierigkeiten, sondern so leicht und einfach, dass es nur weniger Zusätze bedarf, um alle Beobachtungen zu erklären.

Faraday äussert sich wie folgt: (Nr. 1434) „Wenn das Ende eines isolirten Stabes in die Mitte eines Zimmers hineinragt, so findet zwischen ihm und den Wänden des Zimmers, quer durch das Dielectricum, die Luft, eine Vertheilung statt, und die Linien der Vertheilungskraft häufen sich auf jenes Ende in grösserer Menge als irgendwo, oder die Lufttheilchen am Ende des Stabes werden höher polarisirt als an irgend einer anderen Stelle des Stabes. Die in Querschnitten auf den Linien der Vertheilungskraft liegenden Lufttheilchen sind am wenigsten polarisirt in Schnitten gegen die Wände hin und am meisten polarisirt in denen näher am Ende der Drähte; so kann es wohl geschehen, dass ein Theilchen am Ende des Drahtes sich in einer Spannung befindet, die unmittelbar in Entladung übergeht, während die nur wenige Zoll davon entfernten in ihrer Spannung noch unter diesem Punkte sind. Gesetzt aber, der Stab sei positiv geladen, und ein ihm nahes Lufttheilchen *A* sei polarisirt, habe demnach seine negative Kraft gegen den Stab und seine positive Kraft von ihm abgekehrt. Im Augenblick, da eine Entladung stattfindet zwischen der positiven Kraft des der Luft gegenüberstehenden Stabtheilchens und der negativen Kraft des dem Stab zugewandten Lufttheilchens, wird das ganze Lufttheilchen positiv electricisirt, und wenn im nächsten Augenblick der entladene Stab, vermöge Zuleitung von der hinteren Metallfläche seinen positiven Zustand wieder annimmt, wirkt er nicht nur auf das Theilchen jenseits *A*, in-

dem er *A* wieder in den Polarisationszustand versetzt, sondern *A* selbst übt vermöge seines Polarisationszustandes eine besondere Vertheilungswirkung auf diese entfernteren Theilchen aus, und demzufolge ist die Spannung zwischen *A* und *B* so erhöht, dass auch dort eine Entladung stattfindet, so gut wie zwischen dem Metall und *A*....“ Freilich hat schon Faraday eine Beobachtung gemacht, die mit dieser Theorie anscheinend nicht wohl übereinstimmt oder wenigstens die Hypothese eines qualitativen Unterschiedes von positiver und negativer Electricität nöthig macht, während nach allen was uns sonst über electriche Ströme bekannt ist, eine Verschiedenheit lediglich dem Sinne nach stattfindet, im übrigen ein Strom positiver Electricität nach der einen Richtung durchaus gleichwerthig ist einem Strom negativer nach der entgegengesetzten. Faraday beschreibt diese Thatsache in Nr. 1501 seiner Untersuchungen.¹⁾

„Die Schlüsse, zu welchen ich gelange, sind: erstlich, dass wenn zwei gleiche in Luft befindliche kleine leitende Flächen electrirt sind, die eine positiv die andere negativ, die negative bei einer etwas geringeren Spannung als die positive sich gegen die Luft entladen kann; zweitens, dass, wenn die Entladung stattfindet, in jeder Zeit weit mehr von der positiven Fläche als von der negativen übergeht. Dieser letztere Schluss wird durch die optische Analyse der positiven und negativen Büschel zum Ueberfluss bewiesen, da die letztere Reihe von Entladungen sich fünf- bis sechsmal schneller als die erstere erweist.“

Diese Beobachtungen beziehen sich zunächst allerdings nur auf Büschelentladung. Für Streifenentladung wurde später von G. Wiedemann und Rühlmann²⁾ dasselbe als gültig befunden:

„... Hieraus lässt sich ableiten, dass zur Einleitung einer Entladung in der Gasschicht an der positiven Electrode ein grösseres Potential auf die auf der Flächeneinheit aufgehäuften Electricität erforderlich ist als an der negativen Electrode.“³⁾

1) Faraday, Pogg. Ann. 48. p. 277. 1839.

2) Wiedemann, Galv. 2. p. 294.

3) cf. auch Röntgen, Gött. Nachr. 1878. p. 390—404.

Auch bei Funkenentladung zeigt sich dieselbe Erscheinung, wie Masson¹⁾ gefunden hat:

„Wird der negative Pol einer funkenerzeugenden Maschine mit dem Erdboden verbunden, während der positive isolirt ist, so ist die Lichtintensität doppelt so gross wie im umgekehrten Falle. Die Electricitätsmengen, welche in beiden Fällen zur Entladung kommen, verhalten sich wie $\sqrt{2}:1$.“

Für Glimmentladung lässt sich gleiches erschliessen aus einer Beobachtung von Feddersen²⁾: Erzeugt man auf der positiven Electrode der Holtz'schen Maschine Glimmlicht und dreht die negative Electrode, so wandern die correspondirenden leuchtenden Punkte auf der positiven mit; ein Drehen der positiven Electrode ist dagegen ohne Einfluss.“ Ferner: Warren de la Rue und H. Müller³⁾: „Die Entladung einer Chlorsilberbatterie von 8040 Elementen erscheint im rotirenden Spiegel bei positiver Spitze und negativer aus einzelnen Bildern bestehend, im umgekehrten Falle als continuirliches Lichtband. Ein auf die Platte gelegtes Stück Löschpapier adhärirt stärker, wenn die Spitze negativ, als wenn sie positiv ist.“ Ferner Hittorf⁴⁾: „Das Flugrädchen hört auf zu laufen, sobald die Entladungsintensität einen genügend hohen Werth erreicht. Bei positiver Electrisirung geschieht dies erst bei 9 mm Druck, bei negativer schon bei 40 mm.“

Nach Faraday's Theorie sollte man erwarten, dass dasjenige Gefälle des Potentials (Potentialdifferenz pro Längeneinheit), welches zur Einleitung der Entladung erforderlich ist, und welches ich kurzweg Entladungsgefälle nenne, einzig abhängt von der chemischen Zusammensetzung, resp. dem physikalischen Zustand des Gases, in welchem die Entladung stattfindet.

Aus den oben angeführten Thatfachen folgt nun aber, dass dieses Gefälle in der Nähe der Kathode geringer ist als an der Anode, und da im übrigen die Theorie vollkommen mit der Erfahrung in Einklang steht, so schliesse ich, dass diese Aenderung des Entladungsgefälles in der Nähe

1) Masson, Compt. rend. 30. p. 627. 1850.

2) Feddersen, Pogg. Ann. Jubelb. p. 466. 1874.

3) Warren de la Rue u. H. Müller, Compt. rend. 86. p. 1072 bis 1075. 1878.

4) Hittorf, Wied. Ann. 7. p. 556. 1879.

der Electroden nur eine secundäre Erscheinung ist, in gewissem Sinne etwas vergleichbar der galvanischen Polarisirung beim Durchgang des Stromes durch eine zersetzbare Flüssigkeit. Das folgende Kapitel soll diesen Gedanken weiter ausführen:

IX. Electrification der Luft durch Reibung.

Denken wir zwei plattenförmige Electroden einander gegenübergestellt und denselben immer mehr und mehr Electricität zugeführt, bis schliesslich Entladung eintritt, nehmen wir ferner an, es würden die Potentialwerthe an den verschiedenen Punkten der Axe beider Electroden und der Trennungsschicht durch eine ebene Curve über dieser Axe dargestellt, so würde diese Curve nach bekannten Sätzen in jedem Momente aus drei geradlinigen Stücken bestehen, nämlich den Parallelen ab und cd (Fig. 85) über den Electroden und der geneigten Geraden bc in der Zwischenschicht. Je höher die Potentialdifferenz ansteigt, um so grösser wird die Neigung der Linie, und im Momente der Entladung würde sie gerade dem Entladungsgefälle gleich geworden sein, falls nicht die störende secundäre Erscheinung eine Aenderung bewirkte, die zur Folge hat, dass an der Kathode das Entladungsgefälle früher, an der Anode später erreicht wird als im Normalfalle. Im Momente der Entladung muss also die Potentialcurve etwa eine Form besitzen, wie sie in Fig. 86 dargestellt ist.

Zwischen f und g , d. h. dicht an der Kathode ist die Linie parallel zu xy , welche das Entladungsgefälle repräsentirt, cf ist dagegen nahezu parallel der Axe, cd steiler, bc flacher als die normale gerade Linie bg , welche punktirt angedeutet ist. Wir können uns diese Curve zusammengesetzt aus zwei Curven denken, nämlich der Geraden uw und der zweifach nach positiver Seite ausgebogenen bg (Fig. 86). Diese letztere würde nun aber einer positiven Electrification der Luft entsprechen, welche an der Anode über einen etwas grösseren Raum vertheilt, an der Kathode dagegen dicht zusammengedrängt ist. Die Erzeugung dieser positiven Electrification kann erst unmittelbar vor eintretender Ent-

ladung stattfinden oder vielleicht richtiger: „Sobald diese Electrification eintritt, muss die Entladung momentan erfolgen, obschon das Gefälle auf der übrigen Strecke der Funkenbahn, wie vorausgesetzt, noch nicht den Entladungswerth erreicht hat. Jedenfalls muss nämlich die Entladung auf der Strecke *fg* eintreten, nun aber bildet die von der Entladung durchsetzte Luftstrecke gewissermassen eine Verlängerung der Kathode, es erfolgt in gleichem Schritte mit der Entladung, allerdings mit unmessbarer Geschwindigkeit, eine Aenderung der Potentialcurve derart, als ob die Kathode nunmehr (etwa mit der Schnelligkeit eines Lichtstrahls) vorgeschoben würde, sodass der ganze übrige Theil der Curve grössere Neigung annimmt, und die Entladung schliesslich die ganze Schicht zwischen den beiden Electroden durchsetzt, falls nur das Potentialniveau auf den Electroden selbst nicht merklich geringer wird, d. h. die Zufuhr der Electricität hinreichend gross ist, um die Potentialdifferenz der beiden Electroden nicht allzusehr sinken zu lassen. Ist dies nicht der Fall, dann wird freilich die Entladung schon in geringer Entfernung von der Electrode ins Stocken kommen, wir erhalten nicht wie im ersten Fall „Funken“, sondern „Glimmentladung“.

Die Untersuchung hätte hiernach sich mit der Aufgabe zu befassen, inwiefern eine spontane positive Electrification der Luft in der angedeuteten Weise in der Nähe der Electroden möglich ist und sich aus bekannten Thatsachen deduciren lässt.

Wird ein Tröpfchen Wasser in eine Oelschicht zwischen zwei auf dem Objectträger eines Mikroskops befestigte Electroden gebracht und diesen Electricität zugeführt, so streckt sich das Tröpfchen infolge der bekannten auftretenden Kräfte in die Länge. Werden die Electroden alternirend geladen und entladen, so kommt das Tröpfchen in entsprechende oscillirende Bewegung. Wird ein Glasgefäss, durch dessen Boden eine mit Wasser gefüllte U-förmige Röhre eingeführt ist, mit einer Mischung von Benzol und Schwefelkohlenstoff, welche gleiches specifisches Gewicht mit Wasser besitzt, gefüllt und nunmehr das Wasser des U-Rohres mit einer

Electricitätsquelle in Verbindung gesetzt, so wölbt sich der Meniscus des Wassers immer mehr und mehr, verlängert sich kegelartig, schnürt einen Tropfen ab, spitzt sich dann zu und sendet äusserst feine Tröpfchen aus. Wird eine mikroskopische Electrode mit Wasser umgeben und dieses wieder mit Oel umgossen, in welches die andere Electrode eintaucht, so erhebt sich die Wasserfläche in zahlreichen sehr scharf zugespitzten Kegeln, welche äusserst feine Tröpfchen aussenden. Wendet man warme übersättigte Lösung von Schwefel in Terpentin in gleicher Weise an, so zeigt sich nur eine Spitze (Fig. 88). Terpentin allein sowie beliebige andere Flüssigkeiten zeigen die früher schon erwähnten convectiven Strömungen. Offenbar beruhen diese letzteren Strömungen auf gleichen Gründen wie die erst beschriebenen Bewegungserscheinungen und nehmen im wesentlichen auch genau denselben Verlauf. Die der Electrode dicht anliegende Flüssigkeitsschicht wird, weil ihre sämmtlichen Theilchen gleichnamig electrisch sind, vorn an der Electrode sich abheben und von der Rückseite her ergänzen. Es entsteht so eine Strömung längs der Oberfläche der Electrode, welche ungemein intensiv werden kann und sicherlich, wie alle Reibung heterogener Körper, Entstehung von Reibungselectricität im Gefolge haben muss. Ich schliesse die Möglichkeit solcher spontaner Electrisirung der Flüssigkeiten auch aus dem Verhalten pulverförmiger Körper, welche bekanntlich beim Einleiten electrischer Ströme das Bestreben zeigen, vorherrschend nach einer Electrode zu wandern. Es deutet dies mit grosser Wahrscheinlichkeit auf eine Eigen-electrisirung dieser Pulver, hervorgerufen durch Reibung an der Flüssigkeit. Die Flüssigkeit selbst müsste dann natürlich die entgegengesetzte Electrisirung annehmen, und eine Wanderung im entgegengesetzten Sinne ist auch thatsächlich beobachtet.

Diese Erklärung als richtig betrachtet, würde nun zu erwarten sein, dass die convective Strömung an einer Electrode sich intensiver gestaltete als an der anderen. Auch dies wurde vielfach beobachtet. Einen sehr schönen hierher gehörigen Vorlesungsversuch hat de Waha¹⁾ angegeben.

1) de Waha, Wied. Ann. 3. p. 68. 1878.

Die beiden Electroden haben verticale Stellung, und die Flüssigkeit schiesst über die Anode in Form eines kleinen Springbrunnens in die Höhe, während sie sich an der Kathode trichterartig hinabsenkt.

Dass nun solche convective Entladung (Zerstreuung) und spontane Electrisirung auch in Gasen möglich sein muss, lässt sich schon aus der Thatsache schliessen, dass sich eine Flüssigkeit ganz allmählich (bei der kritischen Temperatur) in den Gaszustand überführen lässt. Es lässt sich der Nachweis indess auch in verschiedener Weise direct führen.

Ein aus Goldpapierröhren und feinen Nähnadeln gefertigtes viertheiliges Flugrad wurde in einem mit Stanniol ausgekleideten Kasten bifilar aufgehängt und die Ablenkung bei Electrisirung mittelst Spiegel und Fernrohr beobachtet. Die Zuführung der Electricität geschah durch Ableitung von einer Kugel eines Funkenmikrometers, der zwischen den einen Pol einer Influenzmaschine und die Erdleitung eingeschaltet war. Auch auf der Leitung zum Flugrad wurde ein Funkenmikrometer angebracht, dessen Kugeln aber durch Spitzen ersetzt. Das erste Funkenmikrometer wurde alsdann so regulirt, dass bei mässiger Entfernung der Spitzen des zweiten eine schwache Ablenkung eintrat. Die Spitzen des letzteren blieben dabei vollkommen dunkel. Die Ablenkung wurde stärker, als deren Entfernung vermindert wurde. Sobald aber ein Leuchten sichtbar wurde, erfolgte plötzlich so starke Ablenkung, dass die ganze Scala aus dem Gesichtsfelde verschwand. Es musste somit vor der leuchtenden eine weit schwächere convective (dunkle) Entladung stattgefunden haben. Eine hohle Glaskugel wurde auf etwa 1 mm evacuirt und zugeschmolzen und alsdann einem freistehenden kugelförmigen Conductor genähert, welcher durch eine längere (die Wand des Zimmers durchdringende) Leitung mit der einen Kugel des Funkenmikrometers verbunden war. So oft zwischen den Kugeln des letzteren ein Funke übersprang, begann die Glaskugel zu leuchten, obschon ihre Entfernung vom Conductor mehrere Decimeter betrug. Das Leuchten wurde offenbar durch den Rückschlag verursacht, dieser hat aber eine vorhergehende Scheidung der Electricität im Inneren der Glaskugel zur

Voraussetzung, und dieser Scheidungsprocess verlief durchaus ohne Lichterscheinung, selbst als die Kugel unmittelbar mit dem Conductor in Berührung gebracht wurde.

Die Möglichkeit einer dunklen, convectiven Entladung scheint mir hierdurch erwiesen, wenn eine eingehendere Untersuchung allerdings wünschenswerth erscheint.¹⁾

Dass durch Reibung an festen Körpern Gase positiv electrisch werden, haben Elster und Geitel²⁾ bewiesen. Unter gewöhnlichen Umständen tritt Electricität allerdings nur dann auf, wenn der Körper glühend ist, vermuthlich weil die condensirte Gasschicht auf der Oberfläche des Körpers im alten Zustande eine unmittelbare Reibung hindert. Bei Gasentladungen ist es aber gerade diese dicht anliegende Gasschicht, welche zuerst entfernt wird. Bemerkenswerth erscheint auch das Verhalten der Flammen. Wird ein isolirter Gasbrenner positiv electrisirt, so stösst er bekanntlich die Flamme ab, er zieht sie dagegen an, wenn seine Electrisirung negativ ist.

Alle diese Thatsachen und Erwägungen scheinen mir klar darauf hinzuweisen, dass die eigentliche Ursache der spontanen positiven Electrisirung der Luft, wie sie oben als der Funkenentladung kurz vorhergehend dargestellt wurde, und somit aller Unterschiede der positiven und negativen Seite der Entladung, lediglich zu suchen ist in einer der leuchtenden Entladung kurz vorangehenden convectiven Entladung, welche mit Erhöhung der Temperatur an Intensität rasch zunimmt³⁾ und bewirkt, dass leuchtende Entladung an der Kathode schon früher eintritt als auf der ganzen Strecke des Entladungsgefälle erreicht ist. Die rasche Zunahme der convectiven Entladung mit der Temperatur dürfte ihren Grund haben in dem erleichterten Gleiten des Gases längs der Oberfläche der Electroden. Schreitet nun die einmal eingeleitete Entladung nicht durch die ganze Strecke fort, d. h. genügt die Zufuhr von Electricität nicht zur Erzeugung von Funkenentladung, so breitet

1) cf. auch die Versuche von Warburg, Pogg. Ann. **146**. p. 578. 1872. u. Narr, Wied. Ann. **8**. p. 272. 1879; **11**. p. 155. 1880; **16**. p. 558. 1882.

2) Elster u. Geitel, Wied. Ann. **16**. p. 193. 1882.

3) Vgl. Abschn. VII, 5. p. 325.

sich diese erste Entladung über eine mehr oder minder grosse Fläche der Kathode aus und bildet den „rothen Saum“. Sie überträgt die Electrisirung der Kathode auf diejenige Luftschicht, an welcher sie ein Ende nimmt. Zwischen letzterer und der Oberfläche der Kathode ist also nunmehr kein beträchtliches Gefälle mehr, dieser Raum kann somit nicht von Entladung durchsetzt werden und wird zum „dunkeln Kathodenraum“.¹⁾ Dass der Potentialwerth innerhalb desselben wirklich nahezu constant ist, lässt sich erkennen einerseits aus den messenden Versuchen Hittorf's und E. Wiedemann's, andererseits aus dem Verhalten einer positiven Spitze, welche in denselben eindringt. Trotz positiver Electrisirung der Spitze und negativer der sie umgebenden Luft ist keine Entladung zu bemerken; es findet längs der Oberfläche der Anode ein sehr jäher Abfall (Unstetigkeit der Potentialcurve) statt, sodass zwar wohl electrostatische Wirkung in die Ferne, nicht aber leuchtende Entladung innerhalb der electrisirten Luftschicht möglich ist. Je geringer die Dichte des Gases, je grösser also die Weglänge der Molecüle, um so grösser wird auch der Raum werden, welchen die electrisirte Luft einnimmt, um so mehr wirkt diese als Hinderniss gegen die Entladung und kann selbst auf die Electroden rückwirkend die Ausgangsstelle der Entladung beträchtlich verschieben, wie dies aus dem Experimente Fig. 42 klar hervorgeht. Es ist sehr bemerkenswerth, dass in diesem letzteren Falle der rothe Saum die ganze Kugel umhüllen kann, die Glimmlichtstrahlen aber nur über einer relativ entfernten Stelle des Stieles schweben und häufig ihren Ort wechseln als ob ein Windhauch sie verdrängte.

Erst jenseits der electrisirten Luftschicht ist also wieder Entladung möglich, sie wird aber nur dann eintreten, wenn die Ladung der Kathode hinreichend gestiegen ist, um das Gefälle des Potentials daselbst bis zum Entladungswerthe zu erhöhen. Auch diese im allgemeinen von dem rothen Saum verschiedene, und zwar unmessbar wenig spätere Entladung in Form der „Glimmlichtstrahlen“ schliesst im allgemeinen in der Nähe der Kathode ab, eine Wolke elec-

1) Vgl. Abschn. VII, 1, c. p. 321.

trisirter Luft erzeugend, die sich nun convectiv als electrischer Wind langsam gegen die Anode zu fortbewegt, daselbst die Potentialcurve beträchtlich herabziehend, sodass schliesslich auch hier Entladung erfolgt, und zwar, da negative Luftwolke und Anode gewissermassen ähnlich wie eine Vacuumflasche einen Condensator bilden, mit grösserer Stromintensität, sodass das Licht gegen dasjenige der Glimmlichtstrahlen röthlich erscheint. Die Existenz dieses electrischen Windes lässt sich leicht nachweisen. Leitet man über eine electrisch glimmende Spitze einen Gasstrom (Luft, Leuchtgas, Kohlen-säure) und beobachtet denselben mittelst des Schlierenapparates, so zeigt sich eine energische Ablenkung desselben. Befestigt man senkrecht über einer mit Lycopodium bestreuten Metallplatte eine isolirte Spitze und erzeugt zwischen derselben und der Platte durch ein geeignetes Gebläse einen horizontalen Luftstrom, so erscheint die beim Berühren der Spitze mit dem Knopf einer Leydener Flasche auf der Platte erzeugte Kundt'sche Staubfigur in der Mitte in der Richtung des Luftstromes beträchtlich abgelenkt, also nicht mehr kreisrund, sondern herzförmig verzerrt. Endlich beweisen auch die Versuche von Nahrwold¹⁾ und Mascart²⁾ sehr evident, dass die Luft im Stande ist, Electricität aufzubewahren und mechanisch fortzuführen. Die von einer gewissen Quantität Luft fortgeführte Quantität von Electricität ist eine relativ sehr bedeutende, denn obgleich eine feine Spitze im Stande ist, den ganzen Strom einer Influenzmaschine zu entladen, ist die Geschwindigkeit des electrischen Windes der erwähnten Schlierenbeobachtungen zufolge eine sehr mässige, etwa derjenigen ausströmenden Leucht-gases vergleichbar. Wird die electrisirte Luft auf ihrem Wege zur Anode aufgehalten, so muss in dem positiven Glimmlicht ein etwa den Kraftlinien entsprechender Schatten entstehen, wie ihn Fig. 2 der früheren Abhandlung zeigt. Ist der Körper selbst electrisch, so erscheint den Beobachtungen Righi's³⁾ zufolge der Schatten entsprechend ver-

1) Nahrwold, Wied. Ann. 5. p. 460, 783. 1878.

2) Mascart, Beibl. 7. p. 132. 1883.

3) Righi. Beibl. 5. p. 901. 1881.

zertr. Ist die Zufuhr der Electricität genügend gross, so wird die Entladung nach der Bildung der Glimmstrahlen kein Ende nehmen, sondern nach äusserst kurzer Zeit hinter oder innerhalb der electrischen Luftschicht abermals beginnen, es entsteht das „negative Büschellicht.“ Da dasselbe an seiner Wurzel von negativer electrisirter Luft umgeben ist, welche eine seitliche Ausbreitung hindert, erscheint es hier zusammengedrückt und dehnt sich erst bei weiterem Fortschreiten aus, nimmt also die Form eines Lichtpinsels an, der durch den „Trennungsraum“ von den Glimmlichtstrahlen getrennt ist. In sehr verdünnten Gasen kann dieser Trennungsraum verschwindend klein, die Basis des Lichtpinsels aber beträchtlich gross werden, sodass $-B$ als rothe Umsäumung von $-G$ erscheint, scheinbar allmählich in letzteres übergehend. Da indess beide bei gleichem Querschnitt verschiedene Farbe besitzen, lässt sich darauf schliessen, dass sie nicht gleichzeitig sind, sondern $-B$ als der grösseren Stromintensität entsprechend in grösseren Intervallen auftritt. Aehnlich wie an der Kathode negative Luft als Hinderniss wirken kann, so an der Anode die durch das Glimmlicht erzeugte positive Luft. Dieselbe trennt als „positive Intermittenzstelle“ „positives Glimmlicht“ und „positives Büschellicht“. Ist ein Ueberschuss von negativer electrisirter Luft vorhanden, welche die Kathode rings umschliesst und somit die Ausgangsfläche der Entladung auf den vorderen Theil der Kathode einschränkt, so entsteht „(Mikro-)Büschelentladung“. Ist umgekehrt die positive electrische Luft vorherrschend, und lagert sich diese rings um die Kathode, so dehnt sich die Glimmhülle dem geänderten Verlauf des Potentialgefälles entsprechend über einen grossen Theil der Kathodenoberfläche aus, während das positive Büschellicht, weil in gleichartig electrisirter Luft fortschreitend, zu einem Lichtstreifen zusammengedrückt wird und sich auf weit grössere Entfernung erstreckt, es entsteht „(Mikro-)Streifenentladung“. Wird ferner (in beiden Fällen) die Wirkung der electrisirten Luft noch unterstützt durch diejenige der gleichartig geladenen Gefässwand, wie dies je nach den eingangs dargelegten Erfahrungen that-

sächlich der Fall ist, so entsteht dadurch eine beträchtliche Abweichung der Richtung der Entladung von dem scheinbaren Verlauf der Kraftlinien, die Bildung von „(Makro-) Büschel-, resp. Streifenentladung“ bedingend. Die scheinbare Anomalie verschwindet sofort, wenn wir statt des scheinbaren Verlaufes der Kraftlinie, (nur der Electrisirung der Electroden entsprechend) den wahren, durch Anhäufung von Electricität in Luft und Wänden bedingten in Betracht ziehen. Die Ablenkung der Entladung durch Strömungen im Gase und durch magnetische Kräfte, beruht auf Ablenkung der positiv electrisirten Luft, welche im letzteren Falle den electrodynamischen Gesetzen folgt bis zur magnetischen Kraftlinie durch die Kathode, da hier die Distanz von der Kathode die geringste ist. Die Ablenkung der negativ electrisirten Luft kommt nicht in Betracht, da bei den Verdünnungen bei welchen Ablenkung durch magnetische Kräfte möglich ist, gewöhnlich nur Streifenentladung auftritt. Gelingt es Büschelentladung zu erhalten, so beobachtet man eine analoge (paramagnetische) Ablenkung des positiven Glimmlichtes. Es erscheint unnöthig, ins einzelne genau alle früher beschriebenen Formen zu erklären, da es ein Leichtes ist, sich aus den gegebenen Abbildungen in umgekehrter Weise die Anordnung der Electrisirung, welche die betreffenden Formen bewirkte, zu ermitteln. Dass sich bei den Versuchen von Hertz über Ablenkung der Magnetnadel durch die Entladung scheinbar eine Verschiedenheit zwischen Strombahn und Leuchten ergab, beruht darauf, dass die Magnetnadel die Strömung von einer Electrode zur Wand hin und von dieser zur anderen Electrode überhaupt nicht anzuzeigen vermag, insofern sich diese beiden Strömungen in ihrer Wirkung auf die Nadel theilweise aufheben und dieselbe so ablenken, wie es thatsächlich die Beobachtung ergab. Da bei hohen Verdünnungen der dunkle Kathodenraum, welcher ähnlich wie eine Funkenstrecke ein Hinderniss gegen die Entladung bildet, wie schon Hittorff¹⁾ richtig erkannt hat, eine beträchtliche Ausdehnung erfährt, wird natürlich Streifenentladung, welche einer Funkenstrecke an der Kathode

1) Hittorff, Wied. Ann. 10. p. 705. 1883.

entspricht, begünstigt. In sehr stark verdünnten Gasen erfolgt also stets zuerst Ladung der Wände von Seiten der Anode und Entladung durch die Kathode. Das zwischen beiden Vorgängen liegende Zeitintervall ist so klein, dass eine Messung der Potentialschwankungen mit Hilfe der bekannten Apparate ebenso unmöglich erscheint als die Messung der akustischen Druckschwankungen in einer Orgelpfeife mittelst eines gewöhnlichen Manometers (ohne Kundt'sches Ventil.) Da die Entladung an der Kathode beginnt und von hieraus den Kraftlinien folgend, also strahlenartig gegen die Wände zu fortschreitet, müssen die letzteren Schattenerscheinungen zwischenliegender Körper zeigen, falls sie durch den Entladungsprocess zum Leuchten gebracht werden. Dass letzteres wirklich stattfindet, ist bekannt. Ich schliesse hieraus, dass das Auftreten von grünem Fluorescenzlicht anzeigt, dass an der betreffenden Stelle eine alternirende Ladung und Entladung der Glaswand stattfindet.¹⁾ Die leuchtende Entladung in der Oberflächenschicht des Glases lässt, abgesehen von der Natur des letzteren, aus seiner Helligkeit einen Schluss ziehen auf die Intensität der Strömung. Der Umstand, dass dieselbe gewöhnlich nur bei starken Verdünnungen beobachtet wird, beweist also, dass gerade hier die Ladung und Entladung der Wände von sehr grossem Belang ist.

Die von Goldstein beobachtete Deflexion der Kathodenstrahlen lässt sich erklären, wenn man das Fortschreiten der Entladung in der Gasschicht in Betracht zieht. Durch die Entladung wird gewissermassen die auf der Oberfläche der Electrode angehäuften Electricität im Raume den Kraftlinien entsprechend, wie eine electrische Fläche fortgeschoben. Dabei ist wohl zu berücksichtigen, dass sich während des Fortschreitens der Verlauf der Kraftlinien genau in gleichem Schritte ändert. Zwei isolirte Glimmstrahlenbündel würden ein System von Kraftlinien erzeugen, welches nothwendigerweise ein Auseinanderweichen bedingt,

1) Vielleicht lässt sich nach den Principien der electromagnetischen Lichttheorie allgemein Fluorescenz und Phosphorescenz auf moleculare Ladung und Entladung zurückführen.

falls überhaupt die Glimmstrahlen durchaus gleichzeitig vorschreiten. Nach den Beobachtungen über Glimmlichtstrahlen bei Electroden mit einspringendem Winkel scheint dies im allgemeinen nicht der Fall, sondern die Entladung geht zunächst von einem Punkte aus und verbreitet sich erst von hier aus auf die übrigen Theile der Kathodenfläche. Durch diese Annahme würde sich erklären, dass in einspringenden Winkeln die Entladung heller erscheint, indem hier mehrere zeitlich verschiedene Lichterscheinungen zusammentreffen.

Merkwürdig erscheint die häufig zu beobachtende Schichtenabsonderung an $+$ und $-B$ -Licht. Im Grunde ist dieselbe nichts anderes als eine Wiederholung der Bildung des Trennungsraumes. Es kann der Fall eintreten, dass z. B. infolge allzureichlicher Anhäufung electrisirter Luft die Zufuhr der Electricität nicht ausreichend ist, um das B -Licht zur Anode fortzusetzen; sodass also Stillstand des leuchtenden Entladungsprocesses und Bildung einer electrischen Luftwolke stattfindet, bis die Entladung von neuem beginnt, die electrische Luftwolke überspringend, sodass in letzterer nur convective Ausgleichung der Electricität stattfinden kann.

Es erklärt sich hierdurch, dass die Schichten im Stande sind, electrische Schatten zu werfen, wie Spottiswoode beobachtet, und auch, dass sie leichter auftreten, resp. allmählich stationär werden, wenn die Form des Gefässes (Röhre) ein Eindringen der Electricität in die Glaswand ermöglicht. Im Grunde genommen ist die Schichtenbildung auf dem Gebiete electrischer Entladungen dasselbe, wie die Erzeugung von Saitenschwingungen durch Streichen mittelst des Violinbogens auf akustischem Gebiete (die Entladung hält ein: die Saite ist gespannt — die Entladung beginnt wieder: die Saite schnell zurück).

Die auffallende stärkere Erwärmung des positiven Poles beim Davy'schen Lichtbogen, d. h. bei vorwiegend convectiver Entladung¹⁾ hat Edlund durch eine entgegenwirkende Kraft erklärt. Diese Kraft fällt zusammen mit der-

1) Vgl. Abschn. VII, 5. p. 325.

jenigen hypothetischen electromotorischen Kraft, welche das Auftreten der positiven Reibungselectricität an Anode und Kathode bewirkt. (Nach Hoorweg¹⁾ würde Reibungselectricität überhaupt mit Thermoelectricität zu identificiren sein.) Die höhere Erhitzung der Kathode bei vorwiegend leuchtender Entladung hat Hittorf erklärt durch die heisse Schicht von Glimmlicht, welche deren Oberfläche bedeckt.

Die Bildung der Metaldampfbüschel (und theilweise wohl auch die Zerstäubung der Kathode) beruht auf localer Erhöhung der Stromintensität durch Zusammenfliessen der Strömungslinien gegen einen Punkt. Aehnlich wie beim plötzlichen Oeffnen einer Schleusse muss daselbst beim Eintritt der Entladung ein jähes Gefälle des Potentials, also oberflächliche disruptive Entladung eintreten.

Das bekannte Nachleuchten mancher Röhren mag vielleicht auf langsamer Entladung der in die Glaswände eingedrungenen Electricität beruhen. Wurde eine evacuirte Röhre ohne Electrode, oder ein anders gestaltetes evacuirtes Glasgefäss der influencirenden Einwirkung eines sich alternirend ladenden und wieder entladenden Conductors ausgesetzt, so trat innerhalb einer bestimmten Wirkungssphäre das bereits erwähnte Leuchten infolge des Rückschlages ein. Der Radius dieser Wirkungssphäre erwies sich nicht merklich abhängig von der Form und Grösse des Gefässes, sondern wesentlich nur von der Dichte des darin enthaltenen Gases. Merkwürdigerweise kam nun ein soeben neu verfertigtes Rohr nicht zum Leuchten, selbst wenn es dem Conductor ausserordentlich nahe gebracht wurde. Erst nach einiger Zeit und besonders, wenn ein Funke auf die äussere Wand übergeschlagen war, trat das Leuchten plötzlich ein und hörte erst wieder auf, wenn das Rohr aus der Wirkungssphäre entfernt wurde. War nun aber einmal in einem solchen Rohr das Leuchten eingetreten, so trat es stets wieder ein, wie oft und in welcher Lage man auch das Rohr dem Conductor nähern mochte, sobald dasselbe in die Wirkungssphäre eingeführt wurde. Weder langes Liegen, noch Erhitzen, noch auch Oeffnen und abermaliges Evacuiren

1) Hoorweg, Wied. Ann. 11. p. 568. 1881.

konnten ihm die einmal erlangte Fähigkeit zum Leuchten wieder nehmen. Wurde eine solche Röhre oder Kugel in ein isolirendes Gefäss mit Petroleum gefülltes gebracht, so änderte sich der Radius der Wirkungssphäre kaum merklich. Er wurde sichtlich verkleinert, wenn die Röhre auf ihrer Aussen-seite benetzt oder mit Glycerin bestrichen wurde, das Leuchten hörte fast ganz auf, wenn man sie zum grössten Theil mit Stanniol beklebte oder vollständig in ein Gefäss mit Wasser eintauchte. In letzterem Falle leuchtete nur die Stelle, an welcher die Kugel an dem isolirenden Stiel (Sie-gellackstange) befestigt war. Capillarröhren leuchten weit intensiver, als solche von grösserem Durchmesser und das Licht ist allenthalben gleich intensiv, wenn auch das Rohr sehr lang ist und weit aus der Wirkungssphäre, herausragt. Annähern leitender, mit der Erde in Verbindung stehender Körper lässt das Leuchten schon ausserhalb der Wirkungs-sphäre eintreten. Nähert man eine solche Röhre den Con-ductoren der Influenzmaschine, während zwischen denselben Funken überspringen, so tritt das Leuchten, wie zu erwarten, mit grösserer Intensität auf, wenn das Rohr der Axe parallel, als wenn es dazu senkrecht steht. In der senkrechten Lage ist es um so intensiver, je näher es dem einen Conductor, in der Mitte ist die Helligkeit nahezu verschwindend. Wird dasselbe in paralleler Lage so nahe gestellt, dass die Funken an demselben entlang gleiten, alsdann entfernt und in ein dunkles Zimmer gebracht, so leuchtet es ähnlich, wie eine geladene Vacuumflasche, längere Zeit nach. Das Licht wird intensiver, wenn beide Enden berührt werden, schliesslich wird diese Nachentladung immer stärker intermittirend und hört endlich ganz auf. Ist ein Rohr mit einer Spitze versehen, so schlägt gewöhnlich bei allzugrosser Annäherung von dem Conductor ein Funke auf diese Spitze über und durchschlägt dieselbe. Bei intensiver Ladung und starker Evacuierung ist das grüne Fluorescenzlicht, welches Ladung und Entladung der Wände andeutet, sehr schön zu beob-achten. Es hat immer diejenige Lage, die dem Rückschlag entspricht. An der Ausgangsstelle der Kathodenstrahlen, welchen dieses Fluorescenzlicht entspricht, ist häufig das

rothgelbe Natriumlicht zu sehen, andeutend, dass auch hier wie sonst längs der Oberfläche der Kathode eine starke Erhitzung stattfindet.

Als besonders lehrreiche Beispiele zu der Theorie der Entladungen möchte ich die zahlreichen Experimente von William Spottiswoode und Fletcher Moulton¹⁾ erwähnen. Dieselben eingehend hier zu besprechen, erscheint nicht angemessen.

Das Hauptresultat vorliegender Arbeit liesse sich etwa in folgenden Worten zusammenfassen:

„Es gibt zwei Arten von Entladung in Gasen, die convective und die leuchtende. Bei höherer Temperatur z. B. beim electrischen Bogenlicht ist die erstere die vorherrschende.

Sämmtliche Erscheinungen der leuchtenden electrischen Entladung in Gasen erklären sich nach Faraday's Theorie, wenn man jederzeit berücksichtigt, in welcher Weise sich der Verlauf der Kraftlinien und das Gefälle des Potentials ändern, theils durch das Fortschreiten der Entladung selbst, theils durch Electrisirung einzelner Luftschichten und der Wände des Gefässes. Der scheinbare qualitative Unterschied zwischen positiver und negativer Electricität beruht lediglich auf der secundären Wirkung der an der Oberfläche der Electroden auftretenden Reibungs-(Thermo-)Electricität der Luft, welche leichtere Entladung an der Kathode und damit alle die beobachteten Verschiedenheiten der positiven und negativen Seite verursacht, welche sich äussern in verschiedener Färbung und Gestaltung der Lichterscheinung, sowie auch durch Aenderung der Schlagweite mit der Form der Electroden, durch verschiedenes Verhalten gegen magnetische Kräfte und die eigenthümlichen Formen der Lichtenberg'schen Figuren.

Die leuchtende Entladung ist in allen Fällen intermittirend.“

Leider steht der letztere Satz nicht im Einklang mit neueren Theorien, welche annehmen, dass auch continuirliche leuchtende Gasentladung möglich sei. Bei der ausserordentlichen Schnelligkeit, mit welcher sich der Process der leuch-

1) W. Spottiswoode und Fletcher Moulton, Phil. Trans. 1. p. 165. 1879; 2. p. 561. 1880.

tenden Entladung vollzieht, die wohl derjenigen der Fortpflanzung des Lichtes vergleichbar ist, lässt sich indess wohl denken, dass die Einzelentladungen so schnell sich folgen können, dass unsere Beobachtungen nicht ausreichen, dieselben zu trennen; vielleicht auch vollzieht sich der Entladungsprocess in einem Gase, wenn er überhaupt eintritt, rascher als die Strömung im Metall, sodass die Schwankungen der Stromintensität, die in der Nähe der Electroden noch bemerkbar wären, in einiger Entfernung davon unmerklich werden.¹⁾

Aachen, den 3. April 1884.

II. *Beiträge zu den Untersuchungen über Entstehung thermoelectrischer Ströme in einem aus derselben Substanz bestehenden, conti- nuirlichen Leiter; von Rudolph Overbeck.*

(Hierzu Taf. V Fig. 1—10.)

I. Einleitung.

Aus allen Beobachtungen über thermoelectrische Erscheinungen, welche sich den Entdeckungen Seebeck's angeschlossen, ging hervor, dass zur Erzeugung eines Thermostromes stets die Gegenwart zweier in ihrer physikalischen Beschaffenheit irgendwie verschiedener Leiter erforderlich sei.

Diesem Resultate widersprachen keineswegs die ebenso von Seebeck zuerst beobachteten Ströme in Ringen aus Wismuth oder Antimon, die in einem Guss aus derselben Metallmasse verfertigt waren²⁾, denn diese erhalten beim Guss vermöge ihrer krystallinischen Structur an Spannung und Härte so verschiedene Theile, dass die Erwärmung an irgend einer Stelle einen Strom liefern kann.

1) Wenn ich in vorliegender Abhandlung manche Punkte mit ausserordentlicher Kürze behandelt und auch die vorhandene Literatur nur in geringem Maasse berücksichtigt habe, so geschah dies deshalb, weil ich beabsichtige, später dasselbe Thema nochmals ausführlicher zu bearbeiten, indess erst dann, wenn durch weitere Untersuchungen die Zuverlässigkeit der erhaltenen Resultate in jeder Weise völlig erwiesen ist.

2) Seebeck, *Abh. d. Berl. Acad.* aus den Jahren 1822 u. 23. p. 336.