9. *Magnetisches Verhalten electrischer Entladungen in Luft von normalem Drucke; von Julius Precht.*

1. Das magnetische Verhalten electrischer Entladungen in *verdünnten* Gasen entspricht in allen wesentlichen Zügen den electrodynamischen Gesetzen, wie durch eine grosse Zahl von Untersuchungen erwiesen ist. Neuere Arbeiten machen es wahrscheinlich, dass auch die Kathodenstrahlen in dieser Beziehung keine Ausnahme bilden; sie verhalten sich im Magnetfelde wie negativ electrisirte Theilchen unter der Einwirkung der electrodynamischen Kräfte des Feldes. Alle Versuche, magnetische Ablenkung auch bei den unter *normalem Luftdrucke* auftretenden Entladungsformen zu erhalten, sind bisher gescheitert.¹⁾ Hr. Lehmann²⁾ fand die magnetische Ablenkung des Büschel- und Glimmlichtes noch eben merklich bei einem Drucke von 20 mm Hg. „Sie nimmt rasch ab mit zunehmender Gasdichte und ist bei gewöhnlichem Drucke, sowie bei Funkenentladung verschwindend klein.“

Im Folgenden werden die Bedingungen angegeben, unter denen Funken-, Büschel- und Glimmentladungen der gewöhnlichen Formen in Luft von normalem Drucke magnetisch ablenkbar sind. Der Sinn der Ablenkung ist auch in diesen Fällen in vollkommener Uebereinstimmung mit den electrodynamischen Gesetzen, sodass damit die Gleichartigkeit des magnetischen Verhaltens der Gasentladungen für alle bisher untersuchten Drucke erwiesen ist. Bei normalem Luftdrucke erfolgt die abgelenkte Entladung im allgemeinen *unter geänderten Spannungsdifferenzen der Electroden* bei nahezu gleicher

1) Ich sehe dabei ab von der besonderen Form verlangsamer Funkenentladung grosser Leydener Batterien von ca. $\frac{1}{4}$ Sec. Dauer, die kürzlich Hr. M. Toepler untersucht hat (Wied. Ann. 63. p. 109. 1897) und von der er in einer Anmerkung berichtet, dass „ihre Funkenbahn in starken magnetischen Feldern wie ein biegsames, von der Anode zur Kathode durchflossenes Leiterstück abgelenkt wird“.

2) O. Lehmann, Wied. Ann. 22. p. 323. 1884.

Stromstärke, auch wenn die Entladungsform nach der Ablenkung die gleiche geblieben ist. Durch geeignete Wahl der Versuchsbedingungen kann die durch Magnetisiren bewirkte Aenderung des Entladungspotentials ausserordentlich grosse Beträge erreichen; eine gegebene Entladungsform lässt sich dabei in eine beliebige andere überführen. Hierin besteht ein wesentlicher Unterschied gegen das magnetische Verhalten der Entladung in verdünnten Gasen. Während nämlich nach Versuchen von J. J. Thomson¹⁾ die Entladung senkrecht zu den Kraftlinien des Feldes erschwert, parallel zu den Kraftlinien erleichtert wird, kann hier das Potential bei äquatorealer Lage der Entladungsstrecke einmal wachsen, einmal abnehmen. Was eintritt, hängt von der Form der Electroden und der zwischen ihnen bestehenden Art der Entladung ab. Der Widerstand der ganzen Entladungsstrecke kann also bei gleicher Orientirung gegen das Magnetfeld je nach den Entladungsbedingungen grösser oder kleiner werden.

In *verdünnten* Gasen sind Potentialänderungen im Magnetfelde ausser in dem angeführten Falle von den Herren Elster und Geitel und von Hrn. Warburg beobachtet. Erstere fanden eine hemmende Wirkung des Magnetfeldes auf die Entladung aus glühenden Drähten²⁾ und auf die Entladung negativer Electricität aus einer belichteten Fläche.³⁾ Hr. Warburg⁴⁾ schloss bei seinen Versuchen über Verzögerung bei der Funkenentladung aus der Aenderung der Potentialdifferenz der Electroden im Magnetfelde auf das Vorhandensein eines schwachen, der Funkenentladung voraufgehenden Stromes im Gasraume.

2. Die bei den hier zu beschreibenden Erscheinungen auftretenden Aenderungen des Potentials und der Entladungsform durch Magnetisiren sind einer widerspruchsfreien Deutung zugänglich, wenn man berücksichtigt, dass auch bei jeder Entladung unter normalem Drucke, ebenso wie im Vacuum, sich klar positive und negative Theile der Entladung unterscheiden

1) J. J. Thomson, *Recent Researches in Electricity and Magnetism*. p. 105 u. 131. Oxford 1893.

2) Elster und Geitel, *Wied. Ann.* **38**. p. 27. 1889.

3) Dieselben, *l. c.* **41**. p. 166. 1890.

4) Warburg, *Wied. Ann.* **62**. p. 385. 1897.

lassen, auf welche man daher den Einfluss der Magnetisirung zweckmässig getrennt betrachtet. Für den Fall der Glimmentladung zwischen symmetrischen Electroden (mit Seidenzeug überzogenen Holzscheiben) hat Hr. Lehmann¹⁾ das Vorhandensein beider Theile durch einen hübschen Versuch erwiesen: ein zwischen den Electroden befindlicher Körper entwirft einen electricen Schatten auf beiden Electroden. Hr. Lehmann sucht den Versuch durch die Annahme zu erklären, dass die von beiden leuchtenden Flächen ausgehenden electricen Theilchen sich ungehindert aneinander vorbei bewegen, ähnlich wie die Ionen auf ihrer Wanderung bei der Electrolyse.

Fig. 1.

Ein analoger Versuch ist auch für den Fall der Büschelentladung ausführbar. Bringt man nämlich die Electrodenkugeln einer Influenzmaschine zur Berührung mit der Schichtseite einer horizontal liegenden photographischen Platte, so erhält man an der positiven Electrode die bekannten Büschel, die sich bei gesteigerter Entladungsintensität bis zur negativen Electrode ausdehnen. Gleichzeitig ist aber auch eine electriche Bewegung von der negativen Electrode aus vorhanden, wie man an dem Schatten erkennt, den kleine auf der Platte angebrachte Körper entwerfen. Fig. 1 giebt ein Bild der Er-

1) Lehmann, Wied. Ann. **44**. p. 642. 1891.

scheinung bei 2 Minuten Expositionszeit. Während man aus den Schatten innerhalb des positiven Büschels deutlich die gekrümmten Bahnen der Büscheläste erkennt, zeigen sich ausserhalb und am Rande des positiven Büschels geradlinig begrenzte Schatten der negativen Bewegung, die in entgegengesetzter Richtung scheinbar ganz unabhängig verläuft.¹⁾

3. Ist hiermit das Bestehen positiver und negativer Theile der Entladung oder, wie man auf Grund der Schattenversuche sagen kann, das Vorhandensein positiver und negativer Bewegungen bei Verwendung *gleicher* Electroden an beiden Polen erwiesen, so ist weiterhin zu bedenken, dass sich durch Zuspitzen und Abstumpfen der Electroden die Entladungsintensität an den Electroden variiren lässt. Nach Hrn. Lehmann's Versuchen²⁾ wirkt Abstumpfung der Electrode wie Verminderung der Stromintensität³⁾ an derselben. Der positive oder negative Theil der Entladung kann demnach durch Zuspitzen der betreffenden Electrode zum Ueberwiegen gebracht werden. Mit Rücksicht auf die Potentialänderungen beim Magnetisiren ist der folgende einfache Versuch besonders instructiv. Man lasse die Entladung der Influenzmaschine zwischen einer feinen Spitze als negativem Pol und einem abgerundeten Draht von 4 mm Stärke als positivem Pol übergehen und wähle den Abstand so, dass Glimmentladung entsteht. Es zeigt sich dann ein kleiner leuchtender Büschel an der negativen Spitze und der positive Pol ist auf der Vorderfläche mit Glimmlicht bedeckt. Berührt man die negative Spitze mit einem halbkugelig abgerundeten Messingstab von 1 cm Stärke, so verschwindet die Glimmentladung, es entsteht positive Büschelentladung und ein parallelgeschaltetes Electrometer zeigt eine starke Abnahme des Potentials. Berührt man sie mit einem Stabe von 2 cm Dicke, so geht die Glimmentladung in Funkenentladung über

1) Dass diese Schatten nicht *Lichtschatten* sind, ergiebt sich aus der Anstauung der leuchtenden Materie vor den schattenwerfenden Körpern.

2) Lehmann, l. c. 22. p. 305. 1884.

3) Ueber den Begriff der „localen Stromintensität“ vgl. Lehmann, l. c. p. 311. Die mit dem Galvanometer gemessene mittlere Stromstärke der Entladung bleibt beim Abstumpfen oder Zuschärfen der Electroden ungeändert. Würde die Gasstrecke wie eine metallische Leitung durchflossen, so entspräche der Stromintensität an der Electrode die Stromdichte.

und das Potential sinkt noch tiefer. Abstumpfung der Kathode führt demnach bei gleichem Electrodenabstande die eine Entladungsform in die andere über, unter gleichzeitigem Sinken der Spannung. Was hier durch Abstumpfen der Kathode erreicht wurde, lässt sich bei unveränderter Form der Electroden und gleichbleibendem Abstände auch durch das Magnetfeld erzielen, und zwar kann hier, wie schon erwähnt, das Potential sowohl wachsen als abnehmen. Immer aber findet sich bestätigt, dass bei im übrigen gleichen Bedingungen der Funkenentladung die kleinste, der Büschelentladung eine grössere und der Glimmentladung die grösste Potentialdifferenz der Electroden entspricht.

Ich wende mich nunmehr zur Beschreibung der magnetischen Versuche.

4. *Experimentelle Hilfsmittel.* Die überwiegende Mehrzahl der Versuche ist mit einer durch Heissluftmotor angetriebenen

Fig. 2.

Vossmaschine von 26 cm Scheibendurchmesser angestellt, die eine mit d'Arsonvalinstrument gemessene mittlere Entladungsstromstärke von $5,9 \cdot 10^{-6}$ Amp. ergab. (Die Leydener Flaschen waren fortgenommen.) Die benutzten Magnetfelder, die von einem Ruhmkorff'schen Electromagneten mit horizontalen Eisenkernen und Kegelpolen erzeugt wurden, variirten zwischen 6500 und 7600 absoluten Einheiten. Die meisten Versuche sind mit einem Abstände der Kegelpole von 10 mm bei 15 Amp. Stromstärke des Erregerstromes durchgeführt, was einer Feldstärke von 7017 Einheiten entspricht, gemessen auf der kürzesten Kraftlinie des Feldes mit dem magnetischen Manometer.¹⁾ Als Electroden dienten Messingdrähte verschiedener Formen und Stärke, die in geeigneten, mit den Maschinenpolen verbundenen Klemmen an einem Hartgummistabe verschiebbar waren und 32 mm freie Länge hatten. Die Entladungspotentiale wurden mit einem Braun'schen Electrometer für 10000 Volt nominelle Spannung gemessen, dessen Angaben von

1) G. Quincke, Wied. Ann. **24**. p. 347. 1885.

Hrn. Geh. Rath Quincke bei früherer Gelegenheit durch Vergleichung mit dem Thomson'schen Schraubenelectrometer berichtigt waren.

5. Bringt man Messingelectroden der in Fig. 2 in natürlicher Grösse abgebildeten Form in *äquatrealer* Lage in ein Magnetfeld, so erhält man in Uebereinstimmung mit dem in § 3 Gesagten wesentlich verschiedene Erscheinungen, je nachdem die Spitze oder der halbkugelig abgerundete Draht Kathode ist. Ich betrachte daher zunächst den Fall, dass

die Spitze Anode, der abgerundete Draht Kathode

ist. Beide Electroden seien isolirt, einerseits mit der Influenzmaschine, andererseits mit dem durch Paraffinklötze isolirten Braun'schen Electrometer verbunden. Der Magnet ist in allen Versuchen zur Erde abgeleitet.

Funkenentladung. Bei 8 mm Electrodenabstand erhält man gewöhnliche Funkenentladung, entsprechend einer Potentialdifferenz der Electroden von 8670 Volt.¹⁾ Durch Erregung des Magnetfeldes erfährt die Funkenbahn eine Ablenkung, die sich besonders auf den Theil des Funkens von der Mitte bis zur Kathode erstreckt. Man erkennt sie am leichtesten an der Verschiebung des negativen Funkenendes auf der Kathode nach oben oder unten, je nach dem Sinn der Magnetisirung. Die Ablenkung ist hier wie in allen späteren Versuchen durchaus in Uebereinstimmung mit den electrodynamischen Gesetzen, was ich daher weiterhin nicht wieder besonders hervorhebe. Bei der Erregung des Magnetfeldes werden die Funken wesentlich *heller*, das Electrometer stellt sich auf 7520 Volt ein. Demnach ist die P.-D. durch Magnetisiren um 1150 Volt heruntergegangen. Bemerkenswerth ist in diesen Versuchen die völlige Unveränderlichkeit der Funken an der spitzen Anode. In der That ändert sich an der Ablenkung gar nichts, wenn man die Electroden in der Richtung der Entladung im Felde verschiebt, sodass einmal die Spitze der Anode, einmal das Ende der Kathode die

1) Bei hinreichend schneller Rotation der Maschine ist die Einstellung des Electrometers vollkommen stabil. Alle mitgetheilten Zahlen sind Mittel aus wenigstens sechs Beobachtungen.

kürzeste Kraftlinie des Magnetfeldes berührt. Abstand der Magnetpole 10 mm. Feldstärke 7017 absolute Einheiten.

6. **Büschelentladung.** Erweitert man den Electrodenabstand auf 9 mm, so tritt statt der Funken- positive Büschelentladung auf. Durch Magnetisiren werden aus den Büscheln wieder Funken, unter starkem Sinken der Spannung wie folgende Beispiele belegen.

Electrodenabstand	Büschelentladung	Funken	Abnahme der P.-D.
9 mm	11 650 Volt	7800 Volt	3850 Volt
10 „	12 350 „	8160 „	4190 „
10 „	12 350 „	7900 „	4450 „

Die letzte Angabe bezieht sich auf den Fall, dass die Kathode die kürzeste Kraftlinie des Feldes berührt. Dann ist der Einfluss des Magnetfeldes am grössten.

7. Wird der Electrodenabstand soweit vergrössert, dass beim Magnetisiren eben keine Funken mehr auftreten (18 mm, P.-D. = 13 000 Volt), so beobachtet man eine deutliche Ablenkung der positiven Büschelentladung nach oben oder unten. Der ganze im normalen Zustand zugespitzt eiförmige Büschel wird beim Magnetisiren zu einer leuchtenden Fläche in der äquatorealen Ebene zusammengedrängt, die je nach dem Sinn der Magnetisirung oberhalb oder unterhalb der kürzesten Verbindungslinie der Electroden gelegen ist. Die Erscheinung hat viel Aehnlichkeit mit der Ablenkung der Aureole von Inductionsfunken bei der gleichen Electrodenstellung, nur dass hier die Funken fehlen. Eine Aenderung der Potentialdifferenz wurde bei dieser Ablenkung nicht beobachtet; auch erleidet das Ende des Büschels auf der Kathodenfläche keine Verschiebung.

8. Die in §§ 6 und 7 beschriebenen Erscheinungen sind Grenzfälle. Zwischen ihnen giebt es Uebergänge, die durch die Gestalt der Electroden bedingt sind.

a) Ersetzt man beide Electroden durch Drähte von 4 mm Stärke, wobei die Anode zu einem feinen Kegel von 9 mm Seite angeschliffen ist, so gehen die bei 10,5 mm Abstand auftretenden Büschel (12 920 Volt) durch Magnetisiren bisweilen in Funken über (10 120 Volt), bisweilen entsteht aus

dem Büschel ein nach oben oder unten abgelenkter leuchtender Faden, dessen Ende sich auf der Kathode verschiebt, dessen Auftreten aber keine Potentialänderung zur Folge hat.

b) Nimmt man dieselbe Spitze als Anode, aber wieder den abgerundeten Draht von 2,5 mm Stärke als Kathode, so erhält man bei gleichem Abstand durch Magnetisiren stets den abgelenkten leuchtenden Faden, mit festen Enden, ohne Potentialänderung.

c) Mit dem abgerundeten Draht von 4 mm Stärke als Kathode, aber der früheren Anodenspitze (10,5 mm Abstand), hat man ohne Erregung des Magnetfeldes den leuchtenden Faden (13 000 Volt), der beim Magnetisiren in Funken übergeht (10 000 Volt).

9. Die bei den bisher geschilderten Erscheinungen auftretenden starken Aenderungen der Potentialdifferenz der Electroden werden verständlich durch die Erwägung, dass bei positiver Spitze, negativem abgerundeten Draht, dem positiven Theile der Entladung ein Uebergewicht über den negativen gegeben wird, die locale Stromintensität an der Anode ist grösser. Will man einen bei den Kathodenstrahlen üblichen Ausdruck auch hier für zulässig halten, so lässt sich sagen, dass die Steifheit der einzelnen Stromfäden der positiven Entladung durch das Zuspitzen der Electrode wächst. Demnach müssen diese Theile im Magnetfelde weniger ablenkbar sein als der negative Theil der Entladung an der stumpfen Kathode. Daher zeigt sich der stärkste Einfluss der Magnetisirung, wenn die Kathode im Punkt der maximalen Feldstärke ist. Die grösste überhaupt mögliche Ablenkung des negativen Theiles der Entladung wäre die, dass sie auf einen sehr kleinen Bereich an der Kathodenoberfläche beschränkt wird. Dann ist die ganze Gasstrecke nur noch vom positiven Theile der Entladung erfüllt. Diesem entspricht aber, wie sich aus dem Späteren ergibt, das kleinste unter den gegebenen Bedingungen überhaupt mögliche Entladungspotential.

Die Aenderung der Potentialdifferenz ist nicht immer eine notwendige Folge der magnetischen Ablenkung. Nur wenn diese bestimmte Beträge überschreitet, wird das Entladungspotential geändert. So kann bei grosser Entfernung der Kathode vom Punkte stärkster magnetischer Kraft die Aenderung

des negativen Theiles der Entladung unbemerkt bleiben, der positive Büschel sichtbar abgelenkt werden, ohne dass eine Aenderung des Entladungspotentials eintritt, wie der angegebene Versuch (§ 7) zeigt.

10. Ausser der Funken- und Büschelentladung ist bei den benutzten Electroden, Fig. 2, Glimmentladung möglich. Bestimmte Erzeugungsbedingungen lassen sich für dieselbe nicht angeben; sie ist daher bisweilen nur mit Schwierigkeiten zu erhalten. (Vergrösserung des Electrodenabstandes ergibt stets Büschel, Ableiten der einen Electrode zur Erde ist unmöglich, weil dann Funken zum Magneten übergehen.) Meist tritt die Glimmentladung bei kleinem Electrodenabstand auf, 5 bis 10 mm, und besteht dann aus einem kleinen leuchtenden Punkte an der positiven Spitze; der ganze übrige Entladungsraum ist dunkel. Sie ist selbst in starken Magnetfeldern völlig unveränderlich; auch bei Beobachtung mit dem Mikroskop lässt sich keine Veränderung des leuchtenden Punktes durch Magnetisiren wahrnehmen. Auch das Electrodenpotential bleibt ungeändert.

11. Hier ist der Ort zu erwähnen, dass Aenderungen des Potentials, die weniger als 50 Volt betragen, mit dem benutzten Electrometer unbemerkt bleiben mussten. Dadurch fällt von selbst der Einfluss einer in den Versuchen liegenden Fehlerquelle weg, die darin besteht, dass beim Magnetisiren der Abstand der Magnetcpole kleiner wird und infolge dessen die Potentialdifferenz der Electroden abnimmt. Der grösste hierdurch mögliche Fehler betrug 22 Volt, liegt also innerhalb der erreichbaren Genauigkeit der Potentialmessungen.

12. Mannichfaltigere und wesentlich andere Erscheinungen ergeben sich, wenn

der abgerundete Draht Anode, die Spitze Kathode ist.

Funkenentladung: Abstand der Electroden rund 8 mm. Die Funkenstrecke steht äquatoreal und symmetrisch zwischen Kegelpolen. In einem Felde von 7000 Einheiten werden die Funken mit Leichtigkeit je nach der Feldrichtung nach oben oder unten abgelenkt und zwar bezieht sich die Ablenkung besonders auf den Theil von der Mitte des Funkens bis zur Anode. Schiebt man die Kathode bis in die kürzeste

Kraftlinie des Feldes, so werden die Funken auf ihrer ganzen Länge stark abgelenkt. Dieser Versuch zeigt am einfachsten und leichtesten die Ablenkbarkeit electrischer Funken im Magnetfelde. Die Potentialdifferenz der Electroden wird beim Magnetisiren *grösser*, wie folgende Messungen zeigen:

Normales Funkenpotential	bei Erregung des Magneten	Zunahme
6250 Volt	6450 Volt	200 Volt
6760 „	6950 „	190 „
6830 „	7020 „	190 „

13. **Büschelentladung:** Abstand der Electroden 13 mm. Als Electroden dienten hier und im Folgenden Messingdrähte von 4 mm Stärke (vgl. § 8 a). Die Ablenkung des positiven Büschels wird am deutlichsten sichtbar, wenn die Anode mit ihrem Endquerschnitt die kürzeste Kraftlinie des Magnetfeldes berührt. Die einzelnen Büschelfäden werden bei der Ablenkung zusammengedrängt. Ihre an der Anode aufsitzende gemeinsame Basis, der Stiel des Büschels, wird beim Magnetisiren bisweilen zu einer kleinen Dreiecksfläche, deren Ebene senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien steht. Die Potentialdifferenz der Electroden *wächst* bei der Ablenkung, und zwar um so mehr, je stärker das Magnetfeld ist, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

Feldstärke	Normales Entladungspotential	bei Erregung des Magneten
C.G.S.	Volt	Volt
6522	11 000	11 190
6857	11 000	11 200
7017	11 000	11 270
7078	11 000	11 310
7183	11 000	11 460
7471	11 000	11 630
7615	11 000	11 650

Dabei muss ausdrücklich bemerkt werden, dass in allen Fällen die nicht abgelenkte wie die abgelenkte Entladung den Charakter der positiven Büschelentladung hatte, denn es giebt

auch hier Erscheinungen, bei denen durch das Magnetisiren die Entladungsform geändert wird.

14. *Glimmentladung.* Eine bestehende Büschelentladung geht bei Vergrößerung des Electrodenabstandes in Glimmentladung über. Bei dieser zeigt sich die Anode auf ihrer Vorderfläche mit einer schwachen Lichthülle überzogen und an der negativen Spitze sieht man einen sehr kleinen leuchtenden Büschel; der übrige Entladungsraum ist dunkel. Bringt man die Anode in die kürzeste Kraftlinie des Magnetfeldes, so wird die Glimmlightschicht infolge des electrostatischen Einflusses der Magnetpole zu einem elliptischen Fleck, dessen grosse Axe zu den Magnetkraftlinien senkrecht steht. Bei Erregung des Magneten verschiebt sich die centrale hellste Stelle des Fleckes auf der Anode nach oben oder unten. Die Grösse der Verschiebung kann leicht 2 mm betragen. Eine Aenderung des Electrodenpotentials wurde nicht beobachtet.

Der kleine negative Büschel an der Spitze war im Magnetfelde unter den beschriebenen Bedingungen nicht merklich zu verschieben. Im Mikroskop bei 30facher Vergrößerung, bei der die aus den Vacuumröhren so bekannten drei Kathodenschichten in voller Deutlichkeit zu unterscheiden sind¹⁾, liess sich keine Ablenkung wahrnehmen.

Das Entstehen der Glimmentladung ist keineswegs allein durch den Abstand der Electroden bedingt. Sie kann auch bei kleinem Abstände auftreten, bei dem es bisweilen schwer ist, positive Büschel aus der stumpfen Anode zu erhalten.²⁾ Die Beschaffenheit der Electrodenoberfläche spielt bei der Entstehung der einen oder anderen Entladungsform eine meist nicht angebbare Rolle. Ist aber diese oder jene Form einmal vorhanden, so zeigt sie das angegebene magnetische Verhalten.

15. *Funken- und Büschelentladung können durch Magnetisiren in Glimmentladung übergeführt werden, unter bedeutendem Anwachsen der Electrodenspannung.* Die Erscheinung ist qualitativ am leichtesten zu beobachten, wenn man parallel zur

1) Vgl. auch Max Toepler, Geschichtete Dauerentladung in freier Luft. Abhdlgn. der naturw. Ges. Isis, Dresden 1898. p. 5.

2) Dasselbe Resultat bei O. Lehmann, Wied. Ann. 22. p. 320. 1884.

Entladungsstrecke ein vom Einfluss des Magnetfeldes freies Funkenmikrometer einschaltet. Das benutzte Mikrometer hatte Zinkkugeln von 5 mm Durchmesser. Man entfernt sie soweit voneinander, bis die Funken eben aufhören. Dann entsteht zwischen stumpfer Anode und spitzer Kathode (7 mm Abstand) Büschelentladung. Beim Magnetisiren setzt diese in abgelenkte Glimmentladung um und gleichzeitig treten im Mikrometer wieder Funken auf. Die Anode berührt zweckmässig die kürzeste Kraftlinie des Magnetfeldes. Die Grösse der Potentialänderung ergibt sich aus den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Messungen mit dem Braun'schen Electrometer. Stärke des Magnetfeldes 7017 Einheiten.

Electroden aus	Abstand	Büschel	Glimmen	Aendg. d. Pot.
Zink	13,0 mm	12 360 Volt	13 100 Volt	+ 740 Volt
Aluminium	13,0 „	11 900 „	12 600 „	+ 700 „
Messing	16,0 „	12 300 „	12 630 „	+ 330 „
Messing	16,5 „	12 920 „	13 220 „	+ 300 „

Nebenbei kann bemerkt werden, dass hier wie in vielen anderen Versuchen ein specifischer Einfluss des Electrodenmetalles nicht zu constatiren ist. Die Aenderungen sind wesentlich auf die kleinen Verschiedenheiten der Spitzen etc. zurückzuführen. Untersucht wurden Au, Pt, Cu, Al, Zn, Messing.¹⁾

Sehr viel beträchtlicher ist die Aenderung des Electrodenpotentials, wenn die *Funkenentladung* durch Magnetisiren zu Glimmentladung wird. Auch hier muss sich die Anode an der stärksten Stelle des Magnetfeldes befinden. Ich gebe zwei Beispiele für Messingelectroden, Spitze als Kathode wie oben.

Abstand der Electroden	Funken	Glimmen	Aendg. d. Pot.
7,3 mm	5600 Volt	8020 Volt	+ 2420 Volt
8,0 „	6250 „	8800 „	+ 2550 „

16. Die Ursache des in den zuletzt beschriebenen Fällen auftretenden, zum Theil ausserordentlich beträchtlichen An-

1) Vgl. auch Precht, Wied. Ann. 49. p. 172. 1893.

wachsens des Entladungspotentials sehe ich in der unter den gegebenen Bedingungen sehr starken Ablenkbarkeit des positiven Lichtes an der stumpfen Anode (vgl. § 9). Denn die magnetische Einwirkung ist in allen diesen Versuchen stets am stärksten und oft überhaupt nur dann vorhanden, wenn der Ausgangspunkt des positiven Lichtes mit dem Orte der maximalen Feldintensität zusammenfällt.

Die grösste Ablenkung, die das positive Licht überhaupt erfahren kann, ist die, dass es auf ein sehr kleines Flächenstück der Anode selbst zusammengedrängt wird. Dann sind in der Gasstrecke nur noch negativ geladene, von der Kathode ausgehende Theilchen vorhanden, man hat Glimmentladung, der bei im übrigen gleichen Bedingungen stets das höhere Entladungspotential entspricht. Sehr hübsch illustriert das der folgende Versuch: man führt eine Funkenentladung durch Magnetisiren in Glimmentladung über und schwächt dann das Magnetfeld ganz allmählich durch Einschalten von Widerstand in den Kreis des Erregerstromes. Die Glimmentladung geht unter Sinken der Spannung erst in positive Büschelentladung über und bei weiterer Schwächung des Magneten unter erneuter Abnahme des Potentials in Funkenentladung.

17. Das Anwachsen des Entladungspotentials bei der Ablenkung von Funken und Büscheln, wenn keine Aenderung der Entladungsform dabei eintritt (§§ 12 und 13) ist durch die von Hrn. J. J. Thomson¹⁾ für die Ablenkung der Entladung in Vacuumröhren gegebene Auffassung verständlich, nach welcher die in der Linie der Entladung zersetzten Moleküle diese Linie soviel besser leitend machen, als die Umgebung, dass die Entladung auch nach der magnetischen Verschiebung durch diese Theilchen hindurchgeht. Indessen versagt diese Erklärung, wenn durch das Magnetisiren die Entladungsform geändert wird; denn dabei kann nach den mitgetheilten Versuchen die Potentialdifferenz der Electroden unter Umständen stark anwachsen, unter Umständen stark abnehmen. Als ein wesentliches Ergebniss der bisherigen Versuche betrachte ich daher die angedeutete Anschauung: bei

1) J. J. Thomson, Recent Researches in Electricity and Magnetism. p. 106 u. 132. Oxford 1893.

einer normalen Entladung ist positive und negative Bewegung in entgegengesetzter Richtung vorhanden; man hat ein bestimmtes Entladungspotential. Begünstigt man die positive Bewegung und bringt sie zum Beispiel durch Einwirkung des Magnetismus auf die negative Bewegung zu bedeutendem Ueberwiegen, so nimmt der Werth des Entladungspotentials ab, begünstigt man die negative Bewegung durch starke Ablenkung der positiven, so steigt das Potential.

18. Ausser durch Magnetisiren lässt sich eine Aenderung der Entladungsform bei gleichbleibendem Abstand und gleicher Gestalt der Electroden unter Umständen durch einen warmen Luftstrom, bisweilen durch einfaches Anblasen der Electroden erzielen.¹⁾ Dabei kann man die eine Electrode über ein Galvanometer zur Erde ableiten. Die gemessene Stromstärke zeigt keine oder nur sehr geringe Schwankungen bei Aenderung der Entladungsform, während bei den benutzten Electroden die Potentialdifferenz stark im oben angegebenen Sinne variirt. Die Aenderung des Potentials lässt sich demnach auch als eine Aenderung des gesammten Widerstandes der Entladungsstrecke auffassen. Man kann dann den Einfluss des Magnetfeldes in der üblichen Ausdrucksweise so charakterisiren, dass man sagt, der Magnetismus *befördert* die Entladung bei spitzer Anode, stumpfer Kathode, er *hemmt* sie bei stumpfer Anode, spitzer Kathode.

19. Es scheint nicht uninteressant, den Einfluss des *ultravioletten Lichtes* auf die electrische Entladung hier kurz zu betrachten. Nach den bekannten Versuchen²⁾ kann auch das Licht auf die Funkenentladung je nach den Versuchsbedingungen bisweilen befördernd, bisweilen hemmend wirken. Dass der Einfluss des Lichtes in beiden Fällen der gleiche ist, nämlich in einer Erleichterung des Ausströmens der negativen Electricität besteht, ist wohl kaum zweifelhaft. Ist die Er giebigkeit der Electricitätsquelle nicht gross, dem gegenüber aber der Einfluss der Belichtung infolge der gewählten Versuchsanordnung sehr bedeutend, wie bei den Herren Elster

1) Vgl. O. Lehmann, Wied. Ann. **44**. p. 642. 1891.

2) Hertz, Wied. Ann. **31**. p. 983. 1887; E. Wiedemann und Ebert, l. c. **33**. p. 241; **35**. p. 209, 1888; Elster und Geitel, l. c. **39**. p. 332. 1890.

und Geitel, so wird beim Belichten die ganze Entladungsstrecke von negativen Theilchen erfüllt, die positive Entladung wird zurückgedrängt, es entsteht unter Potentialsteigerung Glimmentladung, mögen vorher Funken oder positive Büschel vorhanden gewesen sein. Ausser der Ergiebigkeit der Quelle ist zweifellos für den Erfolg dieser wie der hier mitgetheilten Versuche auch die Aenderungsgeschwindigkeit des Electrodenpotentials¹⁾ von Bedeutung.

20. *Magnetische Ablenkung electrischer Schatten.* Ist die Anschauung richtig, dass bei starker Ablenkung des positiven Lichtes und dadurch erzeugter Glimmentladung an der Anode eine electrische Doppelschicht vorhanden ist, der ganze übrige Entladungsraum aber von negativ geladenen Theilchen erfüllt ist, die sich von der Kathode zur Anode bewegen, so müssen diese Theilchen magnetisch ablenkbar sein. Am leichtesten wird sich die Ablenkung an dem electrischen Schatten wahrnehmen lassen, den ein dicht vor der Kathode angebrachter Körper auf der mit Glimmlicht bedeckten, relativ weit entfernten Anode entwirft. Zwischen den 9 mm voneinander entfernten Kegelpolen des Magneten wurde horizontal in der Richtung der kürzesten Magnetkraftlinie ein Stück reinen Silberdrahtes von 0,5 mm Stärke befestigt. Senkrecht dazu war wie gewöhnlich die Entladungsstrecke, und zwar auf der einen Seite des Silberdrahtes in 2 mm Abstand die als Kathode dienende Messingspitze, auf der anderen Seite in 9 mm Abstand eine schwach convexe, mit Seidenzeug bedeckte Platte (Uniformknopf) als Anode. Das Glimmlicht auf der Anode hat die Form einer flachen Ellipse, deren grosse Axe vertical ist. Diese Form ist auch hier (vgl. § 14) durch die Lage der Magnetpole bedingt, denn zieht man einen der Pole weg, so erweitert sich das Glimmlicht halbkreisförmig nach der betreffenden Seite. In dem elliptischen Glimmlichtfleck erkennt man im Dunkeln den electrischen Schatten des Silberdrahtes, der seine bekannte Form (in der Mitte schmäler als an den Seiten) beim Magnetisiren ändert, und zwar wird er je nach der Feldrichtung noch oben oder unten verschoben und breiter,

1) Jaumann, Sitzungsber. d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Wien (II a), 97, 1888; Swyngedauw, Compt. rend. 11. Mai 1896.

wie es sein muss, wenn die Bahnen der von der Spitze ausgehenden Theilchen wie in die Kathode fliessende Ströme abgelenkt werden. Die Formveränderungen des Schattens zeigen, dass die Theilchen auch in nächster Nähe der Kathode den magnetischen Feldkräften unterliegen. In Uebereinstimmung damit verschiebt sich die ganze Glimmlichtellipse auf der Anode nach oben oder unten. Die Verschiebung beträgt mehrere Millimeter. Messungen der Ablenkung im homogenen Felde waren wegen der Schwierigkeiten der Isolation bisher nicht ausführbar.

21. Mit Erfolg ist dagegen versucht worden, die den Schatten erzeugende negative Entladung im Luftraum selbst direct sichtbar zu machen. Zu diesem Zwecke wurde unabhängig vom Magneten der eben benutzten Anode eine feine Stahlnadel in 13 mm Abstand gegenübergestellt und 9 mm von dieser Kathode entfernt ein horizontaler Silberdraht von 0,5 mm Durchmesser als schattengebender Körper auf einem Flintglasstab senkrecht zur Verbindungslinie der Electroden isolirt befestigt. Kathode und Anode wurden mit den Polen einer 20 plattigen Toeplermaschine verbunden, die Anode zur Erde abgeleitet.

Fig. 3.

Nach längerer Schonung der Augen sieht man den ganzen Raum zwischen Kathode und Anode von einem matten, ruhigen Lichte erfüllt, das nur hinter dem Silberdraht eine dem Schatten desselben entsprechende Lücke zeigt, die genau dem auf der Anode sehr deutlich sichtbaren, gewöhnlich sogenannten electrischen Schatten entspricht. Der ganze Schattenraum lässt sich noch besser mit einem schwach vergrössernden Mikroskop (30fache Vergr.) beobachten. Fig. 3 ist die Reproduction einer Photographie der Erscheinung in zweifacher natürlicher Grösse, die etwas schräg genommen ist, um gleichzeitig den Schatten auf dem Seidenzeug der Anode sichtbar zu machen. (Die Kathode ist im Bilde weggelassen.) Auf der Photographie, wie bei directer Beobachtung mit dem Mikroskop erkennt man deutlich eine grössere Helligkeit am oberen und unteren Rande des Silberdrahtes, die offenbar von einer Anstauung der leuchtenden Materie an diesen Stellen herrührt.

Verbindet man den isolirten Silberdraht mit einem Electroskop, so zeigt dieses einen Ausschlag von *negativer* Electricität.

22. **Electrische Aetzfiguren.** Das kleine Flächenstück auf der Anode, auf das die positive Entladung beim Ueberführen der Büschel in Glimmen zusammengedrängt wird (§ 16), wird bei häufigem Wiederholen des Versuches durch Corrosion der Oberfläche dauernd sichtbar: es findet sich eine Vertiefung von einigen Zehntel Millimetern Breite und mehreren Millimetern Länge eingegraben, die dem Orte der Glimmentladung vollkommen entspricht. Die Vertiefung ist so stark, dass sie nur durch langes und intensives Putzen beseitigt werden kann.

Fig. 4.

Die zu Schattenversuchen benutzten, mit Seide bedeckten Anodenplatten (§§ 20 und 21) erfahren ebenfalls eine Veränderung ihrer Oberfläche. Erzeugt man einen Schatten für längere Zeit (bei der Toepler'schen Maschine genügen 3—5 Minuten, bei der kleinen Voss-Maschine sind 2 Stunden erforderlich), so erhält man auf

der Seide wie auf der Metallfläche ein dauerndes Bild des Schattens. Besonders interessant ist das Bild auf der metallischen Oberfläche. War diese vorher sorgfältig polirt, so zeigt sich die blanke Fläche nachher nur noch an den Stellen erhalten, die durch den Schatten vor electrischer Einwirkung von Seiten der Kathode geschützt waren. Alle Stellen, an denen Glimmlicht war, zeigen das Seidengewebe bis in die feinsten Einzelheiten in der metallischen Fläche vertieft abgebildet. Fig. 4 ist nach einer photographischen Aufnahme der Anodenplatte hergestellt. Dass die veränderten Stellen tiefer liegen als die Oberfläche, lässt sich z. B. beim Putzen erkennen: die stark veränderten Stellen verschwinden

zuletzt, oder auch unmittelbar unter dem Mikroskop. Die Ränder der geätzten Stellen werden beim Einschieben des Tubus zuerst scharf; man muss tiefer senken, um den matt angerauhten Grund der Aetzstelle scharf zu bekommen. Auf die Aehnlichkeit der Erscheinung mit den electrischen Hauchbildern braucht kaum hingewiesen zu werden; nur geht die hier vorliegende Veränderung der bestrahlten Oberfläche sehr viel weiter.

Ableiten der Anode zur Erde beeinflusst das Resultat nicht wesentlich. Verbinden des schattenwerfenden Körpers mit der strahlenden Kathode vergrößert den Schatten und damit die Aetzfigur bedeutend, in Uebereinstimmung mit den Resultaten, die aus den Versuchen von Holtz und Righi über das Verhalten electrischer Schatten bekannt sind.

Uebrigens darf nicht unerwähnt bleiben, dass ähnliche Figuren, nur ausserordentlich viel schwächer, erhalten werden können, wenn die Platte Kathode, die Spitze Anode ist.

Fig. 5.

23. **Entladungsstrecke axial.** Alle früheren Versuche über magnetische Ablenkbarkeit waren mit äquatorealer Entladungsstrecke angestellt. Lässt man die Entladung in axialer Richtung übergehen, indem man z. B. in die durchbohrten Magnetpole lange, durch Flintglascapillaren isolirte Silberdrähte einführt, so ist eine magnetische Ablenkung für alle diejenigen Theile der Entladung zu erwarten, die mit den Magnetkraftlinien von Null verschiedene Winkel bilden. Die angestellten Versuche blieben indessen aus verschiedenen, hier nicht interessirenden Gründen ohne Ergebniss.

Klare Resultate wurden erst bei Verwendung der in Fig. 5 abgebildeten Magnetpole erhalten. Auf die nach dem Einschrauben horizontalen ebenen Flächen der eisernen Halbcylinder wird eine photographische Platte gelegt. Die beiden Electroden, spitze Kathode und abgerundete Anode von 4 mm Dicke, werden auf die Schichtseite der Platte etwas gegeneinander geneigt aufgesetzt. Um die Isolation zu sichern, darf keine von beiden Electroden zur Erde abgeleitet sein und

ihr gegenseitiger Abstand muss kleiner sein als der dritte Theil der Länge der photographischen Platte in axialer Richtung gemessen. Man erhält zwischen den Electroden positive Büschelentladung der bekannten Form (vgl. Fig. 1), die bei Erregung des Magneten nicht sichtbar abgelenkt wird. Sehr bald ändert sich indessen, ganz unabhängig vom Vorhandensein des Magneten, der Charakter der Entladung in der Weise, dass der hellleuchtende Punkt an der spitzen Kathode, in Wirklichkeit ein kleiner negativer Büschel, das Metall verlässt und auf der Bromsilberschicht langsam gegen die Anode wandert. Die Strecke zwischen der Kathode und dem wandernden Punkt ist nahezu dunkel; der positive Büschel, der stets die Verbindung der Anode mit dem Punkte bildet, verkürzt sich mit dessen Fortschreiten mehr und mehr. Ist der Berührungspunkt der Anode auf der Platte erreicht, so ist die ganze Entladungsstrecke dunkel. Nur die von dem negativen Büschel auf der Platte hinterlassene Spur leuchtet mit sehr schwachem Licht. Betrug das Entladungspotential zu Anfang 10000 Volt, so ist es nunmehr auf 4000 Volt gesunken und bleibt dort constant. Bei Tage erkennt man, dass der wandernde negative Büschel eine feine Furche in die Bromsilberschicht eingegraben hat. Fig. 6 giebt das Bild einer solchen in natürlicher Grösse.

24. Die merkwürdige Erscheinung des wandernden negativen Büschels ist nicht an eine von der Kathode aus fortschreitende Zersetzung des Bromsilbers gebunden, denn man erhält dasselbe Resultat auf einer vorher belichteten, entwickelten und fixirten Platte, bei der also Silberkörner in feiner Vertheilung in die Gelatine eingebettet sind. Hier zeigt die Spur in reflectirtem Licht Metallglanz. Uebrigens darf die Menge des Silbers in der Schicht nicht unter einen bestimmten Grenzwert sinken, denn auf einer Platte, die zur Hälfte sehr dichten, zur Hälfte sehr dünnen Silberniederschlag hat, schreitet der leuchtende Punkt nur von der dichteren Seite her bis an die Grenze gegen die dünnere fort und ist nicht weiter zu bringen. Auf anderen Schichten, wie reiner Gelatine, mattem Glase, Ebonit, Celluloid etc. war ein ähnliches Wandern nicht zu beobachten; es scheint also an das Vorhandensein electrisch leitender Körnchen in bestimmter Vertheilung gebunden.

25. Was hier besonders interessirt, ist die Aenderung des auf der Platte zurückgelegten Weges durch *magnetische* Einwirkung. Erregt man den Magneten, unmittelbar nachdem das negative Pünktchen die Kathode verlassen¹⁾, so erfolgt die Wanderung des Punktes auf der horizontalen Platte für den vor dem Magneten stehenden Beobachter auf einem je nach der Magnetfeldrichtung nach hinten oder vorn abgelenkten Wege. Fig. 7 zeigt die auf der Platte erhaltenen Spuren für beide Feldrichtungen. Abstand der Electroden 15 mm, der Magnetpole 8 mm; Feldstärke in der Höhe der photographischen Schicht 6830 absolute Einheiten. Der positive Büschel bildet in allen Fällen die kürzeste Verbindung der Anode mit dem wandernden Punkte und zeigt keine magnetische Veränderung. Die Marschrichtung des negativen Punktes wechselt scharf bei

Wechsel der Magnetpole, wie aus Fig. 8 zu ersehen. In dem betreffenden Versuch wurde auf der Mitte des Weges dreimal in wechselnder Richtung magnetisirt.

Der Sinn der Ablenkung ergibt sich aus der Erwägung, dass durch die gewählte Versuchsanordnung die Entladung an die Schicht der photographischen Platte gefesselt wird. Daher kann von den Kräften, welche auf die nach allen Richtungen oberhalb der Platte divergirenden Theile der negativen Büschelentladung wirken, nur die in der Plattenebene liegende Componente zur Wirkung gelangen, deren Vorzeichen bei Vertauschen der Magnetpole wechselt. Die Divergenz der Theile der negativen Entladung ist mit dem Mikroskop direct zu beobachten; innerhalb der Ebene der Platte wird sie durch Fig. 1 illustriert.

1) Ein Kunstgriff das zu erleichtern besteht in der Verwendung einer Nähnadel als Kathode, deren Spitze sich durch kurzes Erregen des Magneten dicht an die Schicht anlegt.

Die Grösse der Ablenkung wächst mit der Feldstärke und der Divergenz der electrischen Kraftlinien. Letztere wird bei Verkleinerung des Electrodenabstandes beträchtlicher. Auffällig ist der oft spiralige Weg des negativen Büschels in der Nähe der Anode (Fig. 7), der an eine ähnliche Erscheinung bei der magnetischen Ablenkung der Aureole von Inductionsfunken in äquatorealer Lage erinnert.¹⁾

26. Die wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Funken-, Büschel- und Glimmentladung in Luft von normalem Druck sind magnetisch ablenkbar. Der Sinn der Ablenkung ist in Uebereinstimmung mit den electrodynamischen Gesetzen.

2. Auch in Luft von *normalem* Druck lassen sich wie im Vacuum stets positive und negative Theile der Entladung unterscheiden, die in gewissem Maasse unabhängig voneinander verlaufen. Durch passende Wahl der Electroden und durch magnetische Kraft kann die eine oder andere Entladung innerhalb der Entladungsstrecke zum Ueberwiegen gebracht werden. Das Ueberwiegen der einen oder anderen Entladung hat eine entsprechende Aenderung der *Entladungsform* zur Folge.

3. Mit den benutzten Electroden können Funken-, Büschel- und Glimmentladung durch magnetische Kraft fast beliebig ineinander übergeführt werden.

4. Die Aenderung der Entladungsform ist mit einer Aenderung des Entladungspotentials verbunden. Der Sinn der Aenderung lässt sich daraus entnehmen, dass in den hier vorliegenden Fällen der Funkenentladung stets das kleinste, der Büschelentladung ein grösseres, der Glimmentladung das grösste Entladungspotential entspricht.

5. Wird durch das Magnetfeld die Entladungsform nicht geändert, sondern nur die bestehende Entladung abgelenkt, so ist Grösse und Sinn der dabei auftretenden Potentialänderung von den jeweiligen Versuchsbedingungen abhängig.

6. Bei der Glimmentladung zwischen negativer Spitze und positiver Platte ist der ganze Entladungsraum von negativ geladenen, gegen die Anode in Bewegung befindlichen Theilchen

1) G. Wiedemann, *Electricität*, 3. Aufl. (2) 4. p. 716.

erfüllt. Starke Veränderungen der metallischen Oberfläche an den leuchtenden Stellen der Anode sind mit dieser Entladung verbunden.

7. Magnetische Ablenkungserscheinungen sind auch bei axialer Stellung der Entladungsstrecke innerhalb des Magnetfeldes zu erhalten.

8. Das mittlere Entladungsgefälle ist in Luft von normalem Druck für die negative Entladung grösser als für die positive, übereinstimmend mit dem Verhalten des Kathodenlichts bei der Glimmentladung im Vacuum.

Viele der beschriebenen Erscheinungen können als eine Stütze der Dissociationstheorie der Entladungen aufgefasst werden, doch verlangen sie eine solche Auslegung nicht mit Nothwendigkeit. Ueber den Einfluss des zeitlichen Verlaufs der Entladungen auf die Erscheinungen — bekanntlich intermittiren die Büschel mit verschiedener Periode — unterlasse ich es, schon jetzt Betrachtungen anzustellen.

Heidelberg, Physik. Institut. d. Univ., 1. Sept. 1898.

(Eingegangen 13. September 1898.)