**6. Ueber die durch elektrische Spitzenentladung
erzeugten Curven;
von Rudolf H. Weber.**

In einer Arbeit „Les tourbillons et les projections de l'éther“¹⁾ beschreibt Hr. De Heen folgenden interessanten Versuch. Eine Harzplatte wird elektrisirt und kurze Zeit der Einwirkung von um sie herum symmetrisch angeordneten Bunsenflammen ausgesetzt. Bestreut man nun die Platte mit Schwefelpulver, so ordnet dieses sich in eigentümlichen aus geraden Linien gebildeten Figuren an. Die Erscheinung ist infolge der scharfen Linien sehr überraschend. Der Erklärung aber, die Hr. de Heen giebt, indem er ein Zusammenfegen der Elektrizität auf der Platte durch Aetherströme, die von den Flammen ausgehen, annimmt, kann man sich kaum anschliessen. Die Erscheinung beruht nicht auf einem Vorgange in der Oberfläche der Harzplatte, sondern in einem Vorgange in dem Raume, durch den die Entladung der Platten erfolgt.

Zunächst möchte ich bemerken, dass der Versuch ebenso gut, vielleicht noch besser gelingt, wenn man statt der Flammen Metallspitzen verwendet. Die Spitzen müssen jedoch gegen die Platte hin, gerichtet sein. Es liegt demnach der Erscheinung eine Art der Spitzenentladung zu Grunde.

Die von mir benutzten Platten bestanden aus 2 Teilen Colophonium und 1 Teil Wachs. Die Mischung war in einer 30×40 cm grossen, $\frac{1}{2}$ cm dicken Schicht auf etwas grössere Pappscheiben gegossen. Geladen werden die Platten am besten mittels eines Spitzenkammes, der mit einem Conductor einer Influenzmaschine verbunden ist. Es ist gleichgültig, ob die Ladung negativ oder positiv ist. Bei einem Dreipulvergemisch²⁾

1) P. de Heen, Bull. de l'inst. de Phys. de l'université de Liège Ser. 2. Prem. fasc. p. 589. 1900.

2) Nach K. Bürker, Ann. d. Phys. 1. p. 476. 1900; P. Grützner, l. c. p. 738.

aus Carmin, Lycopodium und Schwefel äussert sich dieselbe nur in der Farbe der Linien.

Auf einem zur Erde abgeleiteten Zinkblech, oder auch direct auf dem Tische standen vertical befestigt und in symmetrischen Figuren angeordnet eine Anzahl gleichlanger (15 cm) zugespitzter Drahtstücke. Der gegenseitige Abstand derselben betrug etwa 15 cm. Die geladenen Platten werden einen Augen-

Fig. 1.

Fig. 2.

blick über dieselben gehalten, ohne mit den Spitzen in Berührung gebracht zu werden, und darauf mit einem Pulver bestäubt. Es zeigen sich dann die in Fig. 1 u. 2 abgebildeten geradlinigen Zeichnungen.

Die in den Photographieen eingezeichneten Kreuze geben die Stellen an, gegen die die Spitzen gerichtet waren. In den geraden Linien, an denen sich das Pulver ansammelt, bleiben die Platten geladen. Die von den einzelnen Spitzen ausgehenden Entladungsgebiete sind hier scharf voneinander getrennt.

Wenn man einen geladenen Conductor,¹⁾ den wir uns hier und in Folgendem eben begrenzt denken wollen, eine zur Erde abgeleitete Spitze nähern, so tritt bekanntlich bei hinreichend kleinem Abstände die Büschelentladung ein, besonders leicht und schön ausgebildet, wenn die Spitze positiv gegenüber dem Conductor ist. Bei negativer Spitze entsteht sie nur sehr schwer. Bei grösserem Abstand geht die Endladung unsichtbar vor sich, nur noch gekennzeichnet durch ein Glimmlicht an der Spitze. Legt man nun auf die ebene Begrenzung des Conductors eine dünne Schicht eines Isolators, z. B. Seidenpapier oder besser weissen Seidenstoff, so erkennt man bei gut ausgeruhtem Auge eine scharf abgegrenzte, leuchtende Kreisfläche; die Basis des „Entladungsgebietes“,²⁾ des Raumes, durch den sich die die Entladung befördernden Teilchen bewegen. Die Umgrenzung des Kreises ist von der des Conductors unabhängig. Sein Durchmesser, den ich bis zu 15 cm erhalten habe, ist abhängig von der Potentialdifferenz und in weitem Maasse von dem Oeffnungswinkel der kegelförmigen Spitze; letzteres in der Weise, dass bei stumpferem Winkel der Durchmesser kleiner ist.

Die hier vor sich gehende Entladung ist allem Anscheine nach von der sichtbaren Büschelentladung nicht nur quantitativ, sondern principiell verschieden; denn bei einer Einstellung der Spitze, bei der hier und da auch sichtbare Büschel übergehen, erkennt man, dass der Durchmesser dieses Büschels weit kleiner ist, als der des Glimmlichtkreises.

Der Durchmesser des Glimmlichtkreises und — soweit es sich beurteilen lässt — auch seine Helligkeit, sind unabhängig von der Art der elektrischen Ladung des Conductors. Leitet man statt der Spitze den Conductor zur Erde ab, so nimmt die Helligkeit bedeutend ab und die Umgrenzung verliert wesentlich an Schärfe. Bringt man in dies Entladungsgebiet Isolatoren (zwischen Conductor und Spitze), so wird der Glimmlichtkreis von dunkeln Schatten in den Umrissen des Isolators

1) Der Conductor war bei meinen Versuchen mit dem einen Pol einer Influenzmaschine mit zwei rotirenden Scheiben von 40 cm Durchmesser dauernd verbunden, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet war.

2) Offenbar identisch mit der von Kundt beobachteten Staubfigur. Vgl. A. Kundt, Pogg. Ann. 136. p. 612. 1869.

durchbrochen.¹⁾ Diese Schatten verschwinden aber nach kürzerer oder längerer Zeit vollkommen oder doch fast vollkommen.²⁾

Nach dieser Zeit setzt sich also die Entladung auch jenseits des Isolators fort. Man kann daraus wohl schliessen, dass die die Entladung befördernden Teilchen nicht aus dem Material der Spitze bestehen, sondern dass das umgebende Medium, die Luft, oder durch Ionisation modificirte Teile desselben den Elektrizitätstransport vermitteln. Dagegen ist es wohl denkbar, dass die sichtbare Büschelentladung von metallischen Teilchen herrührt.

Ordnet man nun zwei Spitzen so an, dass sich die Glimmkreise der einzelnen eigentlich überdecken müssten, so sieht man an der Stelle der gemeinsamen Sehne eine scharfe dunkle Linie. Hier geht offenbar keine Entladung des Conductors vor sich. Entfernt man das Spitzenpaar allmählich mehr und mehr von dem Conductor, so wird die Linie — wenn auch langsam — immer schärfer und schmaler, um schliesslich bei hinreichend grossem Abstand zwischen Spitzen und Conductor ganz zu verschwinden. Man sieht dann nur noch die Ansätze derselben am Rande des leuchtenden Gebietes. In das von den zwei Spitzen ausgehende Entladungsgebiet schneidet sich also ein von zwei Ebenen begrenztes keilförmiges Gebiet ein (AB in Fig. 3), innerhalb dessen eine Entladung nicht erfolgt.

Fig. 3.

Bei mehr als zwei Spitzen erhält man mehr als eine Gerade, die sich in derselben Weise anordnen, wie die aus:

1) W. Holtz, Gött. Nachr. p. 595. 602. 1880; p. 73. 1881; A. Righi, Mem. d. R. Acad. delle Scienze d. Istituto di Bologna Ser. IV. 2. p. 555. 1881; 3. p. 461. 1882; G. Quincke, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin p. 525. 1895.

2) G. Quincke, l. c.

Schwefelpulver gebildeten des früher beschriebenen Versuches, mit denen sie offenbar identisch sind.

Man kann die Figuren direct photographisch fixiren, wenn man zwischen die Seide und den Conductor ein Blatt Bromsilberpapier legt, das man am besten mit etwas Wachs an den 4 Ecken befestigt. Ich habe meist das Bromarytpapier der N.P.G.-Actien-Gesellschaft benutzt. Die Figuren 4 und 5 sind

Fig. 4.

nach den so erhaltenen Papiernegativen durch Contactdruck hergestellt. Sie enthalten demnach noch die Structur des Papiers.

Zu beachten ist noch, dass die Linien an den Stellen, wo drei oder mehr zusammenstossen, in scharfen, hyperbelartigen Curven ineinander übergehen.

Wie das Zustandekommen des keilförmigen entladungsfreien Gebietes theoretisch zu erklären ist, darüber kann ich keine Angaben machen. Offenbar ist es eine Art Stauung der die Entladung befördernden Teilchen, die hier zu stande kommt.

Dass es in der That materielle Teilchen sind, die die Entladung vermitteln, geht aus folgendem Versuche hervor. Ein Flintglasrohr von 5,5 mm innerem Durchmesser wurde senkrecht gegen das von zwei Spitzen erzeugte keilförmige Gebiet gerichtet und zwar so, dass seine Mündung — soweit sich dies schätzen liess — nur wenige Millimeter von demselben

Fig. 5.

entfernt war. Lässt man nun einen Luftstrom aus der Mündung austreten, so baucht sich die auf der Seide erzeugte schwarze Linie an der entsprechenden Stelle aus. Die Teilchen werden also von dem Luftstrome beiseite getrieben (Fig. 6).

Die Geschwindigkeit des Luftstromes betrug 4,8 m/sec, sein Querschnitt im Durchmesser an der Austrittsstelle 5,5 mm, die Ablenkung der Teilchen an der Stelle der grössten Ausbauchung der schwarzen Linie im Mittel 2,7 mm. Nehmen

wir an, dass sich die Teilchen unter grosser Reibung bewegen, also ohne Trägheit, und nehmen wir ferner an, dass der Luftstrom an der Stelle, wo er auf die abzulenkenden Teilchen wirkt, noch denselben Durchmesser hat, wie an der Mündung des Glasrohres, so muss sich die Ablenkung zu der Wegstrecke, auf der die Ablenkung wirkt, verhalten wie die Geschwindigkeit des Luftstromes zu der der elektrischen Teilchen, also

Fig. 6.

$$v \frac{\text{m}}{\text{sec}} : 4,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}} = 5,5 \text{ mm} : 2,7 \text{ mm},$$

$$v = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}},$$

Ein zweiter Versuch mit einer Luftgeschwindigkeit von 9,5 m/sec ergab eine Verschiebung, die nicht ganz proportional der Luftgeschwindigkeit gewachsen war. Dieselbe betrug 4,2 mm, sodass man die Geschwindigkeit

$$v = 12,1 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

erhält.

Ein anderer Versuch, statt einen Luftstrom gegen die Teilchen zu blasen, das ganze System, Spitzen und Conductor um eine Axe rotiren zu lassen, ergab ebenfalls eine Verschiebung der schwarzen Linie von 1—2 mm. Doch ergaben die Resultate schlechte Uebereinstimmung, jedenfalls zum Teil durch die von den rotirenden Flächen mitgerissene Luft.

Es sei zum Schlusse noch darauf hingewiesen, dass man ähnliche geradlinige Figuren, wie die beschriebenen, auch bei Experimenten von ganz anderer Natur erhält. So haben Mills¹⁾ und später Lecher²⁾ zu ähnlichen Figuren angeordnete gerade Linien „chemischer Unthätigkeit“ gefunden, wenn sie von einzelnen Punkten aus in einer dünnen Flüssigkeitsschicht sich chemische Reactionen ausbreiten liessen.

1) E. J. Mills, Proc. Roy. Soc. 30. p. 68. 1880.

2) E. Lecher, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien 82. II. Abt. p. 159. 1880.

Ferner treten derartige Figuren auf bei Flüssigkeitsströmungen in planparallelen Schichten, hervorgerufen durch Concentrations-¹⁾ oder Dichtigkeitsgefälle²⁾ in der Richtung senkrecht zur Oberfläche. H. Bénard erwärmte die eine Grenzfläche einer solchen Flüssigkeitsschicht. Es entstehen durch das Temperaturgefälle Wirbelströme, die in sechskantigen, aneinander grenzenden Wirbelgebieten verlaufen. An der Oberfläche zeichnen die Grenzen dieser Gebiete sich durch Erhebungen aus, die sich in sechseckigen Figuren aneinander schliessen.

Auch die Figuren, die Kundt³⁾ in schwingenden Luftplatten erhalten hat, und die er durch Lycopodiumpulver oder Korkfeilicht sichtbar macht, zeigen Verwandtschaft mit unseren Figuren. Die „Rippungen“, die zwei benachbarte sog. Doppelknoten verbinden, entsprechen hier den geraden Linien; die sog. einfachen Knoten, in denen eine wechselnde Dichtigkeit stattfindet, den Centren unserer Figuren.

Diese Aehnlichkeiten mit den eben beschriebenen elektrischen Erscheinungen sind freilich zunächst nur äusserlich.

Heidelberg, den 24. Juni, 1901.

1) E. H. Weber, Pogg. Ann. **94**, p. 452. 1855.

2) H. Bénard, Ann. de chim. et phys. (7) **23**, p. 62. 1901.

3) A. Kundt, Zür. Vierteljahrsschr. **13**, p. 317. 1869; Pogg. Ann. **150**, p. 177. 1873.

(Eingegangen 25. Juni 1901.)