

VI. *Einige Beobachtungen über Büschelentladungen; von K. Wesendonck.*

In dem Folgenden erlaube ich mir einige Beobachtungen mitzutheilen, die ich gelegentlich im Laufe anderer Untersuchungen machte, und die meines Wissens, wenigstens nicht in der Art, wie sie hier gegeben, beschrieben sind.

Man weiss schon seit Faraday, dass durch Vermehrung der Electricitätszufuhr der positive Büschel in Glimmen übergeführt werden kann, und Gaugain¹⁾ fügte hinzu, dass bei weiter vergrössertem Zuströmen von Electricität die Büschel wieder erschienen. Faraday's Angabe ist mit der Influenzmaschine leicht zu bestätigen; aber es war bisher nicht bekannt, ob bei dem Uebergange des Büschels zum Glimmen ein weiteres Ansteigen der Spannung statthat. Die Büschel verändern das Entladungsfeld in dem Sinne einer Erleichterung²⁾ der Entladungen, die infolge dessen immer mehr durch das Gas geschehen, während die Betheiligung der Electrodensubstanz zurücktritt. Die Büschel werden seltener und allmählich stellt sich reines Glimmen ein, aus dem allerdings noch hin und wieder Büschel sporadisch hervorbrechen. Es ist nun a priori fraglich, ob dabei nicht etwa die Spannung abnimmt, oder doch nicht wächst, indem die verbesserte Leitfähigkeit der Gase ein Ausströmen grösserer Electricitätsmengen unter kleinerer Tension gestattet, und erst wenn diese wieder durch vermehrte Leistung der Electrisirmaschine gestiegen ist, aufs neue Büschel auftreten. Ich habe auf folgende beide Weisen leicht zeigen können, dass die Spannung beim Ersetzen der Büschel durch Glimmen beständig ansteigt. Ein Henley'scher allgemeiner Entlader, dessen einer Arm eine kleine Kugel von ca. 7 mm, dessen anderer eine Kugel von 23 cm Durchmesser trug, wurde mit den beiden Polen der Influenzmaschine verbunden.

1) Gaugain, Ann. de chim. et de phys. (4) 8. p. 88. 1866.

2) Man sehe G. Wiedemann, Lehre v. d. Electricität, 4. p. 630, 631 u. f.

Diese letzteren näherte man einander so weit, dass, wenn die Büschel an der kleineren Kugel durch reines Glimmen ersetzt waren, und bevor wieder Büschel erschienen, zwischen ihnen (den Maschinenpolen) Funken übergingen. Wenn man jetzt allmählich langsamer drehte, so verschwanden die Funken und kehrten nicht wieder, wenn auch die Büschel auftraten, vielmehr musste man die Pole der Maschine einander merklich nähern, um wieder Funken zwischen denselben zu erhalten. Das gleiche Ergebniss erhielt man, wenn man allmählich die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe steigerte, nachdem zuvor vollständig entladen worden. So oft bei eingetretenem Glimmen ein Funken zwischen den Polen der Maschine übersprang, bildete sich in der glimmenden Anode des Entladers ein Büschel, was mit den Beobachtungen des Hrn. Jaumann übereinstimmt, dass nämlich Potentialschwankungen die disruptiven Entladungen begünstigen.

Es wurden ferner die Pole der Maschine so weit voneinander entfernt, dass überhaupt keine Funken mehr zwischen denselben auftraten, dagegen die Anode des Entladers durch einen mit Kautschuk überzogenen Draht mit einem Quadrantelectrometer verbunden. Bei langsamem Andrehen bis zum Erscheinen des ersten Büschels stieg dasselbe bis zu $40 - 41^\circ$, bei grösserer Drehgeschwindigkeit stieg der Zeiger weiter, obwohl die Büschel selten wurden und endlich reines Glimmen eintrat, bei dem dann der Zeiger sich noch bis auf 50° treiben liess. Zeigte sich ein vereinzelter Büschel, so schnellte der Zeiger nicht etwa in die Höhe, sondern sank um $1 - 3^\circ$ je nach Grösse des Büschels ganz plötzlich, und gerieth ins Schwanken.

Da das Absinken bei plötzlichem Nachlassen dem Effecte eines Stosses gleicht, so ist diese Stellungsänderung jedenfalls grösser, als der wirklichen Potentialabnahme entspricht. Letztere ist im Vergleiche zu eigentlichen Funken gering, worauf schon Gaugain hingewiesen, doch geben schwache, den Büschelstielen ähnliche Funken auch nur wenig Spannungsabnahme.

Diese Beobachtungen scheinen mir von einiger Wichtigkeit in Betreff des häufig geübten Schlusses, dass eine raschere Aufeinanderfolge der Büschel, wie sie sich etwa in Erhöhung

des Tones kundgibt, eine Verminderung des Widerstandes gegen electriche Entladungen erkennen lasse und umgekehrt. Diese Betrachtungsweise scheint mir nicht unbedingt zwingend zu sein.¹⁾ Die Büschelentladung im rotirenden Spiegel betrachtet, zeigt einen intermittirenden, ebenfalls büschelförmigen Theil und einen unter gewöhnlicher Drehgeschwindigkeit continuirlichen, nämlich einen leuchtenden Streifen, als Verbreiterung der glimmenden Spitze, die bei Büscheln stets ausser dem baumförmigen Gebilde zu bemerken ist. Ersetzen wir ein Gas durch ein anderes, so kann es wohl eintreten, dass das Glimmen im Verhältniss zu büschelförmigen Entladungen begünstigt wird. Letztere werden dann seltener auftreten, obwohl dabei die Electricitätszufuhr dieselbe geblieben ist, und das zweite Gas keinen grösseren Widerstand leistet als das erste. Hr. Holtz²⁾ hat bei seinen Versuchen mit Leuchtgas aus der Vertiefung des negativen Büscheltones und Erhöhung des positiven im Vergleiche zu den Erscheinungen in Luft geschlossen, dass Leuchtgas die negativen Entladungen Luft gegenüber erschwere, die positiven begünstige. Ausser einigen anderen Bedenken, die Leuchtgas erregt, scheint mir bei solchen Versuchen nur zunächst der Schluss auf eine Veränderung des Modus der Entladung streng berechtigt. Ich habe übrigens die Versuche des Hrn. Holtz mit demselben Erfolge wie er wiederholt, auch in Bezug auf die Veränderung der Länge der Büschel. Hr. Holtz sieht die Verlängerung oder Verkürzung des negativen, resp. positiven Büschels als durch die vergrösserten, resp. verkleinerten Entladungsspannungen bedingt an. Ich muss aber dem gegenüber bemerken, dass Wasserstoff, in ganz derselben Weise untersucht wie Leuchtgas, sowohl Tonerhöhung bei beiden Electricitäten liefert, wie

1) Bei sehr schnell aufeinander folgenden Büscheln scheint mir auch zu beachten zu sein, dass die in den Zwischenzeiten den Electroden zugeführten Electricitätsmengen vielleicht nicht lediglich zur Potentialerhöhung dienen, sondern Arbeit im Gase oder an den Electroden leisten (vielleicht mit polarer Verschiedenheit). Hr. Töpler fand (Pogg. Ann. 131. p. 180. 1867 u. 134. p. 194. 1868), dass der Funke nicht sofort entsteht, wenn das entsprechende Potential erreicht ist, sondern erst, wenn die betreffende Spannung eine kurze Zeit angehalten.

2) Holtz, Karl's Rep. 17. p. 340. 1881.

Verlängerung beider Büschel, also ein Gas, dessen Leitfähigkeit für beide Electricitäten bedeutend besser als das der Luft ist.

Hr. Holtz erwähnt, dass es nicht die Bewegung des strömenden Leuchtgases ist, welche die Büschel verändert, da eingeblasene Luft nicht dasselbe bewirke. Ich fand dies bestätigt, sah mich aber veranlasst, den Effect auf die Electroden geblasener Luft etwas näher zu untersuchen. Hr. Lehmann gibt an, im wesentlichen nur ein Beiseiteblasen der Büschel in der Richtung des Luftstromes bemerkt zu haben, für welches kleine, an Nähnadeln sich bildende, positive Lichtfäden besonders empfindlich seien. Dies lässt sich leicht constatiren, aber bei nicht zu schwachem Blasen bemerkt *man noch andere deutlich wahrnehmbare Wirkungen*. Ich arbeitete mit einem Gebläse, wie es mit der Gebläselampe verbunden zu werden pflegt und mit einem akustischen Blaseisch, welchen man zum Anblasen der Pfeifen bei akustischen Versuchen gebraucht.¹⁾ Beide Vorrichtungen gaben ganz dieselben Resultate. In die Oeffnung des Gebläses, welcher die Luft entströmt, wurde eine Glasröhre eingesetzt und durch einen langen, schwarzen Gummischlauch mit einer zweiten Glasröhre verbunden, die vorne conisch zulief. Liess man nun die Entladungen zwischen einer Spitze und einer abgeleiteten Kugel entstehen und richtete den aus dem conisch zugespitzten Glasrohre austretenden Luftstrom von der Seite her gegen die Spitze, so zeigte sich Folgendes: Bei positivem Büschel wird dessen Stiel kürzer, eine etwaige Fortsetzung desselben in den verästelten Theil hinein löst sich auf, und eben dieser verästelte Theil wird breiter, indem die Aeste stärker divergiren. Bläst man anfangs schwach, so sieht man, wie die Fortsetzung des Stieles bei Seite gedrängt und dann aufgelöst wird. Auch wenn an der Kugel Streifenentladung eintritt, zeigt sich dieselbe Erscheinung. Man sieht die Wirkung am besten bei langstieligen, mit deutlicher Fortsetzung versehenen Büscheln; die Veränderung ist dann sehr auffallend.²⁾

1) Letzterer wurde noch mit einem besonderen Gewicht beschwert, um einen gehörig starken Wind zu erhalten.

2) Zur Erklärung der Wirkungen des Blasens dürfte insbesondere

Bei einer Nähnadel als Anode wird der Büschel stark zur Seite geweht und der Stiel verschwindet dann fast ganz. Grosse positive Büschel zwischen einer Kugel von 23,5 mm Durchmesser und einer abgeleiteten Platte zeigten beim Blasen auf die Vorderseite der Kugel ähnliche Veränderungen. Besonders wird der Stiel kürzer und verschwommener, auch treten wohl statt eines Stieles deren mehrere auf. Bläst man auf eine glimmende Kugel, so ändert sich nichts, es treten auch keine Büschel infolge des Blasens allein auf; dagegen gelingt es unter geeigneten Bedingungen leicht und regelmässig, durch aufgeblasene Luft *Büschel zum Verschwinden zu bringen und durch reines Glimmen zu ersetzen*, wie schon Faraday beobachtete. Doch müssen die Büschel, wenigstens bei den Luftströmen, die ich verwandte, nur eben bestehen können, falls sie beim Blasen sicher verschwinden sollen. Letzteres wirkt *auch der Funkenbildung entgegen*; man kann Funken unter günstigen Umständen geradezu ausblasen, oder sonst doch ihre Häufigkeit reduciren. Kleine negative Büschel an einer Spitze zeigen beim Blasen insbesondere insofern eine Veränderung, als der verzweigte Theil breiter und heller und (wohl nur infolge dessen) scheinbar grösser wird, der Stiel dagegen verschwommener und eher kürzer. Solche negative Büschel, die in einer kleinen Kugel hin- und herschwirren, werden stetiger. Bei grossen negativen Büscheln zwischen einer Kugel von 23,5 mm Durchmesser und einer abgeleiteten Platte sind die Veränderungen beim Blasen gegen die Kathode sehr deutlich, das helle, lange, stielförmige Gebilde, das man bei einem solchen Büschel wahrnimmt, wird kürzer und nebelhafter, ja verschwindet fast ganz, sodass die Krone direct dem negativen Glimmlicht an der Kathode aufzusitzen scheint. Der verzweigte Theil (Krone) dagegen verbreitert sich erheblich, das Ganze wird

zu beachten sein, dass der Luftstrom gleichnamig electrisirte Lufttheilchen mit sich fortreisst, sodass sie den Büschel in seiner seitlichen Ausbreitung nicht mehr hindern. Zugleich wird hierbei *cet. par.* das Potentialgefälle an der geladenen Electrode vermehrt, und es kann dieses Gefälle nun an mehreren Stellen oder sogar ausgedehnteren Partien der Electrode die zur Einleitung einer Entladung nöthige Grösse erreichen. Dann zeigen sich mehrere Stiele oder Glimmen.

zugleich viel kürzer, etwaige sich einstellende Funken verschwinden.

Blasen auf die abgeleitete Electrode fand ich dagegen wirkungslos, auch wenn an derselben Streifenentladung gegenüber einer positiven Spitze zu sehen war. Doch verbreitert sich die Erscheinung an der Kathode auch, wenn durch Blasen auf die positive Spitze der Büschel in oben geschilderter Weise verändert wird.

Bei Verbindung einer positiv oder einer negativ geladenen Spitze, an der sich eine ruhige Lichterscheinung zeigte, mit dem Quadrantelectrometer trat keine Spannungsänderung ein, wenn gegen die Spitze geblasen wurde, obwohl dabei eine sehr merkliche Aenderung der Lichterscheinung sich zeigte. *Der Modus der Entladung variierte also hierbei fast ohne Potentialänderung*, und dasselbe blieb der Fall in Bezug auf die Tension, selbst dann, wenn man Eisenpulver von dem Luftstrome mit fortreissen liess. Dazu wurde die vorne conische Glasröhre durch ein Kugelgefäss ersetzt, welches etwas, in der Apotheke käuflichen Eisenstaub enthielt. Die Oeffnung, aus der die Luft austrat, war etwas verengt. Unter diesen Umständen wurde die Büschelbildung merklich begünstigt, es zeigten sich solche, falls auf die der abgeleiteten Platte gegenüberstehende positiv geladene Kugel von 23,5 mm Durchmesser, auch wenn diese noch nicht einmal glimmte, der eisenhaltige Luftstrom getrieben wurde. Vorhandene Büschel änderten sich wie oben, nur bildeten sich in denselben häufig funkenartige lange Aeste. War die Kugel negativ geladen, so überzog sie sich auf der vorderen Hälfte mit einer grossen Zahl von kleinen negativen Büscheln, sie erschien wie mit leuchtenden Borsten besetzt. War dann vorher ein grosser Büschel vorhanden, so verschwand er, um der eben beschriebenen Erscheinung Platz zu machen. Eine Begünstigung der Funkenbildung war nicht zu bemerken.

Um den Einfluss zerstäubter und in der Luft suspendirter Metalltheilchen ohne Einwirkung der strömenden Luft kennen zu lernen, brachte ich den Eisenstaub in ein Reagenzgläschen, dessen Oeffnung mit einem Leinwandläppchen zugebunden wurde. Klopfte man auf den Boden des Gläs-

chens, wenn dessen Mündung nach unten gekehrt, so wurde der Eisenstaub durch die Leinwand hindurch gesiebt. Man brachte nun das Probirgläschen über der Spitze des allgemeinen Entladers an, welcher eine abgeleitete Kugel gegenüber stand. Da ergab sich dann eine sehr merkliche Erleichterung der Funkenbildung beim Ausstäuben auf die positiv oder negativ geladene Spitze. Sobald durch leichtes Klopfen *Staub in die Luft gestreut wurde*, traten sofort die *Funken bei constanter Drehgeschwindigkeit der Maschinenscheibe viel häufiger auf*, als ohne Bestäubung. Auch wenn Spitze und abgeleitete Kugel bereits ganz bedeckt waren mit Eisentheilchen, zeigte sich die Wirkung noch sehr deutlich. Die in der Luft schwebenden Partikel sind also von erheblichem Einfluss. Dabei gingen die Funken meist nicht mehr denselben Weg wie in blosser Luft, sondern krümmten sich nach aufwärts, dem ankommenden Staube entgegen, selbst bis an den Leinwandverschluss, den ein Funke sogar einmal in Brand setzte. Mehr oder minder ausgedehnte Flammen umgaben den Funken, wohl von verbrennenden Eisentheilchen herrührend. Deutlich liess sich bei positiver Ladung eine Begünstigung der Büschelbildung wahrnehmen, dagegen blieb Bestäuben der abgeleiteten Kugel (ob + oder - Pol) ohne Wirkung. Man überzeugte sich natürlich, dass die durch das Klopfen hervorgerufene Bewegung des Reagenzgläschens an sich keinerlei merklichen Einfluss hatte, da ja bekanntlich die Annäherung von Körpern an electricisirte Leiter unter Umständen nicht ohne Wirkung auf das Eintreten der Entladung ist.¹⁾ Einige Versuche wurden in ganz derselben Weise mit Schlemmkreide, also einer sehr schlecht leitenden Substanz, angestellt. Die Funkenentladung wurde sehr merklich auch jetzt noch befördert, die Funken krümmten sich indessen weniger nach oben, als bei Eisenstaub, ihre Farbe war viel weisslicher, als in gewöhnlicher Luft, keine flammenartigen Gebilde umgaben sie.

Erzeugt man einen feinen Sprühregen aus Wasser mittelst eines Zerstäubers an der Anode, so wird das Auftreten von Funken im Anfang sehr befördert. Setzt man aber das Zerspritzen fort, so verschwinden die Funken und man sieht

1) G. Wiedemann, *Electr.* 4. p. 641. 643.

von zugespitzten, fast immer excentrisch gelegenen, an der Anode haftenden Tropfen aus schöne Büschel sich bilden.

Trocknet man die Anode ab, so tritt die Funkenbegünstigung bei erneutem Sprühregen anfangs wieder auf. Es schien mir das darauf hinzudeuten, dass der Wasserüberzug des positiven Poles die Funkenentladung begünstigt, solange er nicht zu dick ist, *die Vertheilung von Wassertheilchen in der Luft dagegen nicht merklich wirksam sei.* In der That zeigt sich auch die Begünstigung der Funken nur, wenn die Anode benetzt wird, und zwar braucht dies keineswegs erst zu geschehen, wenn die Pole bereits geladen sind. Spritzt man auch, nachdem zuvor völlig entladen worden, eine nicht zu dicke Wasserhaut auf die Anode, so tritt die Funkenbildung bei Ladung sehr deutlich ein.

Ist die aufgespritzte Wasserschicht zu stark, so sieht man nur noch Büschel von zugespitzten Tropfen ausgehen, welche letztere sich übrigens selbst bei starker Ladung lange an der Anode halten, ohne infolge der Electrisirung rasch zerspritzt zu werden. Am schönsten gelangen mir diese Versuche, wenn beide Pole Kugeln waren.

Die negative Electrode gab weder isolirt noch abgeleitet Funkenvermehrung beim Aufspritzen von Wasser, es bildeten sich an ihr noch schärfer zugespitzte Tropfen, als an der Anode, die lebhaftes Glimmen zeigten und sehr stark excentrisch, oft sogar senkrecht nach unten gerichtet waren.

Die zugespitzten, Büschel liefernden Tropfen werden häufig auch zum Ausgangspunkt von Funken, wenn solche sonst nicht auftreten können. Aber lange nicht alle Funken, die dem Aufspritzen ihre Entstehung verdanken, sieht man zu solch spitzen Tropfen überschlagen.

Berlin, Ende Februar 1890.
