

## V. *Neue Beobachtungen an gleitenden Funken;* *von F. von Lepel.*

---

Seit den Versuchen von Abria<sup>1)</sup> haben sich mehrere Forscher<sup>2)</sup> mit den Entladungen beschäftigt, welche ihren Weg an einer mehr oder weniger gut leitenden Fläche entlang nehmen.

Jene ausgezeichnete Methode, die fixirte Funkenbahn nach der Entladung zu studiren, veranlasste mich bei einer Arbeit über die Röhrenfunken,<sup>3)</sup> diesen Erscheinungen noch einmal näher zu treten und führte zu einigen Beobachtungen, die meines Wissens noch nicht publicirt sind.

Bei den nachfolgenden, in aller Kürze erwähnten Versuchen kommt es hauptsächlich auf den Widerstand an, welchen der Entladungsfunken auf der „Gleitbahn“ findet. Je geringer jener, desto länger der Funke — und umgekehrt.

### A. Lange Funken.

I. in feuchten Röhren. Nach Spiess (l. c.) können die auf Wasser gleitenden Funken eine ausserordentliche Länge erreichen, worauf übrigens bereits Zimmermann<sup>4)</sup> aufmerksam gemacht hat. Noch günstiger als eine Wasseroberfläche ist aber eine feuchte Röhre. Gelegentlich eines Versuchs mit sehr hoher Spannung bemerkte ich an einer Influenzmaschine, dass der electrische Ausgleich der durch dünnwandige Wasserröhren verbundenen äusseren Condensatorenbelegungen als heller 25 cm langer Funke aussen an dieser Röhre erfolgte. Demgemäss legte ich in die Entladungsröhren dünnwandige mit Schwefelsäure gefüllte und zugeschmolzene Capillarröhren und erhielt nun ungewöhnlich

---

1) Abria, Ann. de chim. et de phys. 74. p. 186. 1840.

2) Paalzow, Pogg. Ann. 127. p. 137. 1866; Antolik, Pogg. Ann. 151. p. 127. 1874, 154. p. 14. 1875; Peters, Pogg. Ann. 156. p. 397 u. 403. 1875; Spiess, Wied. Ann. 31. p. 975. 1887.

3) F. v. Lepel, Meteorolog. Ztschr. 1889. Juniheft.

4) Zimmermann, Handbuch der Physik p. 122. 1854.

lange Funken. Wurde die 15 mm weite Entladungsröhre aber ausserdem noch *mit einer Drahtspirale umwickelt*, so erreichten die Funken eine Länge von etwa 60 cm.

Diese sonst noch nicht beschriebene Erscheinung dürfte aus dem verminderten Widerstand erklärt werden, welchen die beiden Electricitäten auf der Gesamtstrecke zwischen den Polen finden.<sup>1)</sup> Lässt man die Capillarröhre fort, so nimmt der Funke seinen Weg gegenüber der Spirale im Innern der Röhre. Und gibt man der Capillarröhre unter Fortfall der äusseren Spirale ebenfalls eine beliebige gebogene Form, so dient diese dem Funken jedesmal als Unterlage.

Ändert man diese Versuchsbedingungen dahin, dass jene Capillarröhre in etwa 1 mm Abstand von einer berussten Papierfläche den Funkenübergang vermittelt, so erhält man sehr lange Entladungen, die ihren Weg zeichnen. Man beobachtet eine Anhäufung der Kohle unter der Gleitröhre — eine Folge der electrischen Anziehung. Bei grösserem Abstände sammelt sich die Kohle erst nach mehreren Entladungen an; aber stets ist das Resultat ein dunkler Strich — gleichsam ein Negativ der von Antolik nach der „Bedeckungsmethode“ hergestellten Bilder. Die Aehnlichkeit dieser schwarzen Linie mit der Mittellinie der Antolik'schen Bilder fällt sofort in die Augen und lässt vermuthen, dass auch diese Mittellinie durch Anziehung der Kohle entsteht.

II. auf metallhaltigen Unterlagen. Bei den bisherigen Versuchen trennte eine isolirende Glaswand den Funken von dem guten Leiter, der Säure oder der Metallspirale. Nun erfolge die Entladung in nächster Nähe über einer metallhaltigen Unterlage.

Zunächst wurde auf eine Glasplatte eine dünne Gela-  
tineschicht gegossen und diese mit Broncepulver bestreut. Geringe Mengen desselben liefern dann nur eine, grössere dagegen mehrere Funkenbahnen. Und wenn man die Dichte des Broncepulvers noch vermehrt, so bemerkt man zahllose feine leuchtende Massen, die von den Electroden aus- und

---

1) Vgl. G. Wiedemann, Lehrb. der Electr. IV. p. 505.

ineinander übergehen. Auch diese Erscheinung ist durch die Anziehung der Bronceheilchen leicht zu erklären. Die Theilungen erfolgen durch die gegenseitige Abstossung der gleichnamigen electrisch gewordenen Partikelchen.

Auf berussten Streifen von Gold- oder Silberpapier von etwa 2 cm Breite hinterliess eine einzelne Entladung zwar die bekannten Querlinien in der Kohle,<sup>1)</sup> aber bei breiten Streifen bemerkt man ebenso wie bei der dichteren Gelatine-Bronceschicht Längsstreifen, die sich strahlenförmig zwischen den Aufspringepunkten vereinigen. Diese Längsstreifen scheint man bisher nicht beobachtet zu haben, vielleicht war das Papier nicht breit genug, oder die Entladung zu schwach.

Lässt man nun über diese metallhaltigen Papierstreifen nicht einen, sondern viele Funken hinter einander hinweggleiten, so erhält man Verzweigungen von seltener Länge und Mannigfaltigkeit. Anfangs nimmt man eine Abnahme der vielen leuchtenden Querstreifen wahr, bis sie zuletzt ganz verschwinden, um Längsstreifen Platz zu machen. Auch diese, zuerst sehr zahlreich, verschwinden, und nun vermitteln nur einige sehr helle Haupt- und mehrere Nebenbahnen — freilich nie genau an derselben Stelle — dauernd den Electricitätsausgleich.<sup>2)</sup>

Durch die starken häufigen Entladungen hat sich der Funke allmählich besser leitende Bahnen gebildet, als ihm ursprünglich durch die lose verbundenen Metallmassen geboten waren. Umlagerungen (man beachte die Staubwolken nach den ersten Entladungen), Schmelzungen (Farbe der Funken) müssen stattfinden und dadurch das ganze Gefüge der leitenden Schicht umgeformt werden.

Daher treten auf derartigen Unterlagen nie wieder Streifen, sondern nur Funkenzweige auf. Man wählt, je nach dem Grade der Umformung, den man ev. zu fixiren wünscht, irgend einen bereits exponirten Papierstreifen und berusst ihn vorsichtig. Der nächste Funke, also eine einzige Entladung, welche man jetzt darüber hingleiten lässt, fixirt einen

---

1) cf. Quet u. Seguin, Compt. rend. 48. p. 338. 1859.

2) Vgl. auch G. Wiedemann, Lehrb. der Electr. 4. p. 725.

vielf verzweigten Weg, und liefert so ein Bild, welches an Schärfe und Schönheit der Details keinem aller bekannten Funkenbilder nachsteht.<sup>1)</sup> Dass die „verzögerten“ Funken mit ihrer geringeren Electricitätsmenge zugleich auch weniger scharfe Bilder liefern, sei nur beiläufig erwähnt.

#### B. Kurze Funken.

Wenn man den Entladungswiderstand in der Gleitbahn durch Entfernung aller Metalltheile erhöht und nur die Kohlschicht benutzt, so erhält man die bekannten, von Antolik, Peters u. a. m. beschriebenen Bilder.

I. Unterbrochene Funkenstrecken. Den Widerstand kann man noch weiter vermehren, wenn der Russ stellenweise fortgewischt oder sonstwie russfreie Strecken hergestellt sind, welche die Leitung unterbrechen. Verzögerte Funken von geringer Spannung überspringen mehrere derartige Unterbrechungsstellen in verschiedenen Bahnen. Immer an ihrer + Seite bemerkt man an diesen Strecken kleine blaue Flämmchen, die an der — Seite in gelblich leuchtenden Punkten endigen und die Kohle dort corrodiren. Die Unterbrechungstreifen haben also an der + Seite einen glatten, an der — Seite einen zackigen Rand, — gleichgültig, welche Form oder Ausdehnung sie besitzen. Der Versuch zeigt unzweifelhaft, dass die ganze Unterlage von der Electricität durchströmt wird. Helle, weisse Funken gehen gleichfalls über mehrere Unterbrechungsstellen hinweg. Die schwarze Mittellinie reicht beiderseits scharf an dieselben heran. Aber dort selbst ist keine Spur von Kohle zu erkennen, während sie doch sonst eingebrannt und nicht wieder zu entfernen ist.<sup>2)</sup> Die Kohlentheilchen werden demnach hier nicht in der „Funkenrichtung“ oder einer dazu schrägen, sondern nur in senkrechter Richtung fortgeschleudert (Resultat: die Strahlen), oder sie bleiben an der Stelle, wohin sie durch Anziehung zusammengeschoben sind (Resultat: die Mittellinie).

1) Vgl. darüber auch v. Lepel, Verzweigte Blitzbahnen. Deutsche Meteorolog. Ztschr. 1890. Märzheft.

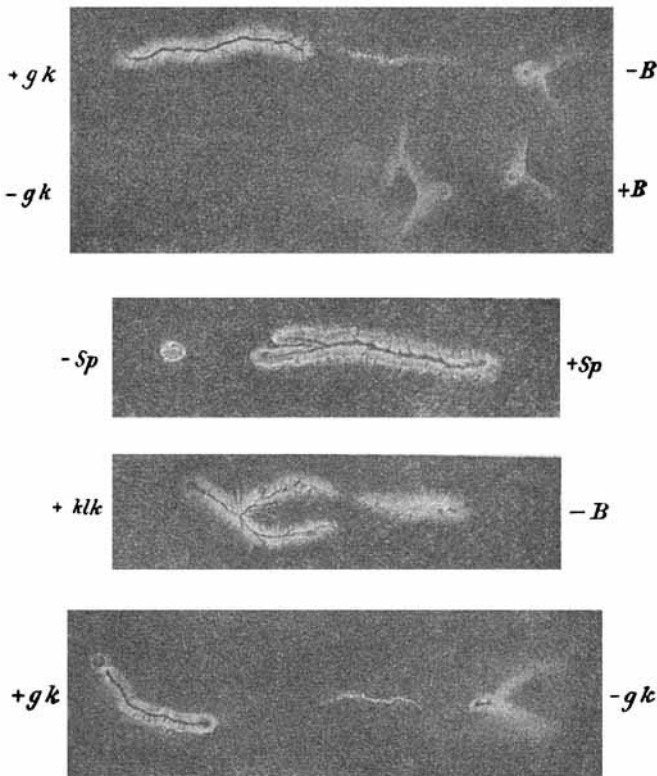
2) cf. Antolik, l. c. p. 151.

Diese unterbrochenen Funkenbahnen können daher nur so entstanden sein, dass sie nicht nur in der Papierebene, sondern auch aus dieser wellenförmig heraustretend ihren Weg nehmen. Alle hier vorliegenden disruptiven Entladungen müssen nach Feddersen einen oscillatorischen Charakter haben. Es ist interessant, zu bemerken, dass keine einzige Partialentladung ihren Weg mit Kohle auf der Unterbrechungsstelle zeichnet.

II. Verkürzte Funkenbahnen und verschiedene Electroden. — Der electrische Funke verlässt also die Ebene seiner leitenden Unterlage. Dies wichtige Ergebniss ist auch bei ganz kurzen Funken von hoher Spannung zu erhalten. Schon die erste Entladung durchbohrt oder zerreisst oft das Papier. Spiess hat (l. c.) auf ganz bestimmte Seitenentladungen hingewiesen, welche auf einer mit Lycopodium bestreuten Wasseroberfläche den Abria'schen Linien entsprechen. Nicht ebenso schön, aber dauerhafter erhält man in dem zerrissenen Papier ganz ähnliche Figuren, die augenscheinlich dadurch entstehen, dass die Entladung nicht auf, sondern in dem Papiere ihren Weg nimmt, ihre ursprüngliche Bahn also verlässt. Sie charakterisiren sich als ausserordentlich lange Zweiglinien meist an den Krümmungen, näher an der — Seite der Bahn, endigen kelchartig und stehen sich bisweilen gegenüber.

Es lag nahe, auch die Form der Electroden zu verändern. Statt der bisher verwendeten kleinen Kugeln von 4 mm Durchmesser benutzte ich scharfe Spitzen, Schneiden, Drahtbüschel und grössere Kugeln in allen möglichen Combinationen. Dabei stellte sich heraus, dass alle scharfkantigen Electroden den Charakter des Funkenbildes ändern, wenn der Entladungsweg ein kurzer und die Spannung eine recht grosse ist. Man bemerkt dann Folgendes: die schwarze Mittellinie ist nicht mehr gleichförmig breit und dunkel, zusammenhängend und von beiden Polen in die Strahlschicht auslaufend, sondern sehr fein, oft zackig, stellenweise knotenförmig verdickt, bisweilen unterbrochen. Durchbohrungen oder Zerreiassungen des Papiers, Theilungen der Mittellinie in der Strahlschicht, Verästelungen, lang ausgedehnte Abria'sche Linien, unregelmässige, oft weit von den Electroden entfernte Aufspringe-

stellen von sichelartiger Form — die concave Seite der — Electrode zugekehrt, — wurden häufig, ein polarer Unterschied aber nur in Bezug auf die Durchbruchstellen wahrgenommen. Diese lagen stets näher der negativen Seite. Regelmässig war die anderswo noch nicht beobachtete *Knotenbildung in der feinen schwarzen Mittellinie*. Bisweilen ging die Entladung nur als feiner weisser Strich dort am Papier entlang, wo bei Verwendung kleiner Kugeln die Strahlschicht gelegen haben würde; — oder sie spaltete sich in der Nähe des positiven Poles und geht in zwei Aesten bis zum anderen.



Solche Funkenbildungen erläutern die oscillatorischen Partialentladungen. Die Spaltungen erklären sich ohne weiteres als deren Folge. Im übrigen divergiren die Electricitäten bekanntlich von einer Spitze oder einem Drahtbüschel.

Ein Zweig nimmt seine Ausgleichung auf der Unterlage und indem andere folgen, entstehen Stellen, wo mehr Electricität sich ausgleicht, wo der Funke mit grösserer Energie, als anderswo, auf die Unterlage „aufprallt“. Dorthin wird durch Anziehung der Kohletheilchen mehr Russ zusammengeschoben, als anderswohin. Die Kohle wird zum Theil als „Leitungsmaterial“ eingebrannt, zum Theil aber, gleichnamig electrisch geworden, wieder abgestossen. Dadurch entstehen jene eigenthümlichen Knotenbildungen und Ausstrahlungen.

### Allgemeines.

Auf berusstem Papier ist das Funkenbild in der „Strahlschicht“, der Vereinigungsstrecke beider Electricitäten, am breitesten. Dort ist am meisten Kohle fortgeschleudert, die electrische Kraft muss dort am grössten sein. Durchbohrungen und Zerreissungen des Papiers findet man nur in der Strahlschicht. Auf metallhaltiger Unterlage lehren die Versuche, dass die ganze Funkenbahn eine Strahlschicht bilden kann. Denn die feinen Linien der Antolik'schen Russbilder verlängern sich hier zu deutlichen Streifen, mag das benutzte Silber- oder Goldpapier berusst sein oder nicht.

Seitliche Ausstrahlungen, die über eine metallhaltige Unterlage hinausgehen, sind wiederholt beschrieben.<sup>1)</sup> Ich möchte aber auch diejenigen hierher rechnen, welche Van Marum an einem dünnen, stark electrisch geladenen Draht beobachtet hat.<sup>2)</sup> Je schmaler und dünner diese Metallbahnen, desto grösser, je breiter, desto kleiner sind ceteris paribus, die seitlichen Ausstrahlungen. Es sind Seitenentladungen, die infolge der mehrfach betonten Wellenbewegung des Funkens in der Ebene des Papiers und auch in anderen auftreten können. War die Wellenbewegung senkrecht zur Papierfläche, so werden sich zwei Ausstrahlungen zu beiden Seiten der Funkenbahn gegenüber liegen; erfolgte sie unter anderem Winkel oder in der Papierebene, so liegt die Ausstrahlung nur an der einen und zwar der concaven Seite.

1) Vgl. Antolik u. Peters, l. c. u. G. Wiedemann, Lehrb. d. Electr. l. c. p. 739.

2) Müller u. Pouillet, Lehrb. d. Phys. 3. p. 284. 1888.

Denn gerade dort findet der Funke den grössten Widerstand gegen eine gerade Wegrichtung.<sup>1)</sup>

Nach E. Mach und Wosyka<sup>2)</sup> hat man die Antolik'schen Russfiguren auf Luft-, speciell Schallbewegungen zurückzuführen. Das mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls leuchten die Ausstrahlungen. Sie sind vorhanden, auch wenn keine berusste, sondern eine anderweitig geschwärzte Papierfläche als Gleitbahn gewählt wird. Die photographische Platte fixirt sie, obwohl das schwarze Papier sie nicht erkennen lässt.

Nochmals auf die polaren Unterschiede der Funkenbilder hinzuweisen, würde hier zu weit führen.<sup>3)</sup> Es sei nur hervorgehoben, dass die vorliegenden Versuche die bekannte Thatsache erläutern: die Funkenbahn ist nicht die kürzeste Verbindung zwischen den beiden Polen, sondern der Weg mit dem geringsten Widerstande.

Wieck b. Gützkow, Neuvorpommern, im October 1889.

---

1) Vgl. den Ausdruck von Spiess: „Hauptexplosionscentra“ l. c. p. 979.

2) E. Mach u. Wosyka, Pogg. Ann. 156. p. 407. 1875.

3) Vgl. darüber G. Wiedemann, Lehre von der Electr. l. c. p. 463 u. Peters, l. c. p. 397.