

# Untersuchungen an Induktorien an Hand der Funkenentladungen bis zu 100 cm. Funkenlänge in Luft von Atmosphärendruck.

II. Mitteilung

von **Fr. Klingelfuss.**

In der Gesellschaft vorgetragen am 4. Dezember 1901.

In meiner ersten Mitteilung „Untersuchungen an Induktorien an Hand der Bestimmungsstücke derselben“<sup>1)</sup> habe ich gezeigt wie:

- 1) die erreichbare Funkenlänge ( $f_2$ ) abhängt von der Windungszahl  $n_2$  der sekundären Spule; dass die Anzahl Windungen bei zweckmässig gewickelten Spulen viel kleiner sein kann, als bis dahin allgemein angenommen war, wodurch die Isolation im verfügbaren Raum besser, der innere Widerstand, die Kapazität und die Selbstinduktion in der sekundären Spule kleiner und infolgedessen die Schwingungszahl erheblich grösser werden.
- 2) sich die Spannung  $\mathcal{L}_2$  bei Funkenentladungen ermitteln lässt aus der Spannung  $\mathcal{L}_1$ , des am primären Kondensator gemessenen Extrastromes der primären Spule und dem Windungsverhältnis  $n_2 : n_1$  der primären und sekundären Spule;
- 3) die Spannung  $\mathcal{L}_2$  eines Funkens von ein und derselben Länge mit zunehmender Intensität (Elektrizitätsmenge) in der Entladung wächst;

---

<sup>1)</sup> Fr. Klingelfuss, Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel **XIII** 2 p. 228–270. 1901.

Ann. der Phys. **5** p. 837–871. 1901.

- 4) die Spannung  $\mathcal{L}_2$  auf gleicher Höhe bleibt, so lange der Magnetisierungsstrom  $J_1$  auf gleiche Höhe gebracht wird, wenn auch die Funkenlänge innerhalb weiter Grenzen verändert wird;
- 5) sich die Schwingungsdauer  $T$  bei einer Funkenentladung proportional der Quadratwurzel aus der Kapazität  $K$  des primären Kondensators ändert, wie sich die Spannung  $\mathcal{L}_2$  umgekehrt proportional der Kapazität  $K$  ändert, und wie die Spannung  $\mathcal{L}_2$  konstant erhalten werden kann, wenn  $J_1/p \cdot K$  konstant ist, wobei  $p = 2/T$  ist.

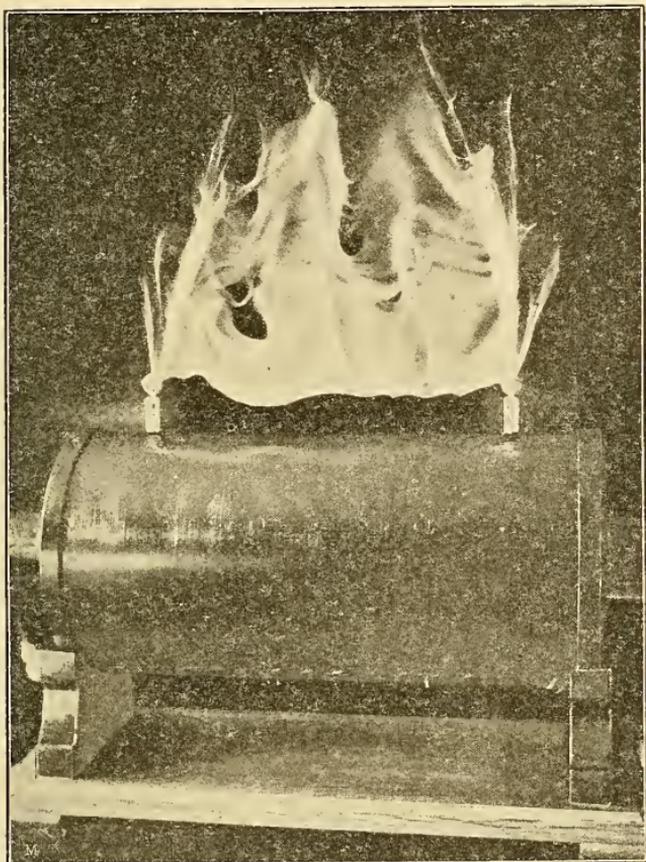
Ich habe dann im Anschluss daran noch einige flüchtige Angaben gemacht über Apparate, die auf Grund der aus jener Arbeit hervorgegangenen Beobachtungsergebnisse ausgeführt worden waren.

Heute bin ich in der Lage, über einige Entladungserscheinungen berichten zu können, die ich seither an einer grösseren Anzahl durch meine Hände gegangener Induktorien zu beobachten Gelegenheit hatte, und die mir geeignet erscheinen zur weiteren Entwicklung der Theorie über das Induktorium beizutragen.

## VI. Entladungen und deren Beobachtung.

Für die Beobachtung der Funkenentladungen kann die Photographie nützliche Dienste leisten, wenn unter richtiger Beschränkung deren Hilfe zugezogen wird. Ist aber schon die photographische Aufnahme eines durch einmalige Unterbrechung des Magnetisierungsstromes induzierten „Einzelfunkens“ auf einer ruhenden Platte nicht geeignet für die Beurteilung einer solchen Entladung, um wie viel weniger ist das der Fall bei Zeitaufnahmen von Dauerentladungen, bei denen die einzelnen Funkenbilder sich überlagern. Letztere Art Bilder geben

nicht einmal den Eindruck wieder, den die Entladungen auf das Auge hervorbringen, sondern erscheinen stets stark übertrieben. Als Beispiel diene hier das Bild der nebenstehenden Figur, einer Entladung von 30 cm Länge,



Entladung von 30 cm. Länge, bei der in Wirklichkeit ein etwa fingerdickes Band innerhalb kurzer Zeit aufsteigt.

bei der in Wirklichkeit ein etwa fingerdickes Funkenband innerhalb kurzer Zeit durch die erhitzte Luft in die Höhe steigt. Das Auge sieht nur jenes Funkenband, während die Expositionsdauer einer Sekunde genügt hat,

auf der photographischen Platte das Bild einer Flamme zu zeichnen. Bei der Neuheit derartiger Entladungen an Induktorien, die man bisher an diesen Apparaten zu sehen nicht gewohnt war, ist es immerhin angezeigt, sie auf ihren wahren Wert zurück zu führen. Solange wir nicht die Leistungen eines Induktoriums durch exakte Messungen beurteilen können, wie das bei andern, verwandten Maschinen der Fall ist, was zum Teil daran liegt, dass wir die Vorgänge im Induktorium und in der Funkenstrecke vor und während einer Entladung noch zu wenig genau kennen, solange bleiben wir auf eine rohe Schätzung dieser Leistungen angewiesen. Zu dieser Schätzung dienen uns, als zunächstliegend, die Entladungen in der Funkenstrecke.

Funkenentladungen sind auf photographischem Wege schon vielfach untersucht worden, und man kann die hierbei angewandten Methoden als bekannt voraus setzen. Im Vorliegenden handelte es sich besonders darum, Einzelfunken von Induktorien bis zu sehr grosser Länge (100 cm) oder bis zu sehr grosser Dicke (Intensität) zu beobachten. Dabei sollte vor allem auch die Beziehung der Aureole zur blauen Funkenentladung untersucht werden. Zu dieser Untersuchung eignete sich die Methode zur Aufzeichnung langsamer elektrischer Schwingungen, wie sie von Hrn. W. König<sup>1)</sup> oder in anderer Art von Hrn. P. Grützner<sup>2)</sup> angegeben ist, aus naheliegenden Gründen nicht. Überdies war mir darum zu thun, die Funkenentladung in einer Luftstrecke beobachten zu können, in der die Entladung durch keine fremden Einflüsse irgend welcher Art geändert werden konnte. Zu diesen Einflüssen reihte ich auch die Änderung des Widerstandes in der Funkenstrecke, hervorgerufen

---

<sup>1)</sup> Walter König, Wied. Ann. **67** p. 535. 1899.

<sup>2)</sup> P. Grützner, Ann. d. Phys. **1** p. 738. 1900.

durch die Entladung selbst, weshalb ich zwischen zwei zu beobachtenden Entladungen („Einzelfunken“) soviel Zeit verstreichen liess, dass man annehmen konnte, der frühere Zustand der Luft sei wieder hergestellt.

Einen der interessantesten Fälle, bei denen sich der Einfluss vorhergegangener Entladung auf die Widerstandsänderung in der Funkenstrecke bemerkbar gemacht hat, trifft man in den Arbeiten Oberbecks<sup>1)</sup> an. Bekanntlich nimmt das Entladungspotential mit abnehmender Schärfe des positiven Entladungspoles zu, insbesondere dann, wenn die positive Spitze durch eine Kugel oder flache Scheibe (Platte) ersetzt wird. Das findet sich auch in den Oberbeck'schen Zahlen bestätigt, bis auf eine auffallende Abweichung für kurze Funkenlängen. Man findet daselbst (Tabelle 24) das Entladungspotential zwischen einer positiven Spitze und negativen Platte bei 0,5 cm angegeben zu  $4,7 \cdot 10^3$  Volt; für die gleiche Funkenlänge zwischen einer negativen Spitze und positiven Platte (Tabelle 25) dagegen nur zu  $3,2 \cdot 10^3$  Volt, während schon von einer Funkenlänge von 1 cm an aufwärts die Spannung für die gleiche Funkenlänge erheblich höher ist, sobald die positive Spitze und negative Platte an den Polen des Induktoriums vertauscht werden. Die auffallende Abweichung erklärt sich dadurch, dass der durch die Schliessung des Magnetisierungsstromes induzierte Funke trotz seiner erheblich niedrigeren Spannung, bei so kurzen Strecken dann zur Entladung kommen kann, wenn am negativen Pole sich eine Spitze befindet. Diese Spitze erleichtert die Entladung des (entgegengesetzt gerichteten) „Schliessungsfunkens“, während derselbe bei normaler Stellung von Spitze und Platte nicht zur Entladung gekommen wäre. Folgen sich nun Schliessung und Öffnung

---

<sup>1)</sup> A. Oberbeck, Wied. Ann. **67** p. 897. 1899.

des Magnetisierungsstromes schnell nach einander, so entlädt sich der „Öffnungsfunke“ im Luftkanal, den der „Schliessungsfunke“ hinterlassen hat und die Entladung des „Öffnungsfunkens“ kann bei niedrigerem Potential stattfinden, weil der Widerstand im Kanal kleiner ist, als in der ihn umgebenden Luft.

Um den Funken zu einer beliebigen, mir passend scheinenden Zeit springen lassen, und dabei auf einer bewegten Platte photographieren zu können, habe ich folgende Einrichtung getroffen.

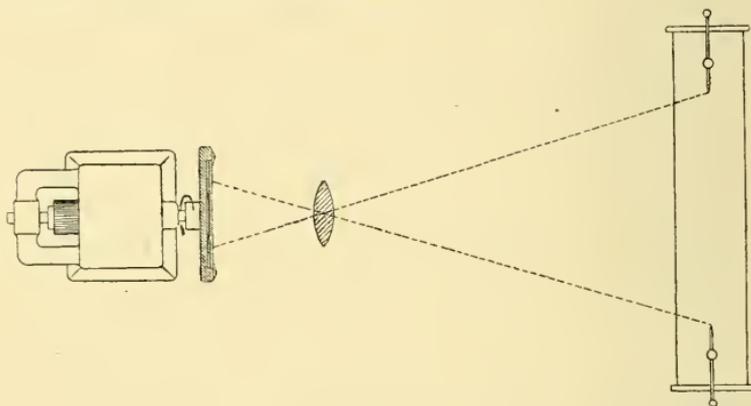


Fig. 16.

Auf das Ende der Achse eines kleinen Elektromotors (Fig. 16) (wozu sich die bekannten kleinen Fächermotoren sehr gut eignen, nachdem man den Windflügel entfernt hat) ist eine kreisrunde Holzscheibe befestigt, die zur Aufnahme einer lichtempfindlichen Platte eingerichtet ist, ähnlich wie bei der üblichen Kassette, jedoch ohne Verschluss. Die Holzscheibe muss gut ausbalanciert sein, um Erschütterungen beim Lauf des Motors zu vermeiden. Das photographische Objektiv wird auf einem Tische befestigt, während sich der vorerwähnte Motor mit der Platte behufs Einstellung auf dem Tische verschieben lässt. Für die Einstellung wird an Stelle

der lichtempfindlichen Platte ein weisser Karton eingelegt. Bei kurzen Entladungen lässt sich auch die Funkenstrecke auf dem Tische unterbringen, während für lange Funken Tisch und Induktorium, letzteres mit direkt aufmontierter Funkenstrecke in passender Entfernung aufgestellt werden. Die Grösse der Holzscheibe ist so bemessen, dass sowohl Platten vom Format  $13 \times 18$  cm, als auch solche von  $9 \times 12$  cm darin befestigt werden können.

Man kann nun die Einstellung entweder so treffen, dass die beiden Enden der Entladung sich auf der gleichen Seite vom Plattenmittelpunkt befinden, wie in Fig. 23, Seite 151 oder aber, dass die Endpunkte auf entgegengesetzten Seiten davon liegen, wie in Fig. 19 Seite 145 und ausserdem im letzteren Falle so, dass die kräftige Lichtwirkung der Entladungspole auf der Platte Kreise von verschiedenen Durchmessern beschreibt, wie in Fig. 24—26, Seite 152. Da wir diesen Lichtwirkungen an den Entladungspolen unsere besondere Aufmerksamkeit zuwenden werden, ist auf die Trennung dieser Kreise bei den betreffenden Aufnahmen stets besonders Bedacht genommen worden.

Mit der vorbeschriebenen Einrichtung lässt sich nun eine günstigste Geschwindigkeit der bewegten Platte leicht einstellen, diese sich während der Entladung konstant erhalten, und die photographische Platte bleibt dabei stets im Felde des photographischen Objektivs. Die auf diese Art erhaltenen Bilder sind nun allerdings so, dass die Linien sich im Drehungsmittelpunkt der Platte schneiden, was aber die Ablesung, wie wir sehen werden, nicht wesentlich stört.

Bevor ich zur Besprechung dieser Photogramme übergehe, gebe ich in nachstehender Tabelle IX die Magnetisierungsstromstärken  $J_1$  an, die ich bei ver-

schiedenen Funkenlängen ( $f_2$ ) beobachtet habe, um entweder A) noch Büschelentladungen, B) den Beginn der blauen Funkenentladung, C) intensiv blaue Funkenentladung, D) den Beginn der sichtbaren Aureole neben der blauen Entladung und schliesslich E) Entladung mit sehr dicker Aureole zu bekommen. Diese Beobachtungen wurden gemacht an Einzel-Entladungen in Luft von Atmosphärendruck zwischen positiver Spitze und negativer Platte bei einem Induktorium für 100 cm Funkenlänge, dessen primäre Spule 800, und dessen sekundäre Spule 90000 Windungen einer auf das sorgfältigste hergestellten Spiral-Staffelwicklung besitzt. Der der primären Unterbrecherstelle parallel geschaltete Kondensator hatte eine unveränderte Kapazität von 0,18 Mikrof. während der ganzen Beobachtungsreihe. Um den Einfluss einer schnellen Funkenfolge auf die Änderung des Widerstandes in der Funkenstrecke zu verhindern, wurde die Ablesung vorgenommen, derart, dass zwischen zwei sich folgenden Entladungen mindestens 10 Sekunden verstrichen waren.

Tabelle IX.

( $f_2$ )	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 cm.
A)	0,9	1,7	2,4	3,3	4,1	4,8	5,8	7,0	8,2	9,5 Amp.
B)	0,95	1,8	2,5	3,5	4,2	4,9	6,0	7,5	9,0	10,0 „
C)	1,6	2,9	4,0	4,5	6,3	7,5	8,9	11,5	14,5	20,0 „
D)	2,5	3,4	5,0	5,5	7,0	9,0	9,5	13,0	17,0	21,0 „
E)	9,5	12,0	15,0	20,0	27,0	—	—	—	—	„

Die Ergebnisse aus der Tabelle IX sind in Fig. 17 für die obere Grenze der Büschelentladung (Kurve A), die intensiv blaue Funkenentladung (Kurve C) und die Entladung mit sehr dicker Aureole (Kurve E) graphisch dargestellt, als Abscissen die Funkenlänge ( $f_2$ ), als Ordinaten die Magnetisierungsstromstärken  $J_1$  (Eine Kurve für den Beginn der blauen Funkenentladung würde sich

mit der Kurve A für die obere Grenze der Büschelentladung nahezu decken.)

Aus den in Tabelle IX zusammengestellten Beobachtungsergebnissen ist ersichtlich, dass sich die Intensität in der *blauen Entladung* nicht über eine bestimmte Grenze hinaus steigern lässt. Diese Grenze liegt nur um wenig höher als die Kurve C, Fig. 17,

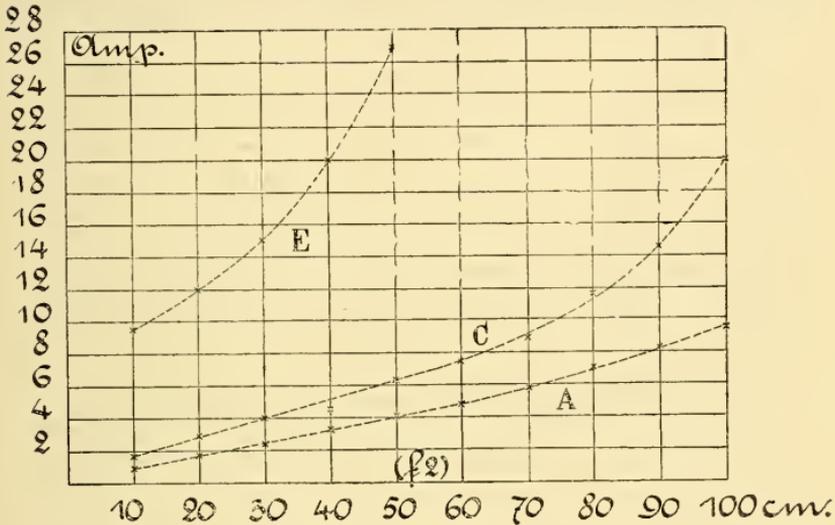


Fig. 17.

bei der nach weiterer Erhöhung des Magnetisierungsstromes  $J_1$  unter allen Umständen die Aureole beginnt. Je grösser die Funkenlänge ist, um so grösser wird die Elektrizitätsmenge, die in der blauen Entladung übergehen kann, d. h. um so dicker wird der blaue Funke, ehe die dem Auge direkt oder auf der bewegten photographischen Platte sichtbare Aureole beginnt.

Ferner zeigt die Zusammenstellung in Tabelle IX, dass der Elektrizitätsfluss (Intensität) in der Aureole erheblich grösser werden kann, als im blauen Funken. So erhalten wir z. B. bei 50 cm Funkenlänge das

Maximum der Intensität in der blauen Entladung mit 6,3 Amp., bei 7 Amp. ist schon die Aureole sichtbar, und mit 27 Amp. wurde die Aureole fingerdick. Würde man einen Kondensator von grösserer Kapazität einschalten, so könnte man den Magnetisierungsstrom ohne Bedenken noch bis 40 oder 50 Amp. erhöhen, und erhielte dann eine noch dickere Aureole.

Unter Vernachlässigung des Wirkungsgrades, der übrigens bei guten Induktorien mit rationellen Unterbrechern ähnlich demjenigen guter Transformatoren sein muss, verhalten sich die Stromstärken in der primären und sekundären Spule umgekehrt wie die Windungszahlen. Hiernach ist in obigem Falle in der Entladung mit dicker Aureole eine etwa vier mal grössere Elektrizitätsmenge zum Ausgleich gekommen, als im blauen Funken. Ähnlich verhält es sich bei den übrigen Funkenlängen unterhalb 50 cm.

### VII. Photogramme von blauen Funken-Entladungen.

Wenn man blaue Funken-Entladungen auf eine rotierende lichtempfindliche Platte photographiert, so beobachtet man, dass ein „Einzelfunke“ aus einer bis zu mehreren Teilentladungen besteht. Je grösser die Elektrizitätsmenge ist, d. h. je dicker der blaue Funke sich ansieht, um so grösser ist die Zahl der von den Teilentladungen herrührenden Linien auf der photographischen Platte. Das Maximum der Anzahl Linien irgend einer Funkenlänge erhalten wir in der intensiv blauen Entladung. So nannten wir die, entsprechend unserer Kurve C, Fig. 17 (Seite 143) mit dem höchstmöglichen Magnetisierungsstrom erhaltenen blauen Entladungen, ohne dass die Aureole dabei bemerkbar wird.

Die Fig. 18 zeigt uns das Bild des etwa zwölfmal verkleinerten intensiv blauen *Funkens von 100 cm Länge*,

der mit einem Magnetisierungsstrom von 20 Amp. erhalten wurde. Die photographische Platte wurde bei dieser Aufnahme nicht bewegt. Photographieren wir einen ähnlichen Funken gleicher Länge auf eine Platte,

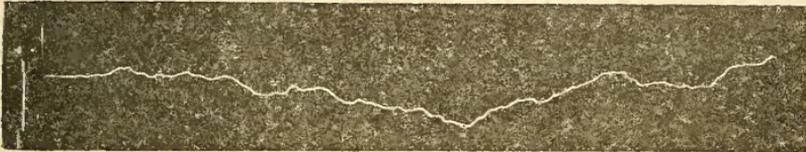


Fig. 18.

Blauer „Einzelfunke“ von 100 cm Länge auf eine ruhende Platte photographiert.

die mit 17 Umdrehungen in der Sekunde rotiert, so zeigt er das Aussehen der Fig. 19, bei der die einfache Funkenbahn, wie sie das Auge sieht, in fünf deutliche Linien aufgelöst ist. Die Anzahl der deutlich erkennbaren Linien ist unter sonst gleichen Verhältnissen nicht immer gleich; es mag das zum Teil von der mehr oder weniger guten Unterbrechung des Magnetisierungsstromes abhängen. Ausser diesen deutlichen Linien sind im Original-Photogramm noch weitere feine Nebenlinien vor-

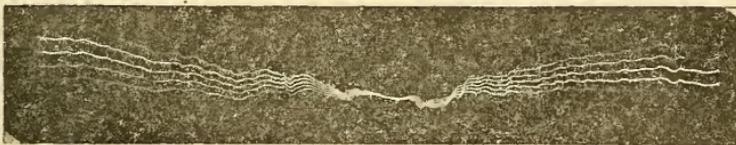


Fig. 19.

Blauer „Einzelfunke“ von 100 cm Länge auf eine bewegte Platte photographiert.

handen, neben der ersten deutlichen Linie deren drei, und neben der zweiten deutlichen Linie noch deren eine. Bei den übrigen Linien sind diese Nebenlinien schon so nahe an die Hauptlinie herantreten, dass sie nicht

mehr durch einen erkennbaren Zwischenraum davon getrennt sind. Die Lichtwirkung der Nebenlinien auf die photographische Platte ist ganz bedeutend schwächer als die der Hauptlinien, so dass die Nebenlinien nur mit bewaffnetem Auge kenntlich sind. Die ausserordentlich kurze Zeit, in der die erste Nebenlinie auf die erste Hauptlinie folgt, die einer Schwingungsdauer von der Ordnung  $10^{-5}$  Sekunden entspricht, ferner die sehr geringe Intensität in diesen Nebenentladungen und schliesslich der Umstand, dass die Schwingungsdauer von Linie zu Linie grösser wird, lassen vermuten, dass sie Entladungen sind, entsprechend denjenigen Herz'scher Primärleiter, die die etwa 60 cm hohen Metallstangen der Funkenständer hier bilden. Die Selbstinduktion in der sek. Spule bei der hohen Schwingungszahl der Nebenentladungen staut gleichsam den Eintritt der letzteren in die Windungen der Spule, sodass sich der, einer Hauptentladung folgende Vorgang zunächst nur in den Funkenständern und in der Funkenstrecke abspielt, wie das übrigens auch beim Herz'schen Primärleiter der Fall sein muss. Verhält sich der Vorgang so, dann können die Nebenentladungen oscillatorisch sein und die Hauptentladungen mit ihren Nebenentladungen, wie sie das Original der Fig. 19 zeigt, geben uns in dem Fall das Entladungsdiagramm Fig. 20, als Abscissen die Zeit, als Ordinaten die Potentialdifferenz. Wir dürfen aber nicht ausser Acht lassen, dass die oscillatorischen Nebenentladungen eine sekundäre Erscheinung sind, und nur dann zustande kommen, wenn die Bedingungen hierfür besonders günstig liegen. Bei den Photogrammen von Entladungen mit Aureole habe ich diese von Nebenentladungen herrührenden Linien nie gefunden.

Die von der Sekundärspule induzierten Entladungen sind unzweifelhaft sämtliche gleicher Richtung. In den

Photogrammen erkennt man das an der verschieden starken Lichtwirkung am positiven und am negativen Pol. Die Punkte der stärkeren Lichtwirkung befinden sich alle am gleichen Ende der Teilentladungen. Diese Punkte sind in der Bewegungsrichtung der Platte kaum merkbar in die Länge gezogen, ein Zeichen wie schnell in Bezug auf die Dauer einer Schwingung, d. i. von

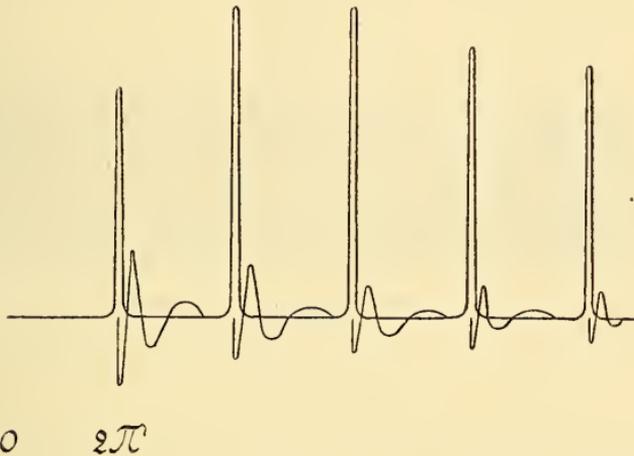


Fig. 20.

einer Linie zur nächsten das Potential angestiegen und wieder abgefallen ist. Wir werden später sehen, dass die von der Aureole herrührenden Lichtwirkungen der Pole nicht mehr Punkte, sondern Striche von ziemlicher Ausdehnung sind. Ich gebe noch die Fig. 21 wieder, die ebenfalls von einer 100 cm langen blauen Entladung herrührt, wobei das Bild jedoch nur auf 30 cm Länge vom positiven Pole reicht, während die Fig. 19 die Entladung von Pol zu Pol zeigt.

Die Anzahl Linien in die sich eine, durch einmalige Unterbrechung des Magnetisierungsstromes hervorgerufene blaue Entladung auflöst, ist grösser (bis 7 Linien in

Fig. 21) bei den dem Auge dicker scheinenden Entladungen, kleiner bei dünnen, sodass oft nur zwei Linien erhalten wurden. Überhaupt habe ich bei 20 cm Funkenlänge nie mehr als zwei, bei 40 cm noch drei und bei 80 cm bis zu fünf Linien erhalten. Diese Erscheinung stimmt mit den in Tabelle IX zusammen gestellten Beobachtungen überein, wonach mit zunehmender Funkenlänge die Intensität in der blauen Entladung grösser wird, bevor die Aureole beginnt.

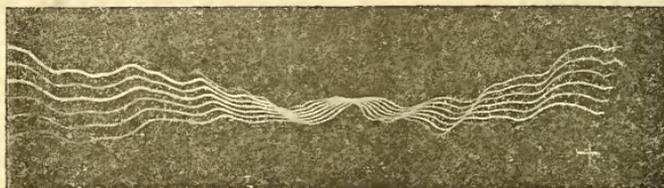


Fig. 21.

Blauer „Einzelfunke“ von 100 cm Länge auf eine bewegte Platte photographiert.

Das Bild reicht nur auf 30 cm vom positiven Entladungspol.

Die Thatsache, dass selbst bei den Entladungen von 100 cm Länge die sämtlichen Linien einer Entladung von Pol zu Pol sichtbar sind (Fig. 19), widerspricht der Anschauung, dass der Funke nicht auf einmal in seiner ganzen Länge von Pol zu Pol zustande komme. Bei Büschelentladungen durchschlägt der entstehende Funke die Bahn nicht sogleich, sondern die sich folgenden Entladungen werden von Fall zu Fall entsprechend der vorrückenden Ionisierung der Luft und der damit offenbar zusammenhängenden Widerstandsverminderung länger, bis schliesslich der Funken die ganze Bahn von Pol zu Pol durchschlägt. Das geschieht aber nicht, weil die elektromotorische Kraft der Entladung nach und nach grösser

wurde, sondern weil die für die Ionisierung des Luftkanals aufgewendete Energie einerseits, und der Widerstand in der Funkenstrecke andererseits kleiner geworden sind, wodurch die Entladung auf eine grössere Entfernung begünstigt wird. Man darf deshalb aus diesem Vorgange die Entstehung der Funkenentladung nicht ohne weiteres herleiten.<sup>1)</sup> Im Gegenteil zeigen die Figuren 19 und 21, dass das Entladungspotential so ausserordentlich schnell zu seinem höchsten Werte ansteigt, dass Vorentladungen gar nicht zustande kommen können; nur muss der Endwert des Potentials und die in Fluss gebrachte Intensität so gross sein, dass ersteres den Anfangswiderstand der eingeschalteten Luftstrecke zu überwinden vermag und letztere für die Ionisierung des Luftkanals in seiner ganzen Länge hinreicht. Ist für eine gegebene Luftstrecke das Entladungspotential zu niedrig, oder die Intensität der Entladung zu klein, so haben wir eben Büschelentladung.

### VIII. Photogramme von Funken-Entladungen mit Aureole.

Überschreiten wir die bei einer bestimmten Funkenlänge für die intensiv blaue Entladung erforderliche Magnetisierungsstromstärke  $J_1$ , so erhalten wir eine Funkenentladung mit Aureole. Mit zunehmender Aureole geht die Intensität in der blauen Entladung zurück. Für den Nachweis, dass die Aureole neben der blauen Entladung vorhanden ist, gibt die photographische Platte weit zuverlässigeren Aufschluss als unser Auge. Fig. 22 zeigt uns das Photogramm einer Entladung von 20 cm Länge, bei der die Aureole eben begonnen hat, so dass sie das Auge wegen der grellen Lichtwirkung im blauen

---

<sup>1)</sup> Vergl. B. Walter, Wied. Ann. **66** p. 636 1898; **68** p. 776 1899.

Funken noch nicht sicher zu erkennen vermochte. Wir sehen aber in der Figur 22 neben den beiden, von der blauen Entladung herrührenden Linien am negativen Ende noch eine Anzahl Striche mit abnehmender Stärke in dem durch die bewegte Platte beschriebenen Bogen verlaufend. Sie rühren von der Lichtwirkung der Aureole am negativen Entladungspol her. Die Aureole selbst war so schwach, dass von ihrer Bahn auf dem Photographum nicht die geringste Wirkung zurückgeblieben ist.



Fig. 22.

Blauer „Einzelfunke“ von 20 cm Länge mit beginnender Aureole, auf eine bewegte Platte photographiert. (Die Verlängerung der Linien nach links über den punktierten Kreisbogen hinaus, rührt von der spiegelnden Fläche am negativen Entladungspol her.)

Wird die Aureole dicker, so beschreibt die Lichtwirkung an den Entladungspolen bei mässig schnell bewegten Platten zusammenhängende Kreislinien von ziemlicher Ausdehnung. Bei der Fig. 23, einer Entladung von 3 cm Länge mit dicker Aureole, umschreiben die Kreisbogen einen Winkel von über 200 Grad, wobei die Platte mit 13 Umdrehungen in der Sekunde bewegt wurde. Es ergibt sich hieraus eine Dauer für die Entladung der Aureole von über 0,04 Sekunden, während der blaue Funke, in der Figur die dünne radial verlaufende Verbindungslinie beider Kreislinien am Anfange derselben, in einer ausserordentlich kleinen Zeit ver-

laufen ist. In der Figur ist der äussere Kreis vom negativen, der innere vom positiven Entladungspol gezeichnet worden. Man sieht auch hierbei, trotzdem die Funkenlänge nur 3 cm betrug, und die Entladung zwischen stumpfen Spitzen stattfand, dass die Entladung während der ganzen Dauer einseitig gerichtet blieb,

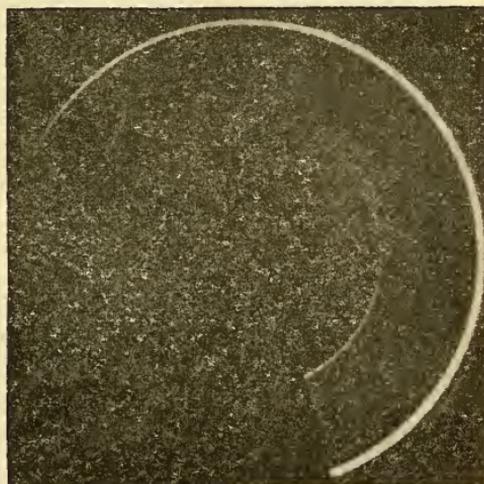


Fig. 23.

Einzelentladung von 3 cm Länge mit dicker Aureole auf eine bewegte Platte photographiert. Der äussere Kreisbogen wurde vom negativen, der innere vom positiven Entladungspol beschrieben.

demn der äussere und der innere Kreis bewahren längs der ganzen Dauer der Entladung den jedem eigenen Charakter.

Um den verfügbaren Raum auf einer photographischen Platte vom Format  $9 \times 12$  cm besser auszunützen, das heisst für die Beobachtung geeigneter Bilder zu bekommen, habe ich die Einstellung so getroffen, dass der positive Entladungspol auf der einen, der negative auf der andern Seite vom Plattenmittelpunkt sich befindet,

so jedoch, dass die von diesen Polen beschriebenen Kreise verschiedene Durchmesser erhalten, wie in Fig. 24. Die Aureole war bei dieser Entladung zu stark, die Umdrehungsgeschwindigkeit der Platte in Bezug auf die Schwingungsdauer zu klein, um auf dem so erhaltenen Photogramm eine befriedigende Ablesung machen

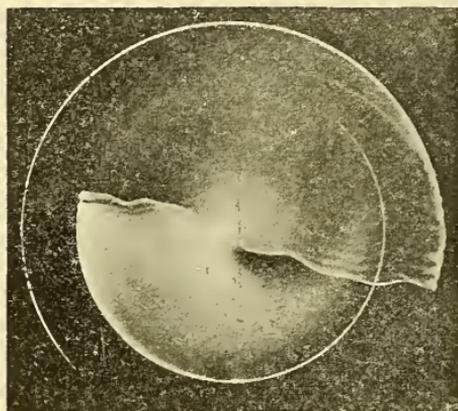


Fig. 24.

Einzelentladung von 6,5 cm Länge mit dicker Aureole, auf eine zu langsam bewegte Platte photographiert.

zu können. Besser gelingt uns das bei den Photogrammen der Figuren 25 und 26. Die beiden von den Polen beschriebenen Kreise unterscheiden sich in jeder dieser Figuren sehr auffällig von einander. Der äussere, vom negativen Pol beschriebene Kreis ist unscharf, oft heller aufleuchtend, oft verlöschend; es rührt das bekanntlich her von dem Wandern des Lichtpunktes am negativen Pol, rings um die Elektrode herum. Die innere, vom positiven Pol beschriebene Kreislinie dagegen ist äusserst genau gezeichnet und daher für die Ablesung ganz besonders geeignet. Man sieht, wie die Helligkeit dieser Linie allen Stromschwankungen in der Entladung folgt.

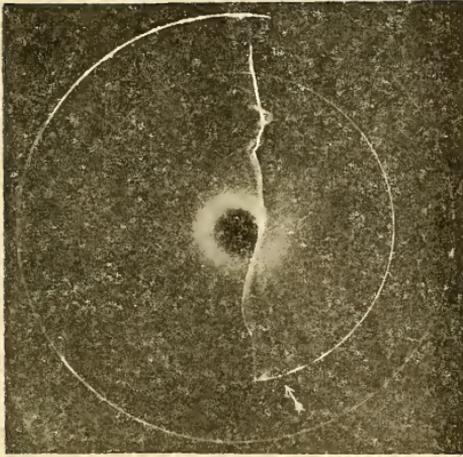


Fig. 25.

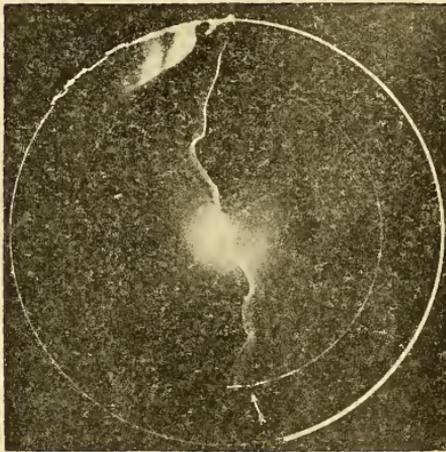


Fig. 26.

Einzelentladungen von 6,5 cm Länge mit dicker Aureole auf eine mit passender Geschwindigkeit bewegte Platte photographiert.

[Charakteristik auf dem positiven (inneren) Kreisbogen.

Da wo die hellen, von den Entladungen herrührenden Schichtungen enden, wird auch die Kreislinie heller, in den dunklen Zwischenräumen zwischen zwei Schichtun-

gen wird sie wieder dunkler, bis die Zeichnung schliesslich in eine ununterbrochene, an Helligkeit allmählich abnehmende Linie übergeht.

*Die Entladungspole beschreiben auf dieser Bahn eine eigentliche Charakteristik der Entladung*, die je nach Umständen am negativen oder positiven Pol für die Ablesung deutlicher ausfällt.

Beobachtet man diese Charakteristik in den Figuren 25 und 26 genauer, so findet man eine auffallende Merkwürdigkeit. Messen wir nämlich auf der Kreislinie die Abstände von Mitte zu Mitte der durch die Entladungen daselbst verursachten hellen Anschwellungen, so finden wir wohl eine gute Übereinstimmung derselben, so lange wir diese Messung auf die von der Entladung der Aureole hervorgerufene Zeichnung beschränken, nicht mehr, wenn wir von der ersten Linie der Aureole rückwärts zur Linie der blauen Entladung messen. In beiden Figuren zeigt es sich, dass die Entfernung dann nur noch etwa halb so gross ist. Ich erinnere daran, dass wir bei der intensiv blauen Entladung stets mehrere Linien erhalten haben, deren Enden sich durch besonders helle Punkte auszeichneten. Sobald jedoch die Aureole beginnt, nimmt die Intensität der blauen Entladung ab, offenbar infolge der starken Dämpfung durch das ferromagnetische Feld. So sehen wir auch in den Figuren 25 und 26 nur eine Linie der blauen Entladung, aber wir sehen auf der positiven Kreisbahn zwischen der ersten und zweiten Entladung der Aureole einen hellen Punkt (in den Figuren deutet ein Pfeil darauf hin), über dessen Bedeutung wir nach unsern bisherigen Beobachtungen nicht im Zweifel sein können. Er befindet sich um eine ganze Schwingungsdauer vom Endpunkt der blauen Entladungslinie entfernt, also da, wo die zweite blaue Linie sichtbar sein würde, falls keine

Aureole vorhanden gewesen wäre. Man erhält den Punkt nicht regelmässig, und besonders dann nicht, wenn die Intensität in der Aureole gar zu gross ist. Für uns ist dieser Punkt ein Beweis, dass die Pulsation der blauen Entladung nicht plötzlich aufhört mit dem Beginn der Aureole, sondern neben der Entladung der Aureole weiter besteht. Vor allem aber erkennen wir, dass der *blaue Funke und die Aureole nicht in der gleichen Phase pulsieren*, sondern zwei nebeneinander herlaufende,

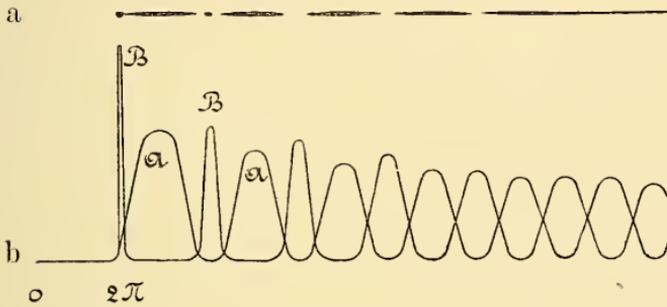


Fig. 27.

besondere Ströme sind. In den Figuren 25 und 26 liegen die Phasen um annähernd  $180^\circ$  auseinander. Wir sind in der Lage uns an Hand der Charakteristik der Fig. 25 oder 26 ein Entladungsdiagramm ähnlich wie in Fig. 20 zu konstruieren, zu welchem Zweck wir der bessern Übersicht wegen den vom positiven Pol beschriebenen Kreis (die Charakteristik) abwickeln (Fig. 27 a), dann geben uns im Entladungsdiagramm Fig. 27 b die Abscissen die Zeit, die Ordinaten die Entladungen, die Kurve B für die blauen Entladungen, A für die Aureole. Bei der Aufzeichnung dieses Diagramms haben wir zu beachten, dass die erste blaue Entladung auf der Charakteristik einen Punkt, der in der Bewegungsrichtung der Platte nicht merkbar in die Länge gezogen

ist, gezeichnet hat, ein Zeichen, dass das Potential sehr schnell ansteigt und wieder auf Null abfällt. Es müssen der ansteigende und abfallende Ast der Kurve dementsprechend nahe zusammenfallen. Der Punkt der zweiten, nicht mehr als Linie sichtbaren blauen Entladung erscheint in beiden Photogrammen auf der Charakteristik schon etwas mehr in die Länge gezogen, ein Zeichen, dass die Zu- und Abnahme des Potentials nicht in so kurzer Zeit erfolgt ist, als bei der ersten blauen Entladung. Wir können daraus schliessen, dass sich die Kurve der blauen Entladungen nach und nach verflacht. Die Kurve für die Entladungen der Aureole verläuft nach der Charakteristik der Figuren 25 und 26 derart, dass sie sich mit der Kurve der blauen Entladung scheidet. Auf der Charakteristik zeichnet die Aureole anfänglich Striche, deren Länge sich über eine halbe Schwingungsdauer hinziehen. Jeder dieser Striche nimmt allmählich an Helligkeit (Dicke) zu und wieder ab. Erlauben wir uns, aus der Lichtwirkung an den Polen auf die Potential-Zu- und Abnahme zu schliessen, so ergibt sich daraus der ungefähre Verlauf der Kurve für die Aureole. Die beiden vom positiven und vom negativen Pol beschriebenen Kreise bewahren jeder während der ganzen Entladungsdauer den ihnen eigenen Charakter; es geht daraus unzweifelhaft hervor, dass alle Teilentladungen gleich gerichtet und nicht oscillierend sind. Ferner erkennt man an der charakteristischen Verdickung der blauen Entladungslinie nach dem negativen Pol hin, worauf schon Hr. Walter<sup>1)</sup> aufmerksam gemacht hat, dass die Entladung der blauen Funken und diejenige der Aureole in der gleichen Richtung erfolgt. (Diese Verdickung zeigt sich nicht immer, und bei grossen

---

1) B. Walter, Wied. Ann. **66** p. 646. 1898.

Funkenlängen gar nicht; ist sie aber vorhanden, dann ist sie stets nach dem negativen Ende zu gelegen. Ich besitze auch eine grössere Anzahl Photogramme, bei denen die blaue Linie an der Stelle der Verdickung vielfach unterbrochen ist.) Wir haben demnach die Kurve für die Aureole nach der gleichen Richtung hin aufzutragen wie diejenige für die blaue Entladung. Auf der Charakteristik der Figuren 25 und 26 sehen wir die hellen Striche für die Entladung der Aureole von Schwingung zu Schwingung länger werden, die dunkeln Zwischenräume verschwinden immer mehr, bis schliesslich die Zeichnung in eine ununterbrochene, allmählich an Helligkeit abnehmende Linie übergeht. Daraus haben wir den Schluss zu ziehen, dass auch die Kurve der Aureole sich immer mehr verflacht und dass da, wo die Linie auf der Charakteristik einen kontinuierlichen Verlauf hat, die Pulsationen ganz aufgehört haben müssen und *die Entladung in kontinuierlichen Fluss übergegangen ist*. Das findet dann statt, wenn die Schwingungen beider Kurven eine gleich grosse Amplitude haben und entgegengesetzt gerichtet sind. Bei Wechselstrom würde in diesem Falle die Summe beider Kurven in jedem Augenblick gleich Null sein, bei pulsierendem Gleichstrom dagegen addieren sich die beiden Kurven in jedem Augenblick zu dem Maximalwert jeder einzelnen Kurve. Es ist dies unter anderm ein weiterer Beweis dafür, dass diese Entladungen pulsierender Gleichstrom, und kein Wechselstrom sind. Mit abnehmender Intensität der Aureole wird die Phasendifferenz zwischen den beiden Kurven kleiner, was man in der Fig. 22, Seite 150 deutlich erkennen kann.

*Die blaue Funken-Entladung und die Aureole sind zwei nebeneinander herlaufende besondere Ströme, deren Phasen um so weiter auseinander liegen, je grösser die*

*Intensität in der Aureole ist, und deren grösste Phasendifferenz 180° betragen kann; deren Ströme von gleicher Richtung pulsierend sind, und deren Pulsationen dann einen gleichmässigen Abfluss der Entladung herbeiführen, wenn ihre Amplituden entgegengesetzt gerichtet und in jedem Augenblick von gleicher Grösse sind.*

### **IX. Die Drehung der Aureole im Magnetfeld des Induktoriums erfolgt nach der Ampère'schen Regel wie in einem Gleichstrom-Magnetfelde.**

Du Moncel <sup>1)</sup> hat schon zu Anfang der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts experimentell die Drehung der Aureole in einem Gleichstrom-Magnetfelde nachgewiesen. Er sagt diesbezüglich: „Wenn die Entladung in der Richtung der Kraftlinien zwischen den Polen eines Elektromagneten erfolgt, so wird die Aureole abgelenkt und bildet eine sehr charakteristische Schraubenlinie, welche die blauen Funkenbahnen nach links und nach rechts umschreibt und deren Umdrehungssinn sich ändert mit der Richtung des Stromes.“ <sup>2)</sup> Du Moncel arbeitete mit den bis heute noch vielfach im Gebrauch befindlichen Induktorien Ruhmkorff'scher Bauart, mit wenig Eisen, verhältnismässig viel zu hoher sek. Windungszahl und Selbstinduktion, und mit nach dem damals üblichen Wickelverfahren unter Anwendung von Teilspulen hergestellten Windungen. Um mit diesen Apparaten eine einigermaßen kräftige Aureole zu bekommen, ist man genötigt mit ganz kleinen Funkenlängen zu arbeiten, und dann noch ist die Wirkung so schwach, dass man Dauerentladungen mit schneller

<sup>1)</sup> Du Moncel, Notice sur l'appareil d'induction de Ruhmkorff, Paris 1867.

<sup>2)</sup> l. c. p. 74.

Funkenfolge anwenden muss, um die oben genannte Erscheinung einigermassen wirksam zu erhalten. Hier zeigt es sich wieder, dass die auf die Vervollkommnung der Konstruktionsprinzipien bei Induktorien verwendete Mühe keine vergebliche ist. Bringt man nämlich einen *Einzelfunken*, mit dicker Aureole, wie man sie bei den nach meinen Angaben hergestellten Spulen bekommen kann, in ein kräftiges Gleichstrommagnetfeld, parallel zur Richtung der Kraftlinien, so kann man beobachten, dass die Aureole sich *in vielen Schraubenwindungen* um die Bahn windet, in der der blaue Funke sich entladen hat. Solche Entladungen von Einzelfunken von 14 cm Länge zeigen die Figuren 28 und 29. Es gibt wohl kaum einen physikalischen Apparat, der die objektive Darstellung der Ampère'schen Regel in so anschaulicher Weise vorzuführen gestattet, als diese Drehungen der Aureole in der Funkenstrecke. Man kann zeigen, wie die Ablenkung der Aureole mit zunehmender Intensität des Magnetfeldes oder der Aureole grösser wird, derart, dass die Aureole sich in einer grösseren oder kleineren Anzahl Windungen um die blaue Funkenbahn bewegt. Man kann ferner zeigen, wie der Umdrehungssinn sich ändert, wenn man entweder die Magnetpole wechselt, oder die Stromrichtung in der Entladung umkehrt. Auf alle diese Änderungen reagiert die Aureole mit grosser Empfindlichkeit. In Fig. 28 wurden nach den beiden obern Entladungen die Magnetpole vertauscht, während in Fig. 29 letztere unverändert beibehalten, dagegen die Richtung der Entladung entsprechend den Vorzeichen in den Figuren vertauscht worden war. Man erkennt in den Figuren dieser Entladungen, die alle vom gleichen, seitlich der Symmetrieachse gelegenen Standort aus photographiert wurden, aus der Form der Schraubenlinien, die zum Beispiel oberhalb der Linie für die blaue Entla-

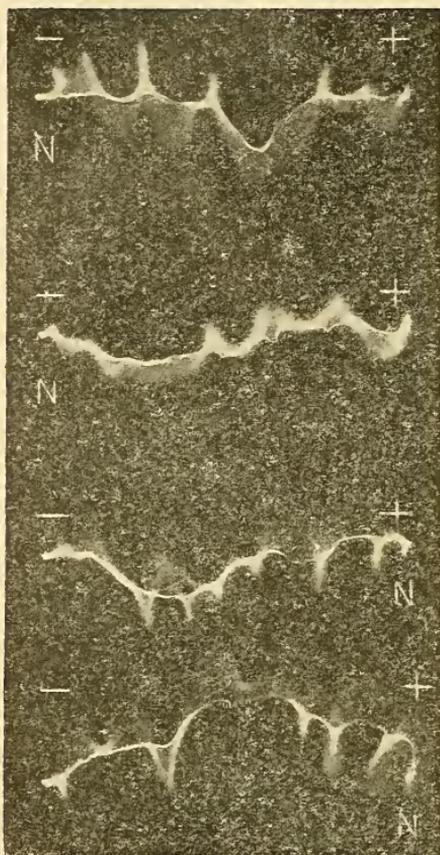


Fig. 28.

Nach den beiden oberen Entladungen wurden die Magnetpole vertauscht.

Einzelentladungen von 14 cm Länge mit dicker Aureole im Magnetfeld.

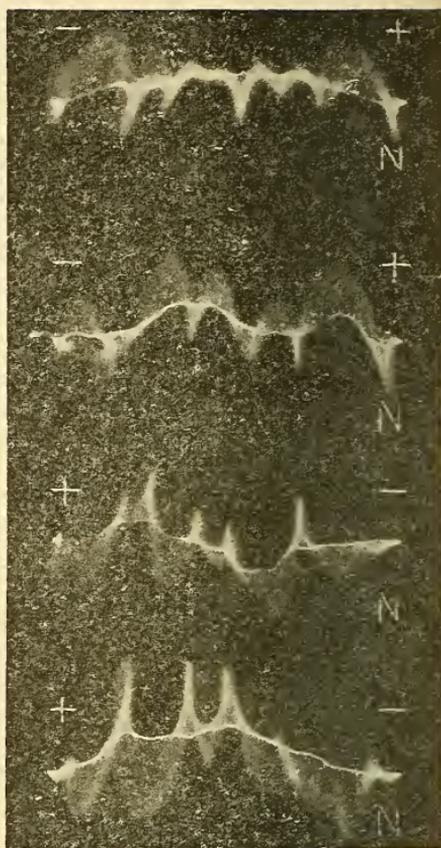


Fig. 29.

Nach den beiden oberen Entladungen wurde die Entladungsrichtung umgekehrt.

dung entweder spitzig zuläuft, oder in weitem Bogen abgerundet ist, leicht den veränderten Drehungssinn der Aureole. Insbesondere wird die Orientierung erleichtert durch einen je zur Hälfte links und rechts gewundenen Draht, Fig. 30, der in die Funkenstrecke gebracht und vom gleichen Standort aus photographiert wurde, wie die Entladungen der Figuren 28 und 29. Vergleicht

man die Form der gewundenen Aureole mit den Windungen dieses Modells, so findet man unter Berücksichtigung der Vorzeichen (+ —) für die Richtung der Entladung den Umdrehungssinn sofort heraus, und ebenso an Hand der Ampère'schen Regel die Lage der Magnetpole. Photographiert man ähnliche Entladungen von einem Standort aus, der senkrecht und symmetrisch zur Funkenbahn liegt, so zeigen die Bilder das Aussehen wie in Fig. 31, in denen man die Drehung der Aureole

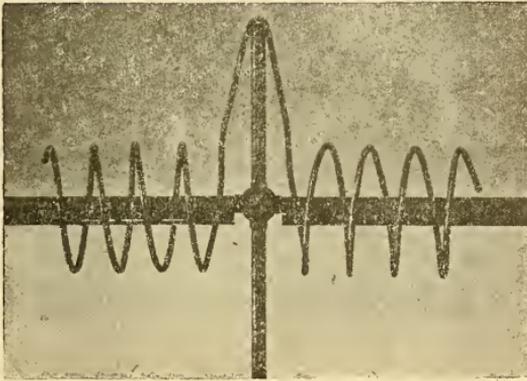


Fig. 30.

nicht mehr erkennt, aber die scharfen Zickzacklinien zeigen doch die grosse Ablenkung der Aureole aus ihrer ursprünglichen Bahn.

Da alle diese Entladungen in einem Magnetfelde stattfanden, dessen Querschnittsfläche die Windungsfläche der Aureole weit übertraf, in dem also vor der Entladung ausserhalb dieser Windungsfläche etwa die gleiche magnetische Dichte herrschte wie innerhalb derselben, so dass sich die Wirkungen gegenseitig aufheben müssten, kann man sich das Zustandekommen der Drehung nur so erklären, dass ebensowohl, wie die Kraftlinien bestrebt sind die Aureole abzulenken, die Aureole

ihrerseits die Kraftlinien in das Innere ihrer Windungsfläche hineindrängt, die ausserhalb ihrer Windungsfläche liegenden dagegen abstösst. Die Achse für die Schraubwindungen bildet stets die Bahn des blauen Funkens, obschon beide sich zeitlich nach einander folgen. Übrigens lässt sich der Einfluss des kräftigen Magnetfeldes auf den blauen Funken, ähnlich wie auf die Aureole in einigen Bildern deutlich erkennen. Bei einigen Ent-

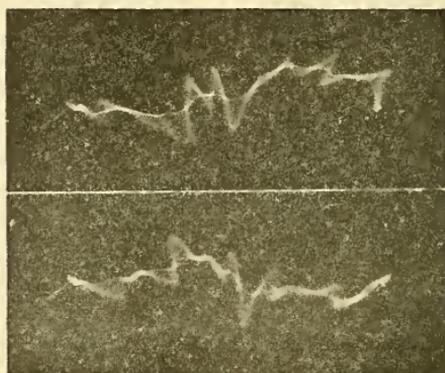


Fig. 31.

Einzelentladungen von 14 cm. Länge mit dicker Aureole im Magnetfeld.

ladungen findet man in der blauen Funkenbahn Krümmungen in gleichen Abständen wie die Ganghöhe der gewundenen Aureole. In Fig. 28 unten rechts ist sogar eine vollständige Schleife, die man im Photogramm deutlich sieht.

In einem Wechselstrommagnetfelde kommt die Drehung der Aureole nicht zu stande. Es muss daher diese Erscheinung geeignet sein, *das Magnetfeld des Induktatoriums dahin zu prüfen, ob der Magnetismus desselben während der Dauer einer Entladung die Pole wechselt oder nicht*. Nachdem wir gesehen haben, dass die Entladungen selbst einseitig gerichtet sind, mussten wir

schliessen, dass auch das Magnetfeld kein Wechselstromfeld sei, aber es fehlte uns der experimentelle Nachweis hierfür. Auch die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, dass die Gleichrichtung der Entladungen durch Verschiebungsströme zu stande kommt, selbst wenn die Magnetpole Wechseln unterworfen sind. Ändert nun der Magnetismus während einer Entladung die Pole nicht, so muss die Drehung der Aureole, wie sie im Gleich-

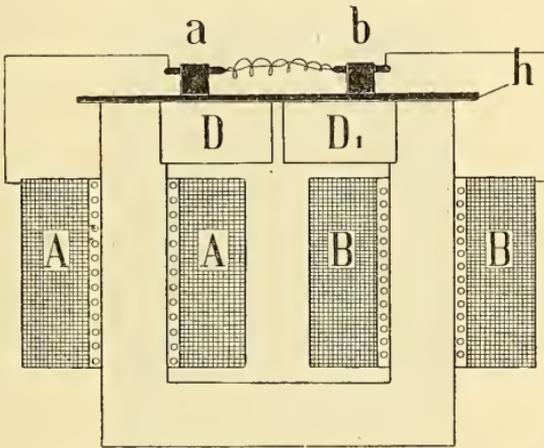


Fig. 32.

strom-Magnetfelde zu stande kommt, auch im Magnetfelde des Induktoriums zu stande kommen, falls sich dieses wirksam genug in Bezug auf die Entladung herstellen lässt. Dies zu prüfen, habe ich folgende Versuchsanordnung getroffen. Auf dem obern Querbalken eines Induktoriums mit „geschlossenem“ Eisenkern (Funkentransformator) Fig. 32 befand sich, durch eine 2 mm dicke Hartgummiplatte h isoliert, die Funkenstrecke a—b mit einem Spitzenabstand von 11,5 cm. Der Spalt in dem obern Querbalken verursacht, dass bei D und D<sub>1</sub> kräftige Magnetpole entstehen, so dass

sich ein dichtes Magnetfeld nicht nur in dem Querschnitt zwischen  $D$  und  $D_1$ , sondern auch in der nähern Umgebung des Spaltes bildet. Unter der Einwirkung dieses Magnetfeldes nun steht die Entladung zwischen  $a$  und  $b$ . Die Stärke des angewendeten Magnetisierungsstromes betrug 25 bis 30 Ampère und als Kapazität wurde der primären Unterbrecherstelle ein Kondensator von 1,2 Microf. parallel geschaltet.

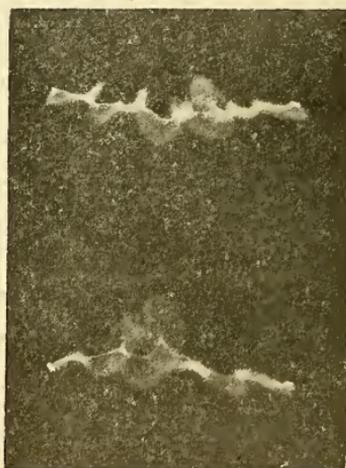


Fig. 33.

Einzelentladungen mit dicker Aureole im Magnetfeld des eigenen Induktoriums (nach Schema Fig. 32).

In diesem sehr kräftigen Felde erhielt ich nun die Drehung genau so, wie im besonders erregten Gleichstrom-Magnetfelde, wie die beiden Entladungen in Fig. 33 zeigen. Allerdings lässt sich mit dieser Anordnung die Ampère'sche Regel nicht in allen Teilen zeigen, denn die Polarität des Magnetfeldes und die Richtung der Entladung sind hierbei in der Weise von einander abhängig, als die Umkehrung des einen auch die Änderung des andern bedingt. Aber das war ja auch nicht

der Zweck, sondern wir haben hiermit experimentell gezeigt, dass *das magnetische Feld des Induktoriums unter normalen Verhältnissen kein Wechselstromfeld ist.*

### X. Nachtrag.

Es erübrigt mir noch die Besprechung der hier gezeigten Photogramme von Funkenentladungen nach einer andern Richtung hin, nämlich zu der, eigentlich viel näher liegenden Benützung derselben für die Ermittlung der Schwingungsdauer. Ganz besonders eignen müssen sich hierzu die scharf abgesetzten Linien in den Photogrammen der Figuren 19 und 21, aber auch die Charakteristik in den Figuren 22 und 24 bis 26 muss in dieser Hinsicht ziemlich genaue Resultate geben. Kennt man die Umdrehungszahl des Motors, so lässt sich aus den Abständen der Linien, bezw. den Punkten und Strichen auf der Charakteristik die Zeit von einer Entladung zur andern leicht bestimmen.

So machte zum Beispiel bei der in Fig. 19 wiedergegebenen Entladung die lichtempfindliche Platte 17 Umdrehungen in der Sekunde, und es ergibt sich hieraus die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Hauptlinien zu 0,0004 Sekunden. Wir haben gesehen, dass alle hier besprochenen Entladungen nicht oscillierende, sondern pulsierende das heisst gleichgerichtete Entladungen waren. Bei Wechselstrom oder oscillierendem Strom im allgemeinen haben wir zwei Maxima der EMK in einer ganzen Schwingung (Periode). Bei pulsierenden (gleichgerichteten) Entladungen haben wir dagegen in einer Periode nur ein solches Maximum. Es kommt demnach in unserm Falle auf eine ganze Schwingung nur *eine* Entladung, und nicht deren zwei, wie bei oscillierenden Entladungen. Hiervon ausgehend ist *die Zeit von einer*

*Entladung zur nächsten zugleich die Schwingungsdauer*, die bei unserem Photogramm Fig. 19 demnach 0,0004 Sekunden beträgt, woraus sich 2500 ganze Schwingungen in der Sekunde ergeben. Unter Benützung dieser so ermittelten Zahl in der Formel

$$\Delta_2 = \frac{J_1 \cdot 10^6}{\pi \cdot p \cdot K} \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad 1)$$

berechnet sich die bei dieser Funkenentladung von 100 cm Länge induzierte Spannung  $\Delta_2$  zu  $795 \cdot 10^3$  Volt. Dabei haben wir zu berücksichtigen, dass  $p$  in obiger Formel die Polwechselzahl, das heisst die halbe Periode bedeutete. Für  $p$  haben wir demnach einzusetzen 2.2500;  $J_1$  betrug 20 Ampère;  $K = 0,18$  Mikrof.;  $n_2 = 90000$ ;  $n_1 = 800$ .

Vergleichen wir den auf diese Weise ermittelten Wert von  $\Delta_2$  mit früher von mir aus den Messungen der Spannung des primären Extrastromes und Multiplikation derselben mit dem Windungsverhältnis beider Spulen erhaltenen Werte für  $\Delta_2$ , so finden wir durch Angliederung des Wertes an die Kurve der Fig. 7<sup>2)</sup> eine befriedigende Übereinstimmung. Wir würden daselbst durch Verlängerung der über ein Bereich von 10—90 cm. reichenden Kurve für 100 cm. etwas über  $8 \cdot 10^5$  Volt erhalten, sodass die Abweichung von höchstens 5 % dieser beiden, auf gänzlich verschiedenem Wege erhaltenen Zahlen eine Bestätigung dafür ist, dass sich die Spannung der Funkenentladungen bei genauer Kenntnis der primären und sekundären Windungszahlen einer Spule berechnen lässt entweder aus der Spannung des primären Extrastromes, oder aus der

1) l. c. p. 258. l. c. p. 862.

2) l. c. p. 250. l. c. p. 855.

Schwingungsdauer der Entladung. Da sich die Schwingungsdauer mit grösserer Genauigkeit und weniger mühsam ermitteln lässt, als die Spannung des primären Extrastromes, so ist der letztere Weg der empfehlenswertere. Für die richtige Abmessung der Isolationsstärken ist die Kenntnis der bei Funkenentladungen vorkommenden Spannungen von ausserordentlicher Wichtigkeit, und man ist erst durch diese Erkenntnis in die Lage gekommen, den Spulen jene Abmessungen zu geben, die für deren Haltbarkeit erforderlich ist. Wir sind heute nicht nur in der Lage die Windungszahl für irgend eine Funkenlänge zum voraus zu bestimmen, sondern wir können auch an Hand der von der Spule induzierten Maximalspannung die Isolationsstärken für die grössten Spulen zum voraus feststellen.

Nachdem wir gesehen haben, dass bei den Schwingungen im Induktorium Polwechsel nicht vorkommen, ist es angezeigt den Ausdruck  $p$  für die Polwechselzahl, der in obiger Formel sinnstörend ist, zu beseitigen. Setzen wir  $p = \frac{2}{T}$  wo  $T$  die Schwingungsdauer bedeutet, so erhält die Formel folgende Form:

$$\Delta_2 = \frac{J_1 T 10^6}{2 \pi K} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

worin  $J_1$  den Endwert des Magnetisierungsstromes in Ampère,  $T$  die Schwingungsdauer (hier Zeit von einer Entladungslinie zur andern),  $K$  die Kapazität des primären Kondensators,  $n_2$  und  $n_1$  die Windungszahlen der sekundären und der primären Spule bedeuten. Man darf aber die Schwingungsdauer nicht mit der, mit der Frequenz des Unterbrechers zusammenhängenden Funkenfolge bei Dauerentladungen verwechseln, es sei denn, dass die Eigenschwingungen des Funkens und die Frequenz des Unterbrechers von gleicher Grösse sind, was

weder beim elektrolytischen Unterbrecher, noch bei den nach dem Prinzip des Wagner'schen Hammers angeordneten Unterbrechern ohne weiteres der Fall sein wird. Bei den verschiedenen rotierenden Unterbrechern, deren Frequenz von der Tourenzahl des Motors abhängt, ist die Übereinstimmung von vornherein ganz ausgeschlossen. Deshalb ist die Schwingungsdauer  $T$  an „Einzelfunken“ zu bestimmen, und man kann dann zugleich durch genügend langes Eintauchen in den Quecksilberschluss den Endwert von  $J_1$  ablesen.

Ich habe wiederholt auf die grosse Wichtigkeit hingewiesen, die Windungszahlen der primären und sekundären Spulen seines Induktoriums zu kennen. Nun gibt es aber eine grosse Anzahl älterer Apparate, bei denen die Windungszahlen entweder gar nicht angegeben worden, oder deren Daten verloren gegangen sind. Für die primäre Spule bietet es in der Regel keine Schwierigkeit, die Windungen nachzuzählen, aber bei der sekundären Spule, deren Drähte in einer harten Isoliermasse eingebettet sind, ist es geradezu unmöglich, ohne Zerstörung der Spule auch nur annähernd die Windungszahl durch Nachzählen ermitteln zu können.

Mit Hilfe der Formel

$$\mathcal{A}_2 = \frac{J_1 T 10^6}{2 \pi K} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

sind wir in der Lage, durch Einschlagen des im folgenden skizzierten Weges die Windungszahl der sekundären Spule mit befriedigender Annäherung zu bestimmen.

Da die Minimalspannung einer Entladung für eine bestimmte Funkenlänge mit der Form der positiven Spitze des Entladungspoles sich ändert, so thut man gut  $\mathcal{A}_2$  für ganz bestimmte Entladungspole (positive Spitze und negative Platte) und die in Frage stehende

Funkenlänge mit Hilfe eines Induktoriums zu ermitteln, dessen Windungszahlen bekannt sind. Dabei beachte man die von Hrn. Walter <sup>1)</sup> angegebene Regel, wonach als Masstab für die thatsächliche Erreichung einer bestimmten Funkenlänge der Magnetisierungsstrom  $J_1$  nicht höher genommen werden soll, als dass von 10 Unterbrechungen 8 bis 9 Funken überspringen und 1 bis 2 Entladungen aussetzen. Indem man nun diese selben Entladungspole auf das, auf seine Windungszahl zu untersuchende Induktorium aufsetzt, ermittelt man diejenige günstigste Kapazität  $K$  und denjenigen günstigsten Magnetisierungsstrom  $J_1$  mit dem bei diesem Induktorium ebenfalls von 10 Unterbrechungen 8—9 Funken springen und 1—2 Entladungen aussetzen. Das findet statt mit der gleichen Spannung  $\mathcal{A}_2$ , die wir an dem Apparat mit bekannter Windungszahl ermittelt hatten. Aus der Schwingungszahl  $T$ , die wir durch photographische Aufnahme eines dieser Funken in bekannter Weise ermitteln, des abgelesenen Wertes für  $J_1$ , der eingeschalteten Kapazität  $K$  und unter Benützung des obigen Wertes für  $\mathcal{A}_2$  können wir das Windungsverhältnis  $n_2/n_1$  mit Hilfe obiger Formel berechnen, und erhalten daraus durch Nachzählen der Windungen auf der primären Spule die sekundäre Windungszahl. Bei der Bestimmung von  $\mathcal{A}_2$  ist es unter Umständen, insbesondere wenn die Beobachtungen zeitlich weit auseinander liegen, nötig, den Barometerstand, die Temperatur und den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu notieren, und bis auf weiteres die Prüfung der in Frage stehenden Spulen unter möglichst ähnlichen Zuständen vorzunehmen.

---

<sup>1)</sup> B. Walter, Wied. Ann. 62<sup>r</sup>p. 301. 1897.

Ich betrachte die vorliegenden Mitteilungen keineswegs als abgeschlossene Arbeit, sondern deren Ausarbeitung und Nachprüfung unter andern Versuchsbedingungen als Notwendigkeit. Die zeitraubenden Versuche neben meiner beruflichen Thätigkeit haben mich veranlasst, diese Arbeiten hiermit vorläufig abzuschliessen.

*Basel*, Mai 1902.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [15\\_1904](#)

Autor(en)/Author(s): Klingelfuss Fr.

Artikel/Article: [Untersuchungen an Induktorien an Hand der Funkenentladungen bis zu 100 cm. Funkenlänge in Luft von Atmosphärendruck 135-170](#)