**15. Untersuchungen an Inductorien
an Hand der Funkenentladungen bis zu 100 cm
Funkenlänge in Luft von Atmosphärendruck;
von Fr. Klingelfuss.¹⁾**

(II. Mitteilung.)

(Auszug aus den Verhandl. d. naturf. Gesellsch. in Basel, Bd. XV.)

(In der Gesellschaft vorgetragen am 4. December 1901.)

VI. Entladungen und deren Beobachtung.

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

Fig. 15.

Auf das Ende der Axe eines kleinen Elektromotors (Fig. 15) (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 ausbalancirt sein, um Erschütterungen beim Lauf des Motors zu vermeiden. Das photographische Objectiv wird auf einem Tische befestigt, während sich der vorerwähnte

1) Fortsetzung von Fr. Klingelfuss, Ann. d. Phys. 5. p. 871. 1901

Motor mit der Platte behufs Einstellung auf dem Tische verschieben lässt. Für die Einstellung wird an Stelle der lichtempfindlichen Platte ein weisser Carton eingelegt. Bei kurzen Entladungen lässt sich auch die Funkenstrecke auf dem Tische unterbringen, während für lange Funken Tisch und Inductorium, letzteres mit direct aufmontirter Funkenstrecke in passender Entfernung aufgestellt werden. Die Grösse der Holzscheibe ist so bemessen, dass sowohl Platten von Format 13×18 cm, als auch solche von 9×12 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. 22 p. 1207 oder aber, dass die Endpunkte auf entgegengesetzten Seiten davon liegen, wie in Fig. 18 p. 1202 und ausserdem im letzteren Falle so, dass die kräftige Lichtwirkung der Entladungspole auf der Platte Kreise von verschiedenen Durchmessern beschreibt, wie in Figg. 23—25 p. 1207 u. 1208. 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 constant erhalten, und die photographische Platte bleibt dabei stets im Felde des photographischen Objectives. 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 Tab. IX die Magnetisirungsstromstärken J_1 an, die ich bei verschiedenen 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 Einzelentladungen in Luft von Atmosphärendruck zwischen positiver Spitze und negativer Platte bei einem In-

ductorium für 100 cm Funkenlänge, dessen primäre Spule 800, und dessen secundäre Spule 90000 Windungen einer auf das sorgfältigste hergestellten Spiralstaffelwicklung besitzt. Der der primären Unterbrecherstelle parallel geschaltete Condensator hatte eine unveränderte Capacität von 0,18 Mikrofarad während der ganzen Beobachtungsreihe. Um den Einfluss einer schnellen Funkenfolge auf die Aenderung des Widerstandes in der Funkenstrecke zu verhindern, wurde die Ablesung vorgenommen, derart, dass zwischen zwei sich folgenden Entladungen mindestens 10 Sec. 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 Tab. IX sind in Fig. 16 für die obere Grenze der Büschelentladung (Curve *A*), die intensiv

Fig. 16.

blaue Funkenentladung (Curve *C*) und die Entladung mit sehr dicker Aureole (Kurve *E*) graphisch dargestellt, als Abscissen die Funkenlänge (f_2), als Ordinaten die Magnetisierungsstrom-

stärken J_1 . (Eine Curve für den Beginn der blauen Funkenentladung würde sich mit der Curve A für die obere Grenze der Büschelentladung nahezu decken.)

Aus den in Tab. 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 Curve C , Fig. 16, 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 direct oder auf der bewegten photographischen Platte sichtbare Aureole beginnt.

Ferner zeigt die Zusammenstellung in Tab. 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 Condensator von grösserer Capacität 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 Inductorien mit rationellen Unterbrechern ähnlich demjenigen guter Transformatoren sein muss, verhalten sich die Stromstärken in der primären und secundären Spule umgekehrt wie die Windungszahlen. Hiernach ist in obigem Falle in der Entladung mit dicker Aureole eine etwa viermal grössere Elektrizitätsmenge zum Ausgleich gekommen, als im blauen Funken. Aehnlich verhält es sich bei den übrigen Funkenlängen unterhalb 50 cm.

VII. Photogramme von blauen Funkenentladungen.

Wenn man blaue Funkenentladungen auf eine rotirende lichtempfindliche Platte photographirt, so beobachtet man, dass ein „Einzelfunke“ aus einer bis zu mehreren Theilentladungen 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 Curve C, (Fig. 16 p. 1200) mit dem höchstmöglichen Magnetisierungsstrom erhaltenen blauen Entladungen, ohne dass die Aureole dabei bemerkbar wird.

Fig. 17.

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

Die Fig. 17 zeigt uns das Bild des etwa zwölfmal verkleinerten intensiv blauen *Funken*s von 100 cm Länge, der mit einem Magnetisierungsstrom von 20 Amp. erhalten wurde. Die photographische Platte wurde bei dieser Aufnahme nicht bewegt. Photographiren wir einen ähnlichen Funken gleicher Länge auf eine Platte, die mit 17 Umdrehungen in der Secunde

Fig. 18.

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

rotirt, so zeigt er das Aussehen der Fig. 18, 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 Originalphotogramm noch weitere feine Nebenlinien vorhanden, 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 herangetreten, 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, sodass 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} Sec. entspricht, ferner die sehr geringe Intensität in diesen Nebenentladungen und schliesslich der Umstand, dass die Schwingungs-

Fig. 19.

dauer von Linie zu Linie grösser wird, lassen vermuten, dass sie Entladungen sind, entsprechend denjenigen Hertz'scher Primärleiter, die die etwa 60 cm hohen Metallstangen der Funkenständer hier bilden. Die Selbstinduction in der secundären 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 Hertz'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. 18 zeigt, geben uns in dem Fall das Entladungsdiagramm Fig. 19, als Abscissen

die Zeit, als Ordinaten die Potentialdifferenz. Wir dürfen aber nicht ausser acht lassen, dass die oscillatorischen Nebenentladungen eine secundäre Erscheinung sind, und nur dann zu stande 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 Secundärspule inducirten Entladungen sind unzweifelhaft sämtlich 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 ge-

Fig. 20.

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

Das Bild reicht nur auf 30 cm vom positiven Entladungspol.

zogen, ein Zeichen wie schnell in Bezug auf die Dauer einer Schwingung, d. i. von 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. 20 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. 18 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. 20) bei den dem Auge dicker scheinenden Entladungen, kleiner bei dünnen, sodass oft nur zwei Linien erhalten wurden. Ueberhaupt 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 Tab. IX. zusammengestellten Beobachtungen überein, wonach mit zunehmender Funkenlänge die Intensität in der blauen Entladung grösser wird, bevor die Aureole beginnt.

Die Thatsache, dass selbst bei den Entladungen von 100 cm Länge die sämtlichen Linien einer Entladung von Pol zu Pol sichtbar sind (Fig. 18), widerspricht der Anschauung, dass der Funke nicht auf einmal in seiner ganzen Länge von Pol zu Pol zu stande komme. Bei Büschelentladungen durchschlägt der entstehende Funke die Bahn nicht sogleich, sondern die sich folgenden Entladungen werden von Fall zu Fall entsprechend der vorrückenden Ionisirung der Luft und der damit offenbar zusammenhängenden Widerstandsverminderung länger, bis schliesslich der Funke 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 Ionisirung des Luftcanales 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.¹⁾ Im Gegenteil zeigen die Figg. 18 und 20, dass das Entladungspotential so ausserordentlich schnell zu seinem höchsten Werte ansteigt, dass Vorentladungen gar nicht zu stande 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 Ionisirung des Luftcanales 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 Funkenentladungen mit Aureole.

Ueberschreiten wir die bei einer bestimmten Funkenlänge für die intensiv blaue Entladung erforderliche Magnetisirungs-

1) Vgl. B. Walter, Wied. Ann. 66. p. 636. 1898; 68. p. 776. 1899.

stromstärke 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, giebt die photographische Platte weit zuverlässigeren Aufschluss als unser Auge. Fig. 21 zeigt uns das Photogramm einer Entladung von 20 cm Länge, bei der die Aureole eben begonnen hat, sodass sie das Auge wegen der grellen Lichtwirkung im blauen Funken noch nicht sicher zu erkennen vermochte. Wir sehen aber in Fig. 21 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

Fig. 21.

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

Lichtwirkung der Aureole am negativen Entladungspol her. Die Aureole selbst war so schwach, dass von ihrer Bahn auf dem Photogramm nicht die geringste Wirkung zurückgeblieben ist. Wird die Aureole dicker, so beschreibt die Lichtwirkung an den Entladungspolen bei mässig schnell bewegten Platten zusammenhängende Kreislinien von ziemlicher Ausdehnung. Bei der Fig. 22, einer Entladung von 3 cm Länge mit dicker Aureole, umschreiben die Kreisbogen einen Winkel von über 200° , wobei die Platte mit 13 Umdrehungen in der Secunde bewegt wurde. Es ergibt sich hieraus eine Dauer für die Entladung der Aureole von über 0,04 Sec., während der blaue Funke, in der Figur die dünne radial verlaufende Verbindungslinie beider Kreislinien am Anfange derselben, in einer ausserordentlich kleinen Zeit verlaufen 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, denn 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 9×12 cm besser auszunützen, das heisst für die Beobachtung geeignetere Bilder zu bekommen, habe

Fig. 22.

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

Fig. 23.

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

ich die Einstellung so getroffen, dass der positive Entladungspol auf der einen, der negative auf der anderen Seite vom Plattenmittelpunkt sich befindet, so jedoch, dass die von diesen Polen beschriebenen Kreise verschiedene Durchmesser erhalten, wie in Fig. 23. 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 zu können. Besser gelingt uns das bei den Photogrammen der Figg. 24 und 25. 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. Da wo die hellen, von den Entladungen herrührenden Schichtungen enden, wird

Fig. 24.

Fig. 25.

Einzelentladungen von 6,5 cm Länge mit dicker Aureole auf eine mit passender Geschwindigkeit bewegte Platte photographirt. Charakteristik auf dem positiven (innern) Kreisbogen.

auch die Kreislinie heller, in den dunklen Zwischenräumen zwischen zwei Schichtungen 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 Ablösung deutlicher ausfällt.

Beobachtet man diese Charakteristik in den Figg. 24 und 25 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 Ueber-

einstimmung derselben, solange 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 Figg. 24 und 25 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 unseren 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 pulsiren*, sondern zwei nebeneinander herlaufende, besondere Ströme sind. In den Figg. 24 und 25 liegen die Phasen um annähernd 180° auseinander. Wir sind in der Lage uns an Hand der Charakteristik der Figg. 24 und 25 ein Entladungsdiagramm ähnlich wie in Fig. 19 zu construiren, zu welchem Zweck wir der besseren Uebersicht wegen den vom positiven Pol beschriebenen Kreis (die Charakteristik) abwickeln (Fig. 26 a), dann geben uns im Entladungsdiagramm Fig. 26 b die Abscissen die Zeit, die Ordinaten die Entladungen, die Curve *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 Charak-

teristik 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 Curve 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 Curve der blauen Entladungen nach und nach verflacht. Die Curve für die Entladungen der Aureole verläuft nach der Charakteristik der Figg. 24 und 25 derart, dass sie sich mit der Curve der blauen Entladung schert. Auf der Charakteristik zeichnet

Fig. 26.

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 Curve 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 oscillirend sind. Ferner erkennt man an der charakteristischen Verdickung der blauen Entladungslinie nach dem negativen Pol hin, dass die Entladung der blauen Funken und diejenige der

Aureole in der gleichen Richtung erfolgt. (Diese Verdickung zeigt sich nicht immer, und bei grossen 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 Curve für die Aureole nach der gleichen Richtung hin aufzutragen wie diejenige für die blaue Entladung. Auf der Charakteristik der Figg. 24 und 25 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 Curve der Aureole sich immer mehr verflacht und dass da, wo die Linie auf der Charakteristik einen continuirlichen Verlauf hat, die Pulsationen ganz aufgehört haben müssen und *die Entladung in continuirlichem Fluss übergegangen ist*. Das findet dann statt, wenn die Schwingungen beider Curven eine gleich grosse Amplitude haben und entgegengesetzt gerichtet sind. Bei Wechselstrom würde in diesem Falle die Summe beider Curven in jedem Augenblick gleich Null sein, bei pulsierendem Gleichstrom dagegen addiren sich die beiden Curven in jedem Augenblick zu dem Maximalwert jeder einzelnen Curve. Es ist dies unter anderem ein weiterer Beweis dafür, dass diese Entladungen pulsirender Gleichstrom, und kein Wechselstrom sind. Mit abnehmender Intensität der Aureole wird die Phasendifferenz zwischen den beiden Curven kleiner, was man in der Fig. 21, p. 1206 deutlich erkennen kann.

Die blaue Funkenentladung 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 pulsirend sind, und deren Pulsationen dann einen ununterbrochenen Abfluss¹⁾ der Entladung herbeiführen, wenn ihre Amplituden entgegengesetzt gerichtet und in jedem Augenblick von gleicher Grösse sind.

1) Man vgl. R. Colley, Wied. Ann. 44. p. 115 ff. 1891.

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

Durch Studium der Gestalt der Aureole im Magnetfeld des eigenen Inductoriums wurde das Resultat erhalten, dass *das magnetische Feld des Inductoriums unter normalen Verhältnissen kein Wechselstromfeld ist*. Hinsichtlich des Näheren verweise ich auf meine in den Verhandlungen zu Basel¹⁾ erschienene Arbeit, wo diesbezügliche Photogramme publicirt sind.

X. Ermittlung der Schwingungsdauer aus den Photogrammen.

Ganz besonders eignen müssen sich hierzu die scharf abgesetzten Linien in den Photogrammen der Figg. 18 und 20, aber auch die Charakteristik in den Figg. 21 und 23 bis 25 muss in dieser Hinsicht ziemlich genaue Resultate geben. Kennt man die Umdrehungszahl des Motors, so lässt sich aus den Abständen der Linien bez. den Punkten und Strichen auf der Charakteristik die Zeit von einer Entladung zur anderen leicht bestimmen.

So machte z. B. bei der in Fig. 18 wiedergegebenen Entladung die lichtempfindliche Platte 17 Umdrehungen in der Secunde, und es ergiebt sich hieraus die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Hauptlinien zu 0,0004 Sec. Wir haben gesehen, dass alle hier besprochenen Entladungen nicht oscillirende, sondern pulsirende, d. h. gleichgerichtete Entladungen waren. Bei Wechselstrom oder oscillirendem Strom im allgemeinen haben wir zwei Maxima der elektromotorischen Kraft in einer ganzen Schwingung (Periode). Bei pulsirenden (gleichgerichteten) Entladungen haben wir dagegen in einer Periode nur ein solches Maximum. Es kommt demnach in unserem Falle auf eine ganze Schwingung nur *eine* Entladung, und nicht deren zwei, wie bei oscillirenden Entladungen. Hiervon ausgehend ist *die Zeit von einer Entladung zur nächsten zugleich die Schwingungsdauer*, die bei unserem Photogramm Fig. 18

1) Fr. Klingelfuss, Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Basel. 15. p. 158—165. 1902.

demnach 0,0004 Sec. beträgt, woraus sich 2500 ganze Schwingungen in der Secunde ergeben. Unter Benützung dieser so ermittelten Zahl in der Formel

$$A_2 = \frac{J_1 10^6}{\pi p \cdot K} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

berechnet sich die bei dieser Funkenentladung von 100 cm Länge inducirte Spannung A_2 zu $796 \cdot 10^3$ Volt. Dabei haben wir zu berücksichtigen, dass p in obiger Formel die Polwechsel, d. h. die halbe Periode bedeutete. Für p haben wir demnach einzusetzen 2.2500; J_1 betrug 20 Amp.; $K = 0,18$ Mikrof.; $n_2 = 90000$; $n_1 = 800$.

Vergleichen wir den auf diese Weise ermittelten Wert von A_2 mit früher von mir aus den Messungen der Spannung des primären Extrastromes und Multiplication derselben mit dem Windungsverhältnis beider Spulen erhaltenen Werte für A_2 , so finden wir durch Angliederung des Wertes an die Curve der Fig. 7²⁾ eine befriedigende Uebereinstimmung. Wir würden daselbst durch Verlängerung der über ein Bereich von 10—90 cm reichenden Curve für 100 cm etwas über $8,10^5$ Volt erhalten, sodass die Abweichung von höchstens 5 Proc. dieser beiden, auf gänzlich verschiedenem Wege erhaltenen Zahlen eine Bestätigung dafür ist, dass sich die Spannung der Funkenentladungen bei genauer Kenntnis der primären und secundären Windungszahlen einer Spule berechnen lässt entweder aus der Spannung des primären Extrastromes, oder aus der 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

1) Fr. Klingelfuss, Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Basel 13. p. 258. 1901; Ann. der Phys. 5. p. 862. 1901.

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

ist. Wir sind heute nicht nur in der Lage die Windungszahl für irgend eine Funkenlänge im voraus zu bestimmen, sondern wir können auch an Hand der von der Spule inducirten Maximalspannung die Isolationsstärken für die grössten Spulen im voraus feststellen.

Nachdem wir gesehen haben, dass bei den Schwingungen im Inductorium Polwechsel nicht vorkommen, ist es angezeigt den Ausdruck p für die Polwechselzahl, der in obiger Formel sinnstörend ist, zu beseitigen. Setzen wir $p = 2/T$, 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 Magnetisirungsstromes in Ampère, T die Schwingungsdauer (hier Zeit von einer Entladungslinie zur anderen), K die Capacität des primären Condensators, n_2 und n_1 die Windungszahlen der secundären 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 Princip des Wagner'schen Hammers angeordneten Unterbrechern ohne weiteres der Fall sein wird. Bei den verschiedenen rotirenden Unterbrechern, deren Frequenz von der Tourenzahl des Motors abhängt, ist die Uebereinstimmung 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 secundären Spulen seines Inductoriums zu kennen. Nun giebt 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 secundären Spule, deren Drähte in

einer harten Isolirmasse eingebettet sind, ist es geradezu unmöglich, ohne Zerstörung der Spule auch nur annähernd die Windungszahl durch Nachzählen ermitteln zu können.

Mit Hülfe der Formel

$$\Delta_2 = \frac{J_1 T 10^9}{2 \pi K} \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

sind wir in der Lage, durch Einschlagen des im Folgenden skizzirten Weges die Windungszahl der secundären 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 Δ_2 für ganz bestimmte Entladungspole (positive Spitze und negative Platte) und die in Frage stehende Funkenlänge mit Hülfe eines Inductoriums zu ermitteln, dessen Windungszahlen bekannt sind. Dabei beachte man die Regel, wonach als Maassstab für die thatsächliche Erreichung einer bestimmten Funkenlänge der Magnetisirungsstrom J_1 nicht höher genommen werden soll, als dass von 10 Unterbrechungen 8—9 Funken überspringen und 1—2 Entladungen aussetzen. Indem man nun diese selben Entladungspole auf das auf seine Windungszahl zu untersuchende Inductorium aufsetzt, ermittelt man diejenige günstigste Capacität K und denjenigen günstigsten Magnetisirungsstrom J_1 , mit dem bei diesem Inductorium ebenfalls von 10 Unterbrechungen 8—9 Funken springen und 1—2 Entladungen aussetzen. Das findet statt mit der gleichen Spannung Δ_2 , die wir an dem Apparat mit bekannter Windungszahl ermittelt hatten. Aus der Schwingungsdauer T , die wir durch photographische Aufnahme eines dieser Funken in bekannter Weise ermitteln, des abgelesenen Wertes für J_1 , der eingeschalteten Capacität K und unter Benützung des obigen Wertes für Δ_2 können wir das Windungsverhältnis n_2/n_1 mit Hülfe obiger Formel berechnen, und erhalten daraus durch Nachzählen der Windungen auf der primären Spule die secundäre Windungszahl. Bei der Bestimmung von Δ_2 ist es unter Umständen, insbesondere wenn die Beobachtungen zeitlich weit auseinander liegen, nötig, den Barometerstand, die Temperatur und den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu notiren

und bis auf weiteres die Prüfung der in Frage stehenden Spule unter möglichst ähnlichen Zuständen vorzunehmen.

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

Basel, Mai 1902.

(Eingegangen 8. October 1902.)