© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

I. Geschichtete Dauerentladung in freier Luft (Büschellichtbogen) und Righi'sche Kugelfunken.

Von Dr. Max Toepler.

(Mit Tafel I.)

An anderem Orte*) habe ich angegeben, wie man leicht geschichtete elektrische Entladungen in freier Luft erhalten kann und zugleich nachgewiesen, dass die Gesetze der Schichtenbildung ähnlich sind denen der bekannten Schichtung des sogenannten Anodenlichtes in stark evacuirten Rohren.

Ich stellte mir nun die Aufgabe, erstgenannte geschichtete Entladungsart in ihrer Gestalt und Farbenanordnung der einzelnen Lichtschichten über einen möglichst grossen Druckbereich zu verfolgen. Es zeigte sich hierbei, dass im ganzen Bereiche von Atmosphärendruck bis zu 0,01 cm Quecksilberdruck abwärts eine einheitliche Beschreibung der in Rede stehenden Erscheinung möglich ist, worüber im Nachfolgenden berichtet wird. Es wird sich dabei zeigen, dass eine von Herrn A. Wüllner**) beobachtete Form der Ruhmkorffentladung, sowie eine von Herrn A. Righi***) eingehend untersuchte stark verlangsamte Entladungsart grosser Leydener Batterien (von ihm „Kugelfunken" genannt) mit der von mir behandelten geschichteten Entladung identisch sind, nur beschränken sich die Untersuchungen von Herrn Wüllner und Herrn Righi auf Drucke zwischen 5 und 1 cm. Die nähere Beschreibung der Lichterscheinungen im Uebergangsgebiete zwischen Kugelfunken und der bekannten gewöhnlichen geschichteten Entladung (in Geisslerröhren bei niedrigstem Drucke) wird ergeben, dass in demselben Rohre bei gleichem Drucke je nach der Stromstärke beide schichtenbildenden Entladungsarten auftreten können.

Bei der bedeutenden Veränderlichkeit der Schichtenstellung je nach der Stromstärke ist sowohl die Ruhmkorff- als auch die (durch Widerstände im Schliessungskreise stark verlangsamte) Batterieentladung zur Untersuchung der Schichtung wenig geeignet, da bei beiden die Stromstärke während jeder einzelnen Entladung variirt. Ich habe daher in vorliegender Notiz von diesen Hilfsmitteln abgesehen und einfach den directen Strom

---

*) M. Toepler, Wied. Ann. 63, 1897, p. 109.
**) A. Wüllner, Pogg. Ann. Jubelband 1874, p. 32.
***) A. Righi, Lum. Electr. 42, 1891, p. 501 u. 604; Mem. Accad. Bol. 1895, p. 445.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

einer 60 plattigen Toepler'schen Maschine benutzt*). Der Maschinenstrom ist bei Einschaltung grosser Flüssigkeitswiderstände als nahe constant zu betrachten; auch ist seine mittlere Intensität, wie bekannt, innerhalb recht weiter Grenzen unabhängig von der Spannungsdifferenz der Maschinenpole, er bot also für meinen Zweck ganz besonders günstige Verhältnisse.

Die Art des entstehenden Entladungsvorganges in einer im Stromkreise befindlichen Funkenstrecke hängt ausser von der mittleren Stromstärke vor Allem ab von der Grösse und Anordnung eingeschalteter Widerstände, der Schlagweite, dem Drucke der Luft im Schlagraume und der Temperatur in letzterem. Die Entladung kann dem zeitlichen Verlaufe nach ausgesprochen discontinuirlich, nahe continuirlich oder, soweit zu erkennen, continuirlich sein**); eine scharfe Grenze zwischen diesen Entladungsarten giebt es freilich nicht. In vorliegender Arbeit wird nun fast ausschliesslich die Schichtenbildung bei nahe continuirlicher Entladung (Dauerentladung) behandelt werden; als nahe continuirlich glaube ich die untersuchte Art von elektrischen Lichtbogen, abgesehen von anderen Gründen, deshalb bezeichnen zu dürfen, weil sie, wie man im rotirenden Spiegel erkennt, zumeist zwar aus einer zeitlich mehr oder minder zusammengedrängten Reihe von Partialentladungen bestand, zwischen denen jedoch der Lichtbogen nie ganz erlosch (vergl. z. B. Phot. 17). Seine Intensität schwankte nur zwischen mehr oder minder einander an Lichtstärke nahe kommenden Leuchtmaximis und Minimis ***).

Herr O. Lehmann unterscheidet bekanntlich†) vier Typen der (leuchtenden) Entladung durch Gase, Glimm-, Büschel-, Streifen- und Funkenentladung. Will man eine Zuordnung vornehmen, so hätte man die geschichtete Dauerentladung (nahe continuirliche Entladung) und demnach auch die Righi'schen Kugelfunken als specielle Fälle der Büschelentladung aufzufassen; man würde sie dann zweckmässigerweise als **„Büschellichtbogen“** zu bezeichnen haben. Ich halte es jedoch für möglich, dass bei eingehenderem Studium die nahe continuirliche Entladungsform den Weg zu einer einheitlichen Beschreibung aller Entladungsformen durch Luft zeigen wird.

Um eine klare und richtige Auffassung der Lichterscheinungen zu erleichtern, glaubte ich, soweit es möglich war, besonderes Gewicht auf eine Ergänzung des Textes und seiner Figuren durch photographische Darstellungen legen zu müssen. Ich habe deshalb von meinen mehr als 400 Einzelaufnahmen der Entladungen die am meisten charakteristischen auf der beigegebenen Tafel No. I mitgetheilt. Ein Verzeichniss der Photogramme mit Angaben über zugehörige Einzelheiten findet sich am Schlusse

---

*) Nur wo die Stromstärke der benutzten Maschine nicht voll ausreicht, habe ich ganz vorübergehend zur langsamen Batterieentladung gegriffen.

**) Ob es im strengsten Sinne continuirliche Entladung selbst durch verdünnte Gase überhaupt giebt, ist bekanntlich noch immer zweifelhaft.

***) Schaltet man in den Schliessungskreis einer grösseren Influenzmaschine hintereinander ein Geisslerrohr und eine Funkenstrecke, so erhält man in ersterem keine Schichtenbildung, solange in der Funkenstrecke der Maschinenstrom in Form einer Reihe zeitlich getrennter Einzelfunken übergeht (vergl. E. Wiedemann, Wied. Ann. 20, 1883, p. 760). Schichtung im Geisslerrohre trat aber in der Regel mit dem Augenblicke ein, in dem in der Funkenstrecke an Stelle der Einzelfunken nahe continuirliche Entladung zur Ausbildung kam; dies rechtfertigt gleichfalls die Bezeichnung „nahe continuirlich“.

†) O. Lehmann, Wied. Ann. 11, 1880, p. 687; 22, 1884, p. 305.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

der Abhandlung. Es sei jedoch schon hier vorausbemerkt, dass die Photogramme 1 bis 16, 23 bis 31 und 36 bis 45 Lichterscheinungen wiedergeben, welche bei constantem Drucke und constanter Stromstärke beliebig lange (stundenlang) nahe ungeändert dauernd die gleichen bleiben. Die Photographien 1 bis 11 zeigen derartige Dauererscheinungen in freier Luft, desgleichen 12 bis 16 in Glasröhren bei Atmosphärendruck, 23 bis 31 bei etwa 5 cm Druck, 36 bis 45 schliesslich bei niedrigsten Drucken unter 0,02 cm). Die Photogramme 17 bis 21 geben geschichtete Batterieentladungen in freier Luft wieder.

Die Lichterscheinungen in unmittelbarer Nähe der Kathode sind bei höheren Drucken wegen ihrer geringen räumlichen Ausdehnung nur auf Original-Photogrammen klar zu unterscheiden*). Es sei daher schon hier ein für alle Mal bemerkt, dass bei nahe continuirlicher Entladung (ganz wie bei den bekannten Lichterscheinungen in Geisslerröhren) bei allen Drucken an der Kathode auftreten:

der dunkele (Goldstein's) Kathodenraum,
das helle Kathodenlicht,
der Trennungsraum**) (Faraday's Dunkelraum),

auf letzteren folgten dann die übrigen Lichter, deren Beschreibung Aufgabe der vorliegenden Arbeit sein wird.

I. Nahe continuirliche Entladung (Büschellichtbogen) in freier Luft.

Im Vergleiche zu den Lichterscheinungen in sehr verdünnten Räumen erscheint die geschichtete Entladung in freier Luft als ein räumlich sehr zusammengedrängtes Gebilde. Besonders der interessanteste Theil, das Funkengebiet in der Nähe des negativen Poles, ist so zusammengeschrumpft, dass eine genaue Beobachtung desselben schwer ist. Wir denken uns daher die für die Beobachtung günstigste Versuchsanordnung hergestellt: negativer Maschinenpol, metallische Leitung, negative Polspitze — Funkenstrecke mit Halbleiter (Basaltplatte)***) — positive Polspitze, metallische Leitung, positiver Maschinenpol.

1. Metallspitze Kathode — Halbleiter Anode.

Liegt der Halbleiter an der positiven Metallspitze an, so beobachtet man, solange der Schlagraum zwischen ihm und der negativen Polspitze klein ist, bei wachsender Stromstärke Folgendes:

Bei geringer Stromstärke tritt an der Metall-Kathode zunächst der bekannte negative Büschel auf, bestehend aus hellster weissvioletter Aus-

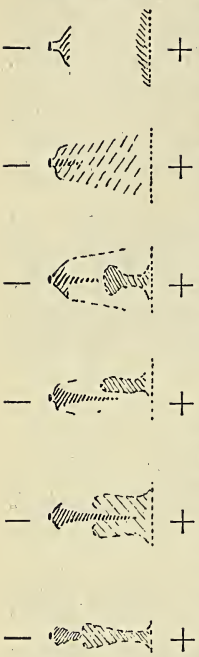
*) Von den Reproductionen auf Taf. I lässt Phot. 21 manche Details recht gut erkennen.

**) Diese Bezeichnungen sind von E. Wiedemann eingeführt; vergl. Wied. Ann. 20, 1883, p. 757.

***) Die Vorzüge speciell des Basaltes bestehen darin, dass in ihm ein gegen Zerstörung widerstandsfähiges, leitendes Material (Magnetit) in kleinsten Theilen gleichmässig vertheilt ist, während in dem sonst auch recht geeigneten Schiefer die Kohletheilchen rasch verbrennen. Auch zwischen Metallkathode und einer Alkoholoberfläche als Anode erhielt ich schön geschichtete Kugelfunken. Selbst vorgeschaltete Geisslerrohre können die Ausbildung geschichteter nahe continuirlicher Entladung in freien Luftstrecken begünstigen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Fig. 1—6.



trittsfläche (dem hellen Kathodenlichte) und dem von ihm durch einen verwaschenen dunklen Trennungsraum geschiedenen Büschel (Fig. 1). Aus der Mitte des Letzteren wächst bei gesteigerter Stromintensität eine rosa gefärbte Lichtspitze heraus (Fig. 2), welche bei weiter vermehrter Stromstärke nach dem Halbleiter zu sich verlängert. Die Oberfläche des Halbleiters, d. h. die Anode, zeigt unterdessen folgende Lichtentwickelung. Aus einer violetten Lichthaut (Phot. 1) wächst ein violetter Lichtpilz*) heraus (Fig. 3). Trifft bei grösserer Stromintensität der positive Lichtpilz mit der negativen Lichtspitze zusammen, so weicht er ihr aus (Fig. 4 und Phot. 2). Diese Deformation, sowie die Rotation, welche der deformirte Lichtpilz bei weiter vermehrter Stromstärke um die negative Lichtspitze zuweilen ausführt (Fig. 5 und Phot. 3) dürfte durch den von der negativen Polspitze ausgehenden heissen Luftstrom veranlasst werden. Schliesslich verschmelzen die beiden Theile der Lichterscheinung (Fig. 6 sowie Phot. 4 und 5); hierbei wird, soviel sich erkennen liess**), die Lichtspitze zur ersten Schicht, d. h. zum zweiten Lichte (das helle Kathodenlicht als erstes gezählt), der Lichtpilz zur zweiten Schicht, d. h. zum dritten Lichte. Der Abstand des dritten Lichtes von der Kathode nimmt mit weiter gesteigerter Stromstärke erst rasch, dann langsamer ab (Phot. 6, 7 und 8 zeigt dies bei grösserer Schlagweite***); hierbei ändert sich auch die Färbung der einzelnen Dauerfunkentheile in der Weise, dass die Lichtspitze (resp. erste Schicht) ziegelrothe, der Lichtpilz (resp. zweite Schicht) dagegen karminrothe Färbung annimmt†).

Der geschilderte allmähliche Uebergang aus Büschelentladung in die nahe continuirliche liess sich nur bei der hier angegebenen Versuchsanordnung und nur bei kleinen Schlagweiten (unter 0,5 cm) beobachten. Im Allgemeinen tritt bei successiver Stromvermehrung zunächst ein Funkenstrom an die Stelle der Büschelentladung und erst bei wesentlich höherer Stromintensität geht die zeitlich discontinuirliche Funkenfolge in Dauerentladung über. Letztere erscheint dann sogleich in dem der Poldistanz und Stromstärke entsprechenden Entwickelungsstadium (Phot. 9 zeigt vergrössert dieses Stadium für 2 cm Schlagweite). Die längsten Dauerfunken, die ich erhalten konnte, waren ca. 8 cm lang (Phot. 10 zeigt verkleinert Dauerentladung bei 5 cm Schlagweite, vergl. auch Phot. 11). Die Lichtgestalt langer Funken differirt von der kurzer nur insofern, als zu

*) Der obere Theil des Pilzes kann sich bei constant erhaltenem Strome von dem Stiele ablösen und nach der Kathode zu in Bewegung setzen, wobei er rasch verblasst; das neu entstehende Pilzende kann dies wiederholen u. s. f. (Vergl. hierzu Abschnitt 8 und Fig. 18.)

**) Dieser Uebergang bedarf noch eingehenderer Untersuchung; wahrscheinlich liegen genau genommen die Verhältnisse nicht immer ganz so einfach, wie hier geschildert ist.

***) Ueber die Abhängigkeit des Kathodenabstandes des zweiten Lichtes von der Stromstärke vergl. das Ende des sechsten Abschnittes.

†) Besonders deutlich tritt dieser Unterschied der Färbung bei niedrigeren Gasdrucken hervor. Man kann diese Färbung als typisch für Luft (bei mittleren Stromstärken) ansehen. Vergl. auch O. Lehmann, Zeitschr. f. phys. Chemie, XVIII, p. 104.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

der ersten karminrothen Schicht noch weitere hinzutreten, einfache Wiederholungen der ersten. Es erscheint mir daher zweckmässig, die Schichtenzählung nicht mit dem oben als ziegelroth (in Luft) gekennzeichneten Lichte zu beginnen, sondern mit der ersten karminrothen Schicht.

Die vollständige Lichtgestalt der Dauerentladung zerfällt also in: [Metallkathode] helles weissviolettes Kathodenlicht mit Trennungsraum — zweites (ziegelrothes) Licht — drittes, karminrothes Licht, eventuell in eine Anzahl karminrother Schichten zerfallend — Anodendunkelraum — zahlreiche aequivalente*) positive Glimmlichtpunkte [Halbleiter].

Für die Schichtung des karminrothen Lichtes gilt nun:

Die Schichten haften an der Kathode; (genauer in Hinsicht auf Abschnitt 4 und 7: Die Schichten des negativen Antheiles haften an der Kathode; bei Schlagweitenvergrösserung treten mehr und mehr neue Schichten aus der ausgezeichneten Stelle resp. dem dunklen Anodenraume hervor, und umgekehrt verschwinden sie daselbst bei Schlagweitenverkleinerung).

Mit wachsender Stromstärke verringert sich sowohl der Abstand der ersten (karminrothen) Schicht von der Kathode, als auch der gegenseitige Schichtenabstand; bei constanter Schlagweite treten demnach zu den schon vorhandenen neue Schichten aus der Anode (genauer: aus der ausgezeichneten Stelle resp. dem Anodendunkelraume) hervor.

Die Schichten sind wahrscheinlich völlig aequidistant, wenn die Entladungsbahn gleich breit, d. h. die Stromdichte auf derselben die gleiche bleibt**).

Die Schichten wenden in freier Luft der Kathode stets die abgekugelte, der Anode die zugespitzte Seite zu (vergl. Phot. 5 bis 11 sowie 19; Phot. 12 bis 16, Schichten in Glasröhren zeigend, gehören nicht hierher).

Während der Dauerentladung herrscht in der Nähe der Funkenbahn eine starke Luftbewegung von der Kathodenspitze nach dem Halbleiter hin. Mit dem bekannten Schlierenapparate meines Vaters erkennt man, dass sich an die Kathodenspitze ein Kegel heisser Luft ansetzt, dessen Spitze das helle Kathodenlicht ist. In der Nähe der Kegelachse befindet sich der Dauerfunken, d. h. der leuchtende Theil des gesammten Entladungsvorganges. Bei Anwendung momentaner Beleuchtung konnte ich mit dem Schlierenapparate erkennen, dass in den leuchtenden Dauerfunkentheilen (karminrothen Schichten) eine höhere Temperatur herrscht als in den dunklen Zwischenräumen***).

Im langsam rotirenden Spiegel erscheint der Dauerfunken meist als mattes Lichtband, welches von hellen Partialentladungen durchsetzt ist (vergl. die Einleitung). Man bemerkt nun folgende auffallende Thatsache. Die Bilder der Partialentladungen stehen um so schiefer im Lichtbande, je rascher der Spiegel rotirt; der Sinn der Neigung hängt vom Sinne der Spiegel-

*) „Aequivalent" in dem Sinne, als sie zusammen eine einzige ausgedehntere Glimmfläche ersetzen.

**) Da bei Gegenüberstellung von Metallspitze und Halbleiter die Strombahn sich nach dem Halbleiter zu öffnet und somit die Stromdichte abnimmt, so drängen sich die Schichten meist nach der Metallspitze zu etwas zusammen. Siehe Phot. 17, 18, 19, 20. (Dies gilt sowohl, wenn letztere Kathode als auch, wenn sie Anode ist).

***) Die Temperatur im Dauerfunken ist nicht unerheblich; Siegellack schmilzt und entzündet sich an ihm wie in einem Kerzenlichte, dünne Glasfäden werden geschmolzen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

drehung ab. Dies scheint darauf hinzuweisen*), dass das Aufleuchten der einzelnen Schichten jeder Partialentladung nicht gleichzeitig, sondern (von der Kathode ausgehend) nach einander erfolgt.

2. Metallspitze Anode — Halbleiter Kathode.

War die Metallspitze Anode, lag also der Halbleiter an der negativen Metallspitze an, so änderte sich der Charakter der Lichterscheinungen nur insofern, als es nicht möglich war, auch bei schwachen Strömen Dauerentladungen zu erhalten. Vielmehr trat bei allmählicher Stromstärkenvermehrung selbst bei kleinen Polabständen der Dauerfunken plötzlich in voller Ausbildung an die Stelle der discontinuirlichen Funkenfolge. Figuren 7, 8 und 9 geben verschiedene Formen der discontinuirlichen Entladung, Figuren 10, 11 und 12 der Dauerentladung. Letztere zeigt auch hier von der Kathode (Halbleiter) ausgehend den Trennungsraum, einen ziegelrothen (paraboloidischen) Lichtstumpf (oder auch mehrere, aequivalente, in einander zusammenfliessende) und das karminrothe Licht.

Fig. 7—9.

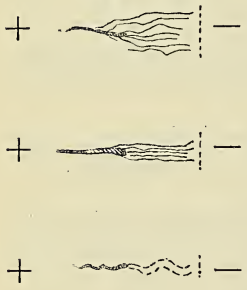
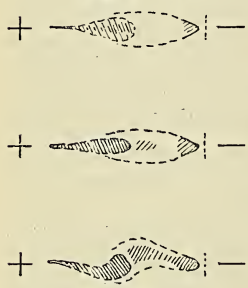


Fig. 10—12.



Bemerkenswerth für das Verständniss der Analogien der Lichterscheinungen in freier Luft und in gasverdünnten Räumen ist es, dass, wie Fig. 11 andeutet, manchmal vor dem karminrothen Lichtkolben nach der Kathode zu noch ein ziegelrothes Lichtwölkchen erscheint; zuweilen ist dieses auch mit dem ziegelrothen Lichtparaboloide durch eine lichtschwache Brücke verbunden (Fig. 12). Das ziegelrothe Licht kann also in zwei lichtstärkste Theile, einen am Trennungsraume und einen zweiten am karminrothen Lichte zerfallen.

Bei Verlängerung der Funken gilt hier dasselbe wie oben; es treten auf der Funkenbahn Wiederholungen der ersten karminrothen Schicht auf. Diese Schichten haften bei Schlagweitenvergrösserung an der Anode, oder vielmehr mit Hinweis auf Abschnitt 7 an der ausgezeichneten Stelle, welche sich hier stets nahe am Halbleiter ausbildete.

Die Lichterscheinungen der Dauerentladung unterscheiden sich also nicht wesentlich, wenn der Halbleiter Kathode oder wenn er Anode ist.

Natürlich kann man auch zwischen zwei Halbleitern geschichtete Dauerentladung erhalten.

Für die richtige Auffassung der zeitlich discontinuirlichen Entladung ist noch hervorzuheben, dass sich das karminrothe Licht offenbar schon bei dieser angedeutet findet in dem Stiele des bekannten positiven Lichtpinsels (siehe Figuren 7 bis 9**).

*) Leider wird die Deutung von Beobachtungen im rotirenden Spiegel ausser durch häufige Unregelmässigkeiten auch dadurch erschwert, dass auch bei grösserer Schlagweite die Dauerfunkenbahn oft rotirt, und zwar beschreibt sie hierbei einen Kegelmantel, dessen Spitze in dem hellen Kathodenlichte liegt. Der Einfluss der Luftbewegung infolge der Spiegeldrehung war leicht (durch eine zwischengeschobene Glasplatte) auszuschliessen.

**) Die Färbung des hellen Stieles in Fig. 7—9 ist karminroth bis violettroth, des lichtschwächeren Theiles violettblau bis blau. Eine der Fig. 9 gleichende Entladungsform (gewundene, halb roth und blau gefärbte Lichtfäden) tritt bei niederen Drucken häufig auf; vergl. Abschnitt 9 und Photogr. 23 und 24.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

3. Halbleiter mitten im Schlagraume.

Steht ein plattenförmiger Halbleiter frei mitten zwischen zwei gleichbeschaffenen Metallpolen, so dass links und rechts je ein Zwischenraum bleibt, so bilden sich natürlich zwei Funken aus, deren einer Metall als Kathode, Halbleiterplatte als Anode hat, der andere umgekehrt. Nur bei Anwendung sehr starker Ströme erhielt ich hier ausnahmsweise beiderseits Dauerfunken. Diese zeigen dann das Aussehen wie Fig. 6 und 10 combinirt. Die Entladung erfolgt also in diesem Falle vollständigster Ausbildung nach dem Schema: [Metallkathode] helles Kathodenlicht mit Trennungsraum, — zweites (ziegelrothes) Licht, — drittes eventuell geschichtetes (karminrothes) Licht, — Anodendunkelraum, — zahlreiche aequivalente Anodenglimmstellen [Halbleiter] zahlreiche aequivalente helle Kathodenlichter mit zugehörigen Trennungsräumen — zu einem zusammenfliessende aequivalente zweite (ziegelrothe) Lichter, — drittes, karminrothes, eventuell geschichtetes Licht, — Anodenglimmen [Metallanode].

In der Regel erhält man jedoch nach der Seite der Metallkathode bei Weitem leichter Dauerentladung als auf der anderen Seite, auf letzterer tritt meist discontinuirliche Entladung auf; wir haben daher meist etwa Fig. 8 mit Fig. 6 combinirt*). Hieraus erklärt es sich, dass der Anblick des positiven und negativen Antheiles meist sehr verschieden ist. (Vergl. Fig. 1, 2 und 3 meiner Eingangs citirten Arbeit in Wied. Ann.)

4. Haften der Schichten an den Elektroden.

Der Satz, dass alle Schichten an einer Elektrode haften, hat nur als Grenzfall volle Giltigkeit. Bei Dauerfunken zwischen Metallelektroden tritt dagegen in der Regel der Fall ein, dass ein Theil der Schichten an der Kathode, ein andrer jedoch bis zu einem gewissen Grade an der Anode haftet**). Aber auch bei Anwendung eines Halbleiters als Anode kann man derartige Entladungen erhalten. Bei Phot. 11 war z. B. die Versuchsanordnung folgende: positiver Maschinenpol, grosser Wasserwiderstand, Metallspitze, 2 cm starke Basaltplatte, — Funkenstrecke — Messingpolspitze, negativer Maschinenpol. Um die successive Entwickelung der Lichterscheinungen bei geänderter Schlagweite in einem Bilde zu erhalten, wurde die Kathodenspitze während der Aufnahme continuirlich zurückgezogen, und zugleich die photographische Platte langsam senkrecht zur Funkenrichtung verschoben. Das so entstandene merkwürdige Photogramm 11 zeigt, dass hier in der That nicht alle Schichten sich mit der bewegten Kathode verschoben haben.

Da, wie Eingangs erwähnt, die mittlere Stromstärke (bei gleichmässigem Gange der Maschine) unabhängig von der Schlagweite ist, so zeigt Phot. 11, dass für die an der Kathode haftenden Schichten der Satz gilt: Der Abstand der Schichten von der Kathode ist, bei gleichbleibender Stromstärke, unabhängig von der Schlagweite des Dauerfunkens.

Für die Beurtheilung des Wesens der Schichtenbildung ist die That-

*) Dieser Unterschied steht im Einklange mit den Versuchsergebnissen von G. Wiedemann und Rühlmann über das verschiedene Ausströmen positiver und negativer Elektrizität. Vergl. Wied., Elektr., Bd. IV, S. 462. 1885.

**) Es ist dies wahrscheinlich eine analoge Erscheinung, wie sie bei Entladung in einzelnen Funken in der Regel eintritt, nämlich der Zerfall jedes Funkens in einen positiven und einen negativen Antheil; vergl. hierzu Abschn. 7.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

sache von hoher Wichtigkeit, dass (wie Phot. 11 dreimal wiederholt erkennen lässt) zwei Schichten ohne Weiteres ganz allmählich aus einer entstehen oder umgekehrt verschmelzen können*). Dies deutet darauf hin, dass die Schichten keineswegs als eine Art stehender Schwingungen aufzufassen sind. Auf weitere Erscheinungen, die in demselben Sinne sprechen, werden wir bei der Leuchtmassenbildung in gasverdünnten Räumen stossen.

5. Entladung in Glasrohren.

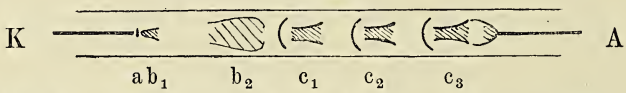
Ganz besonders schön ausgebildet waren die Lichterscheinungen, manchmal bei Dauerentladung in engen (mit der freien Luft communicirenden) Glasrohren. Phot. 12 bis 16 zeigen die hier auftretende Gestalt und Ausbildung der einzelnen Lichter in einem 5 mm weiten Glasrohre bei etwa 5 cm Distanz der Metallpolspitzen, wenn in den Schliessungskreis ein grosser Basalt- oder Alkoholwiderstand eingeschaltet war. Hier nahmen die karminrothen Schichten schon ganz das Aussehen an, welches sie, wie wir sehen werden, auch in Glasrohren bei nur geringem Luftdrucke zeigen (vergl. hierzu z. B. Phot. 29 bis 31).

Die Photogramme 12 bis 16 sind aufgenommen bei je etwas vermehrter Stromstärke; die Erscheinung beginnt (Phot. 12) mit zeitlich getrennt das ganze Rohr erfüllenden Lichterscheinungen, welche beim Anwachsen der Stromstärke in geschichtete Dauerentladung (Phot. 13 bis 16) übergeht. Ein Vergleich der Phot. 13, 14 und 15 lässt die allmähliche Umwandlung einer Schicht in zwei durch Stromstärkenvermehrung erkennen (ganz analog wie oben bei Phot. 11 durch Schlagweitenvergrösserung).

Das Glasrohr erwärmte sich beim Stromdurchgange jedesmal in kurzer Zeit so sehr, dass bald die ganze Entladung weiterhin durch das leitend gewordene Glas erfolgte.

Fig. 13 zeigt in schematischer Zeichnung die Lichtentwickelung in

Fig. 13.



Glasrohren bei Atmosphärendruck; es folgen nach einander:

(nach Goldstein's Dunkelraum zunächst)

a = helles Kathodenlicht,

(dann Trennungsraum, hierauf)

b_1 = erstes Lichtmaximum des zweiten ziegelrothen Lichtes,

(lichtschwaches Gebiet)

b_2 = zweites Maximum des zweiten, ziegelrothen Lichtes,

c_1, c_2 und c_3 drei Schichten des dritten, karminrothen Lichtes.

Fig. 13 kann als typisch betrachtet werden für die nahe continuirliche Entladung in Glasrohren (auch bei niedrigeren Drucken)**).

*) Bemerkenswerth ist auch, dass ein zur Erde abgeleiteter Draht (abgesehen von einer Ablenkung der Funkenbahn) in der Umgebung seines dem Dauerfunken auf etwa 0,05 cm genäherten freien Endes eine dunkle Stelle in der Funkenbahn erzeugt, ohne den Dauerfunken zu zerstören; auf diese Weise lässt sich z. B. eine Schicht des Dauerfunkens während der Drahtannäherung in zwei Hälften zertheilen.

**) Zu berücksichtigen ist freilich, dass diese Lichtgestalt sich etwas ändert, je nach der speciellen Lage der ausgezeichneten Stelle in ihr (vergl. Abschnitt 7 und 12).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

6. Verlangsamte Batterieentladung.

Unter den zeitlich discontinuirlichen Entladungen in einzelnen Funken steht der nahe continuirlichen wohl am nächsten die (in der l. c. von mir angegebenen Weise) stark verlangsamte Entladung grosser Leydener Batterien. Jede derartige Entladung besteht (ähnlich dem kurzen Ruhmkorfffunken) aus einem die Entladung einleitenden Initialfunken und dem darauf folgenden nahe continuirlichen langsamen Abfliessen der Elektricität mit rasch abnehmender Stromintensität in der sogenannten Aureole; schliesslich erlischt der langsame Funken und nach einiger Zeit setzt eine neue Entladung mit einem neuen Initialfunken ein. Die Abnahme der Stromintensität während jeder langsamen Entladung erklärt es, dass die zu Beginn derselben dicht gedrängten Schichten während jeder Entladung mehr oder minder auseinander-, von der Kathode abrücken. Phot. 17 zeigt derartige stark verlangsamte Batterieentladungen (Metallkathode, Basaltanode), Phot. 18 eine weniger verlangsamte (zwischen Metallelektroden*).

Ist bei kleineren Schlagweiten die Stromzuführung hinreichend ergiebig, um Dauerentladung zu geben, so kann auch die Batterieentladung nur der Dauerentladung die Strombahn öffnen; für letztere dient die Batterie weiterhin**) nur noch als stromregulirendes Sammelbecken. Phot. 19 zeigt einen solchen Uebergang einer langsamen Batterieentladung in Dauerentladung; zugleich erkennt man hier besonders deutlich die Auflösung der Entladung in geschichtete Partialfunken.

Als eine dritte Form langsamer Batterieentladungen kann man schliesslich diejenigen auffassen, bei denen unter sehr grosser Rückstandsbildung die Reihe der Partialentladungen abbricht, noch ehe die mittlere Stromstärke der Entladung wesentlich abgenommen hat, d. h. ehe sich die Schichtenstellung im Schlagraume geändert hatte. Nur solche nach Kurzem abbrechende Entladungen können natürlich auf photographischen Platten, die während der Aufnahme ruhten, Photogramme mit klarer Schichtung hervorrufen (vergl. Phot. 20).

Trotz der Inconstanz der Stromstärke langsamer Batterieentladungen, wird man letztere für das Studium der geschichteten Entladung zunächst kaum ganz entbehren können, da die in ihnen auftretenden (hohen Spannungen und zugleich) grossen Stromstärken auf anderem Wege nur sehr schwer zu erreichen sind. So konnte ich nur an langsamen Batterieentladungen (vergl. Phot. 21, eine Vergrösserung des betreffenden Theiles einer langsamen Batterieentladung nach Art von Phot. 17) constatiren, dass sich das lichtschwache ziegelrothe Licht mit abnehmender Stromstärke der Kathode resp. dem hellen Kathodenlichte nähert, während (wie im ersten Abschnitte schon angegeben) die karminrothen Schichten sich gleichzeitig von der Kathode entfernen.

---

*) Bei Phot. 17, 18, 19 und 21 war die photographische Platte während der Aufnahme gleichmässig schnell (je circa 1 cm pro Secunde) bewegt worden; bei Phot. 20 ruhte die Platte während der Aufnahme. Auf Phot. 18 und 21 erkennt man deutlich den Initialfunken. Derselbe besteht, soweit meine Photogramme erkennen lassen, aus dem hellen Kathodenlichte, dem (sehr verwaschenen) Trennungsraum und einer in der Regel ungeschichteten Lichtsäule. In Phot. 21 liegt die Kathode unten, sonst links.

**) Natürlich ist stets gleichmässiger Gang der stromgebenden Maschine während der Versuche vorausgesetzt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

7. Metallelektroden ohne Halbleiter; ausgezeichnete Stelle*) der Entladung.

Stehen sich zwei Metallelektroden in grösserer Entfernung als Kathode und Anode gegenüber, so bildet sich bei genügender Potentialdifferenz auf ersterer der bekannte negative Büschel, auf letzterer der in der Regel gestielte positive Lichtpinsel.

In ihnen lassen sich meist nur folgende Lichttheile der Dauerentladung wiedererkennen: [Metallkathode] helles Kathodenlicht mit Trennungsraum — zweites, hier meist violett, nicht ziegelroth gefärbtes Licht — . . . . [Luftschicht ohne Licht] . . . . — drittes (karminrothes) Licht, d. h. Stiel des positiven Pinsels — Anodenglimmen [Metallanode].

Bei dem Nähern der Elektroden bleibt (Widerstände im Schliessungskreise vorausgesetzt) das dunkle Luftstück, welches gewissermassen die Rolle eines Halbleiters (einer gasförmigen Zwischenelektrode) in der Funkenbahn spielt, auch bei nahestehenden Elektroden erhalten. Jeder einzelne verlangsamte Funken resp. der Dauerfunken zerfällt deutlich in zwei Theile, in einen negativen und in einen positiven Antheil (vergleichbar dem negativen und dem positiven Büschel); der erhöhten Stromdichte entsprechend, ist hier jedoch die Ausbildung der Lichter eine vollkommenere. Man erkennt jetzt:

[Metallkathode]
helles Kathodenlicht mit Trennungsraum . . .
zweites (ziegelrothes) Licht . . . . . } negativer Funkenantheil,
drittes (karminrothes) Licht resp. seine Schichten
schmale dunkle Luftschicht (ausgezeichnete Dunkelstelle),
drittes (karminrothes) Licht, meist ungeschichtet } positiver Funkenantheil,
Anodenglimmen . . . . . .
[Metallanode].

Folgen eine Reihe verlangsamter Einzelentladungen rasch hinter einander, oder geht der Funkenstrom in Dauerentladung über, so kann die sich ausbildende, heftige, von den Elektroden abgewandte Bewegung erhitzter Luft einen wesentlichen Einfluss auf die Gestalt der Funkenbahn, speciell auch auf Lage und Ausbildung der ausgezeichneten Dunkelstelle zwischen positivem und negativem Antheile haben. Dies lässt sich durch folgendes Experiment zeigen. Zwei Metallspitzen seien einander bei a und c (Fig. 14) gegenübergestellt. Die Entfernungen ab, bc, cd, da, seien je ca. 2 cm, dann geht der Funkenstrom (resp. der Dauerfunken) von a über b nach c. Der negative Antheil reicht von c bis b, der positive von a bis b. Bei b liegt die ausgezeichnete Dunkelstelle zwischen dem positiven und negativen Antheile, wohl zu unterscheiden von dem bei c angedeuteten dunklen (Goldstein'schen) Kathodenraum und dem gleichfalls bei c angegebenen Trennungsraum (dem Faraday'schen Dunkelraume zwischen Kathoden und Anodenlicht

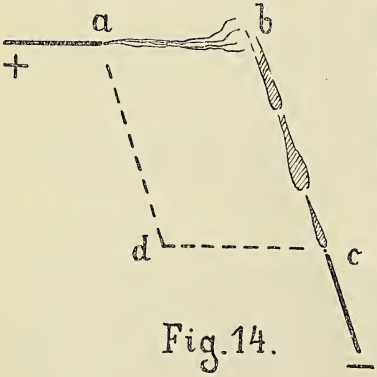


Fig. 14.

*) Vergl. Wiedemann, Elektr. IV, §§ 816, 861, 868 und 1012.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

in hochverdünnten Geisslerrohren). Hierbei kann jeder der beiden Antheile für sich mehr oder minder klar geschichtet sein. In der Verlängerung von ab und cb kann man je einen warmen Luftstrom fühlen (welcher z. B. im Stande ist, bis auf ca. 2 cm von b entfernt Wachs zu schmelzen*). Am bezeichnendsten ist aber folgende Erscheinung. Bewegt man die Kathode c parallel sich selbst langsam nach d hin, so verschiebt sich auch mit ihr der negative Antheil cb parallel sich selbst, während der positive Antheil successive kürzer und kürzer wird. Schliesslich verschwindet letzterer ganz, wenn die Kathode die Stelle d erreicht hat; von d nach a findet jetzt geradlinig Entladung nur negativen Charakters statt. Gerade umgekehrt verschwindet der negative Antheil, wenn die Kathode von c nach b hin, oder die Anode von a nach d hin sich selbst parallel verschoben werden. Stehen sich die Elektroden direkt gegenüber, sind also die Gebläse unter 180° gegeneinander gerichtet, so liegt die ausgezeichnete Stelle bald hier bald dort auf der Funkenbahn, meist bekanntlich näher der Kathode als der Anode. Mit dem Schlierenapparate erkennt man, dass auch hier die ausgezeichnete Dunkelstelle stets dort liegt, wo die beiden warmen Luftströmungen aufeinander treffen. Hierdurch erst gewinnen wir volles Verständniss der in den vorigen Abschnitten geschilderten Lichtgestalten bei nahe continuirlicher Entladung unter Anwendung von Halbleiterelektroden.

Eine spitze Metallelektrode begünstigt mechanisch und elektrisch die Ausbildung des zugehörigen Gebläses, eine plattenförmige Halbleiterelektrode erschwert sie.

Dies giebt uns einen Anhalt, wo wir in den behandelten Lichterscheinungen die ausgezeichnete Stelle zu suchen haben.

Fehlt das positive Gebläse ganz, so erkennen wir die ausgezeichnete Stelle wieder in dem in diesem Falle meist zu beobachtenden auffallend ausgedehnten Anodendunkelraume zwischen Anodenglimmen und den karminrothen Schichten des negativen Antheiles. Das Anodenglimmen ist der letzte Rest des unterdrückten positiven Antheiles (vergl. Phot. 17, 19, 20 und 21).

Fehlt das negative Gebläse ganz, so finden wir die ausgezeichnete Stelle meist als einen ausgedehnten Dunkelraum wieder, welche zwischen der letzten karminrothen Schicht des positiven Antheiles und dem ziegelrothen Lichte des negativen liegt; von letzterem bleibt also nur die helle Austrittsfläche und das ziegelrothe Licht erhalten (vergl. Fig. 10). Häufig freilich ist in diesem Falle die ausgezeichnete Stelle nur wenig markirt, wie bei Fig. 11 und 12.

Oft verschmelzen auch die Lichter beider Antheile continuirlich in einander**), wobei jedoch die ausgezeichnete Stelle nur scheinbar verschwindet. Ihr Vorhandensein und ihre Lage ist dann nur indirect z. B. aus dem Verhalten der Lichttheile bei Aenderung der Schlagweite (wie in Phot. 11 Abschn. 4) oder der Stromsstärke (wie in Phot. 13 bis 16 Abschn. 5) zu erkennen; auch der Schlierenapparat kann hier gute Dienste leisten.

---

*) Besonders bequem und deutlich lassen sich die beiden Luftströme (des positiven und des negativen Funkenantheiles) natürlich mit dem Schlierenapparate beobachten.

**) Hierher gehört u. A. Fig. 5 und 6 sowie Phot. 4 bis mit 10; in Fig. 3 und 4 sowie in Phot. 2 und 3 gehörte der Lichtpilz sicher zum positiven Antheile, die wenig markirte ausgezeichnete Stelle liegt hier zwischen ihm und dem ziegelrothen Lichte.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Das letzte Beispiel und vor Allem das Auftreten der ausgezeichneten Stelle auch in luftverdünnten Räumen (wo von heftigen Luftströmungen kaum die Rede sein kann, vergl. Abschn. 12) zeigt, dass zwar in freier Luft die Lage der ausgezeichneten Stelle durch Luftströmungen beeinflusst wird, dass jedoch elektrische Vorgänge ihre Ausbildung veranlassen.

Die ausgezeichnete Stelle zwischen negativem und positivem Antheile ist vielfach untersucht worden. Sie lässt sich bekanntlich sogar bei immer weniger verlangsamten Entladungen beobachten, bis weit in den Bereich nichtoscillirender **Funken**entladung hinein. Es liegt demnach nahe, das oben angegebene Schema der Lichterfolge auch hier als das zu Grunde liegende anzusehen, wenn auch die Lichterscheinung, wohl infolge ihrer Helligkeit, keine Unterschiede mehr auf der Funkenbahn zeigt, und solche nur noch an den verschiedenen Wärmewirkungen längs derselben (z. B. mittels des Schlierenapparates)*) nachweisbar sind. Selbstverständlich kann man jedoch bei dem hervorragend mitbestimmenden Einflusse von Zufälligkeiten auf die Funkenbildung bei dieser bis ins Einzelne gehende Regelmässigkeit nicht erwarten.

Ganz besonders deutlich lässt sich bekanntlich die ausgezeichnete Stelle oft in den Russspuren erkennen, welche Funken, längs berusster Glasplatten entlang schlagend, hinterlassen*). Nach Beobachtungen meines Vaters kann man sogar das Auftreten eines augenförmigen Russgebildes an der ausgezeichneten Stelle als Kriterium dafür betrachten, dass die Russspuren gebende Entladung soeben nicht mehr oscillirend, sondern gleichgerichtet (jedoch noch ohne Partialfunkenbildung) erfolgte; Phot. 22 zeigt in natürlicher Grösse das Bild einer derartigen Russspur mit ausgezeichneter Stelle. Die Unzulänglichkeit unserer Kenntniss über das Wesen der ausgezeichneten Stelle und über den Einfluss ihrer Lage in der Funkenbahn auf die Lichterscheinung der elektrischen Entladung ist sicher das Haupthinderniss, welches uns noch immer von einer einheitlichen Auffassungsweise der letzteren (und zwar nicht nur bei höheren Drucken) fernhält.

II. Nahe continuirliche Entladung (Büschellichtbogen) in verdünnter Luft.

Mit abnehmendem Drucke nimmt die Längendimension der Lichter rasch zu, und nur in langen Rohren lassen sich infolge dessen bei niederen Drucken alle Lichter vollkommen ausgebildet erhalten.

Da in dem Druckbereiche von 76 cm bis ca. 5 cm hinunter, soviel ich beobachten konnte, der Charakter der Lichterscheinungen sich in regelmässiger Weise stetig ändert, so genügt es, für die vorliegende qualitative Untersuchung die Ausbildung der Lichter zu schildern, wie wir sie bei Drucken um 5 cm wiederfinden. Erst bei weiter abnehmendem Drucke treten dann wesentliche Complicationen ein.

Um mich möglichst davor zu schützen, auf Nebenerscheinungen Gewicht zu legen, welche nur von dem Einflusse der Rohrwand herrühren, habe ich die Entladung in verschieden weiten Rohren beobachtet. Freilich konnte ich in weiten Rohren manche der erwarteten Erscheinungen bei Dauerentladung selbst mit der benutzten 60plattigen Toepler'schen Maschine nur schwer oder überhaupt nicht erhalten.

*) A. Toepler, Wien. Acad. Anz. 1874, Nr. 13, p. 105; Pogg. Ann. 134, p. 194.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

8. Rohr A.

In einen 15 cm weiten 60 cm hohen Glascylinder (Fig. 15) führte von oben durch eine 1 cm starke Glasplatte ein Messingstab (umhüllt von einer den Elektricitätsaustritt verhindernden Glasröhre), dessen Ende eine Messingkugel trug. Den Luftabschluss unten bewirkte eine 2 cm starke Schieferplatte. Eine gut functionirende Wasserstrahlpumpe hielt den Innenraum constant auf dem Maximum der von ihr geleisteten Verdünnung (ca. 3 cm).

Die höchst mannigfachen Lichterscheinungen, welche man hier beobachten kann, sind Vergrösserungen der entsprechenden bei Atmosphärendruck.

Speciell die bei nahe continuirlichem Stromdurchgange auftretenden Entladungsformen sind denen in freier Luft (z. B. Fig. 3) ganz ähnlich. (Vergl. Fig. 16—19 in $^1/_8$ natürlicher Grösse und Fig. 20 in $^1/_2$ natürlicher Grösse.)

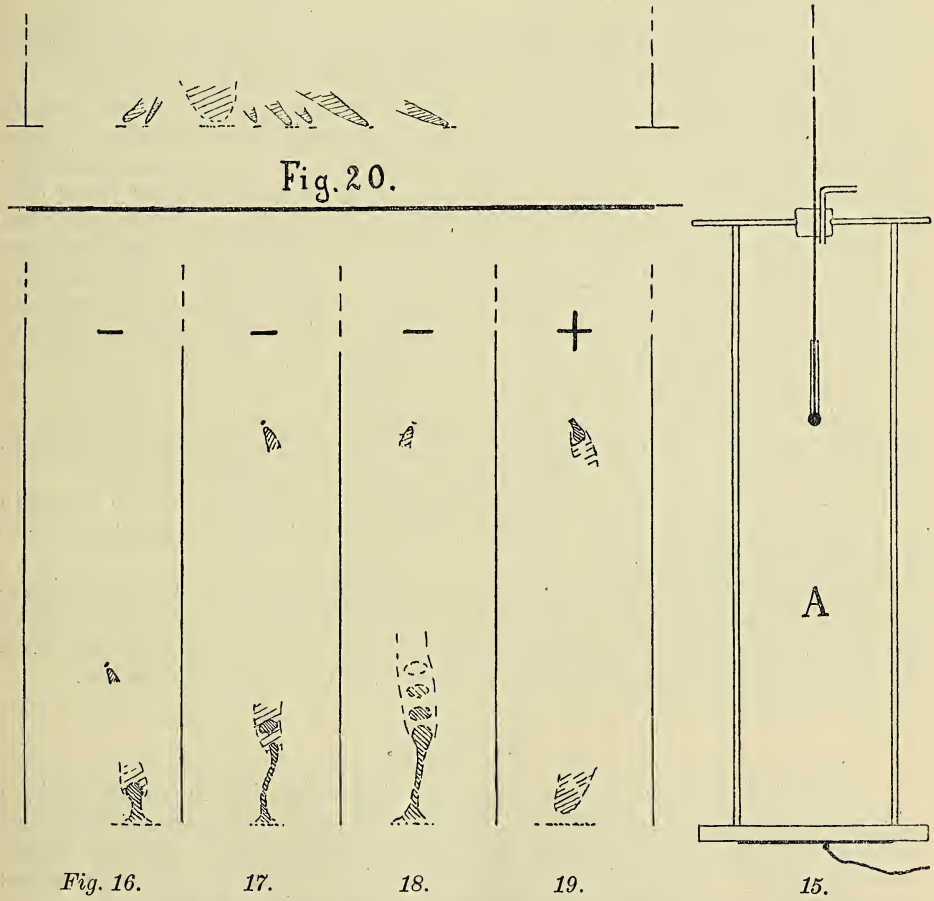


Fig. 16. *17.* *18.* *19.* *15.*

Ist die Schieferplatte Anode und steht ihr die negative Messingpolkugel auf ca. 5 cm nahe, so erscheint eine ca. 1 qcm grosse Fläche der Schieferplatte von hellen violetten Glimmlichtpunkten bedeckt. Ueber diesen schwebt, wenn der mittlere Strom 1/3000 Amp. überschritt, eine

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

sehr lichtschwache ziegelrothe Lichtmasse. Wird die Polkugel auf 15 cm Abstand zurückgezogen (vergl. Fig. 16), so erhebt sich über der Schieferplatte eine ca. 1 cm breite karminrothe Lichtsäule mit karminrothem Endknoten; letzterer ist von einem schwachen, ziegelrothen Lichte umhüllt. Wird der negative Pol bis ca. 40 cm von der Schieferplatte entfernt (Fig. 17 und 18), so erhebt sich die positive karminrothe Lichtsäule etwa 10 cm hoch mit ca. 2 cm dickem Endknoten. Bei starkem Strome bewegt sich letzterer langsam auf und nieder und kann sich auch von der Lichtsäule ganz loslösen (Fig. 17), ja bei weiter vermehrter, constanter mittlerer Stromstärke stösst diese Lichtsäule successive eine Reihe gleicher Lichtkugeln von sich, welche langsam nach oben der Kathode zuschweben*,) hierbei jedoch je immer lichtschwächer werden, bis sie ganz verschwinden, wenn sie etwa die Hälfte des Weges zum negativen Pole zurückgelegt haben (Fig. 18). Diese Erscheinung vollzieht sich innerhalb eines sehr lichtschwachen, ziegelrothen Lichtcylinders.

Die Lichterscheinungen am negativen Pole sind bekannt; sie bestehen aus hellem Kathodenlichte mit Trennungsraume und dem ziegelrothen Lichtparaboloide; diese Lichter waren zusammen etwa 0,5 cm lang.

Ist der Schiefer Kathode (Fig. 19), so erhebt sich über einer grossen Zahl aequivalenter violetter Lichtpunkte (dem hellen Kathodenlichte) eine bis zu 5 cm hohe, 1 cm breite ziegelrothe Lichtsäule von paraboloidischer Begrenzung (Fig. 19). Unter Umständen bildet sich auch über jeder einzelnen hellen Kathodenschicht je das zugehörige ziegelrothe Theilparaboloid aus (Fig. 20); diese Paraboloide convergiren dann nach einem gemeinsamen lichtlosen Mittelpunkte und es gewährt einen eigenartigen Anblick, wie sich alle bei zufälliger Lagenänderung des lichtlosen Centrums gemeinsam hin- und herneigen; diese Erscheinung beweist, dass auch die unsichtbare, lichtlose Entladung zwischen den Lichtern an den Elektroden nur auf verhältnissmässig schmaler Bahn erfolgt.

Aus der (Metall-) Anode wuchs hier das nur ca. 1 cm lange karminrothe Anodenlicht keulenartig heraus (Fig. 19); an das knotige Ende setzte sich auch hier eine sehr lichtschwache ziegelrothe Lichtsäule an.

Der ausgedehnte Dunkelraum zwischen den Lichtern an der Kathode und denen an der Anode entspricht offenbar der ausgezeichneten Stelle des siebenten Abschnittes.

Zu voller Ausbildung der Lichterscheinungen reichte der Maschinenstrom nicht aus; mit grossen Batterien konnte ich, wie zu erwarten, auch hier ganz wie in freier Luft langsame Entladungen mit mehreren (je etwa 5 cm langen und 0,5 cm breiten) karminrothen Schichten erhalten.

9. Rohr B.

Als ich bei Drucken um 2 cm an Stelle des 16 cm weiten Rohres ein solches von 3 cm Weite und 82,8 cm Abstand der beiden Kupferpolspitzen benutzte, erhielt ich den oben beschriebenen ähnliche Lichterscheinungen. Diese bildeten sich meist in der Achse des Rohres aus und füllten den Querschnitt desselben noch an keiner Stelle.

---

*) Derartige bei constanter Stromstärke wandernde Leuchtkugeln konnte ich bei Atmosphärendruck nur ganz ausnahmsweise (vergl. Anmerkung zu Abschn. 1) beobachten; hier waren sie oft und leicht zu erhalten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Die Photogramme 23 bis 27, aufgenommen bei immer grösseren aber je constanten mittleren Stromstärken (und je 5 Secunden Belichtung), zeigen die zu besprechenden Lichterscheinungen.

Auf das helle Kathodenlicht mit Dunkelraum folgt auch hier das erste Lichtmaximum des zweiten, ziegelrothen Lichtes, diese Lichter sind jedoch auf den Photogrammen wegen ihrer geringen räumlichen Ausdehnung nicht von einander zu unterscheiden*). Nach dem ausgedehnten lichtschwachen Theile des ziegelrothen Lichtes folgt dann, als lange ziegelrothe Lichtsäule, dessen zweites Lichtmaximum.

Als auffallendster Lichttheil folgte schliesslich das hier sehr helle dritte, karminrothe Licht. Charakteristisch war auch hier für dieses Licht sein pilzartiges, der Kathode zugekehrtes Ende. Photogramm 28 zeigt das Grenzgebiet zwischen ziegelrothem und karminrothem Lichte nochmals, jedoch nur mit 1 Sec. Belichtung, um den bedeutenden Helligkeitsunterschied beider Lichttheile deutlich zu machen.

Vorübergehend konnte ich auch schon in diesem Rohre einen Zerfall des karminrothen Lichtes in (drei) ruhende, klare Schichten — Leuchtmassen, Lichtwolken — erhalten.

Die Photogramme 23 bis 28 zeigen aber auch folgende interessante Thatsache; man sieht, dass das karminrothe Licht schon bei ausgesprochen zeitlich discontinuirlichen Entladungen, auf Funkenbahnen, welche sonst von einer Schichtung noch keine Spur zeigen (vergl. Phot. 23 und 24), deutlich zu erkennen ist. In all den Fällen, in denen in gasverdünnten Räumen die discontinuirliche Entladung aus Lichtfäden besteht, die je aus einem blauen Theile nach der Kathode zu und einem röthlichen, violettrothen oder karminrothen nach der Anode hin bestehen, müssen wir in dieser Zweitheilung einen Ansatz zur Ausbildung des zweiten und dritten Lichtes erkennen, mit der angegebenen, den veränderten Verhältnissen entsprechenden Farbentönung. Der rothe Theil der Lichtfäden in (engen) Glasrohren und niederen Drucken entspricht hiernach und nach den Bemerkungen in Abschn. 2 dem Stiele des positiven Büschels in freier Luft**).

10. Rohr C.

Bei constanter Stromstärke absolut ruhende Schichten des dritten karminrothen Lichtes (Righi'sche Leuchtmassen — „masse luminose") erhielt ich im Druckbereiche um 5 cm mit den verfügbaren Stromintensitäten erst in einem noch etwas engeren Rohre als dem im vorigen Abschnitte benutzten.

In dem hier verwendeten 2,3 cm (im Lichten) weiten Rohre standen sich im Abstande von 61,5 cm als Elektroden zwei Aluminiumscheiben

*) Das erste Lichtmaximum des ziegelrothen Lichtes zeigte hier oft einen eigenthümlichen Zerfall in dichtgedrängte Schichten, Unterabtheilungen. Stromvermehrung begünstigte diese secundäre Schichtung, welche sich am hellsten und deutlichsten nach dem Trennungsraum zu ausbildete. Fig. 21 zeigt (vergrössert) diese Erscheinung. An der Metallkathode K liegt zunächst das helle Kathodenlicht, in etwas grösserer Entfernung folgt das in Rede stehende geschichtete ziegelrothe Licht. Der Abstand der ersten Schicht des letzteren von der Kathode nahm zu mit zunehmender Stromstärke.

Fig. 21.

**) Die karminrothe Lichtsäule zeigt die Tendenz spiraliger Anordnung mit continuirlicher Rotation (auf welche hier nicht eingegangen werden soll), man sieht sie in Phot. 23 bis 27 angedeutet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

gegenüber, den Rohrquerschnitt fast vollständig ausfüllend. Um auch schon bei schwachem Strome und höheren Drucken nahe continuirliche Entladung zu erhalten, war auch hier der Kathode ein (kleiner) Flüssigkeits-Widerstand vorgeschaltet.

Bei Drucken oberhalb 5,5 cm wurde das Rohr, wenn überhaupt, nur von zeitlich getrennten (discontinuirlichen) Funkenentladungen durchsetzt. Bei einem Drucke von 5,3 cm und schwachem Strome war die Entladung auch noch discontinuirlich; jeder Funken bestand (ganz wie im vorigen Abschnitte behandelt) aus einer blauen Hälfte nach der Kathode zu und einer rothen Anodenhälfte. Bei Stromvermehrung erschienen dann die analogen Lichterscheinungen wie Phot. 23 bis 27, nur waren sie hier lichtschwächer und unvollkommen ausgebildet*).

Wurde (nach Erreichung des Stadiums, welches Phot. 27 entsprach) die Stromstärke weiter vermehrt, so schnürte sich der der Kathode nächste Theil des karminrothen Lichtes ab und bildete eine bei constantem Strome absolut ruhende Schicht, eine Righi'sche Leuchtmasse. Zugleich zerfiel der übrige Theil des karminrothen Lichtes in eine Reihe von Leuchtmassen; letztere ruhten aber bei constantem Strome keineswegs, vielmehr stiess die Anode beständig Leuchtmassen von sich, welche, nach der Kathode zu eilend, in dem Augenblicke erloschen, wo sie die erste, ruhende Leuchtmasse erreichten.

War der Strom weiter verstärkt worden, so bildete sich zwischen der ersten ruhenden Leuchtmasse und der Anode eine zweite, gleichfalls ruhende Leuchtmasse aus. Die von der Anode aus wandernden Massen erloschen jetzt beim Erreichen der zweiten ruhenden Leuchtmasse.

Dieser Process wiederholte sich bei abermaliger passender Stromvermehrung; eine dritte Leuchtmasse wurde fest, sodass schliesslich das 61,5 cm lange Rohr bei constantem Strome drei (oder mehr) beliebig lange, absolut ruhig stehende Leuchtmassen zeigte (vergl. Phot. 31**).

Ging, nachdem sich die drei ruhenden Schichten gebildet hatten, längere Zeit ein constanter, möglichst starker Strom durch das Rohr, so wurden, offenbar im Zusammenhange mit den Temperaturverhältnissen, die ruhenden Leuchtmassen immer stabilere Gebilde. Wurde jetzt die Stromstärke successive geändert, so erschienen wandernde Schichten nur vorübergehend. Es galten jetzt folgende Sätze:

Die ruhenden Leuchtmassen sind nahe aequidistant.

Die Leuchtintensität der Leuchtmassen ist bei den von der Kathode fernsten am geringsten (vergl. Phot. 30 und 31).

Mit zunehmender Stromstärke nimmt sowohl der Abstand der ersten ruhenden Leuchtmasse von der Kathode, als auch der Abstand je zweier ruhender Leuchtmassen von einander ab. Mit abnehmender Stromstärke verschwand daher eine Leuchtmasse nach der anderen in der Anode; im Schlagraum bilden sich nur so viel ruhende Leuchtmassen aus, als der Stromstärke entsprechend zwischen Anode und Kathode Platz haben.

Es sind das dieselben Sätze, die, wie nachgewiesen wurde, auch für die Schichtenbildung in freier Luft Geltung haben.

---

*) Besonders lichtschwach war hier meist der zweite Theil des ziegelrothen Lichtes.

**) Wurde das Rohr C in geeigneter Weise vorgewärmt, so erfolgte in ihm auch schon bei Drucken von 9 cm und mehr die Bildung ruhender Leuchtmassen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Phot. 29, 30 und 31 (aufgenommen mit je 5 Secunden Beleuchtungsdauer) zeigen für 5,3 cm Druck geschichtete Entladung (Kugelfunken) mit ruhenden Leuchtmassen bei je constantem Strome und zwar Phot. 29 bei kleinster (ca. 1/2000 Amp.), Phot. 30 bei grösserer und Phot. 31 bei grösster (ca. 1/600 Amp.) Stromstärke.

Das zweite Lichtmaximum des ziegelrothen Lichtes war im benutzten Rohre meist sehr lichtschwach *), das erste dagegen sehr deutlich; dieses entfernt sich (ebenso wie bei Atmosphärendruck, vergl. Abschn. 6) mit wachsender Stromstärke von der Kathode. Auch das helle Kathodenlicht mit Trennungsraum war scharf ausgebildet**).

11. Nahe continuirliche Entladung (Büschellichtbogen) und Righi'sche Kugelfunken.

Die Lichterscheinungen der untersuchten Entladungsart zeigen also vom Atmosphärendruck bis zu 5 cm herab genau die gleichen charakteristischen Gestaltseigenthümlichkeiten und die gleiche Anordnung der Lichter, zeigen auch qualitativ die gleiche Abhängigkeit von der Stromstärke.

Ueber die hier von mir behandelte Entladungsart liegen meines Wissens bisher nur zwei eingehendere Untersuchungen vor, nämlich die schon Eingangs erwähnten***) von A. Wüllner und A. Righi, beide für den Druckbereich um 5 cm. Dass die von mir behandelte „nahe continuirliche" Entladungsart (Dauerfunken, Büschellichtbogen) mit der von genannten Beobachtern untersuchten, von A. Righi als „Kugelfunken" bezeichneten, identisch ist, lehrt ohne Weiteres ein Vergleich meiner Phot. 29, 30 und 31 mit den von Righi mitgetheilten Abbildungen.

Bei der hier untersuchten geschichteten Entladungsart (Righi'schen Kugelfunken) mit Leuchtmassen erfolgt der Elektricitätsfluss zwischen den Elektroden offenbar streckenweise fast lichtlos auf breiter, streckenweise mit Lichtentwickelung auf enger Bahn †). Diese Bahnverengerung kann sehr weit gehen, und man hat wahrscheinlich jede Leuchtmasse aufzufassen als einen Funken zwischen lichtlosen Räumen, Gaselektroden ††). Die Leuchtmassenbildung besteht also in einem Zerfalle des Gesammtfunkens in mehr oder minder ausgedehnte Theilfunken (gewissermassen unter Einfügung gasförmiger Zwischenelektroden †††). Hieraus erklärt sich unge-

*) Daher ist auch auf Phot. 29 bis 31 die ziegelrothe Lichtsäule nicht zu sehen. Es sei gleich hier vorausgreifend bemerkt, dass, wohl aus demselben Grunde, auch auf den Photogrammen von Righi die ziegelrothe Lichtsäule fast ausnahmslos fehlt; dagegen findet sie sich deutlich wiedergegeben auf der Zeichnung von Wüllner; l. c. Taf. I, Fig. 4.

**) Wegen ihrer Kleinheit ist die Lichterfolge an der Kathode auf den Phot. 29 bis 31 nicht klar zu unterscheiden.

***) Vergl. die Litteraturangabe in der Einleitung. Zur nahe continuirlichen Entladungsart gehören auch die Entladungsformen, welche O. Lehmann, Zeitschr. f. phys. Chemie 18, 107, 1895 beschreibt; jedoch war hierbei die Schlagweite zu klein im Verhältnisse zu dem geringen Drucke und zu der grossen Rohrweite, als dass sich Leuchtmassen hätten bilden können; dagegen ist bei diesen Formen die ausgezeichnete Stelle gut zu erkennen.

†) Die Glasfluorescenz um die Orte des Leuchtens in der Rohrachse täuscht leicht bei erster Betrachtung.

††) Die elektrische Ladung der Glaswand ist bei engen Rohren ebenfalls zu berücksichtigen.

†††) Vergl. die ähnliche Deutung von Righi, Lum. El. 42, 1891, p. 613.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

zwungen die Möglichkeit des leichten Verschmelzens zweier Schichten (vergl. Abschnitt 4), sowie die Mehrzahl der Erscheinungen, welche im folgenden Abschnitte behandelt werden sollen. Um speciell das Wandern der Schichten mit oder gegen den elektrischen Strom zu erklären, braucht man nur anzunehmen, dass durch die Leuchtmassen um ein Geringes weniger resp. mehr Elektricität in der Zeiteinheit fliesst als durch die dunklen Zwischenräume.

12. Gegeneinander wandernde Leuchtmassen.

In den vorangegangenen Abschnitten sind wir fast ausschliesslich Lichterscheinungen begegnet, deren Theile ihre Lage im Schlagraume bei constanter Stromstärke und constantem Drucke constant beibehalten. Ganz anderen Verhältnissen begegnete ich jedoch (bei dem zuletzt benutzten Rohre C) in dem Druckbereiche zwischen 4,6 cm und 0,8 cm. Sank der Druck nämlich unter 4,6 cm, so wurde mehr und mehr der Zustand im Rohrinnern labil in Bezug auf das Entstehen von Leuchtmassen. Zur Ausbildung ruhender Leuchtmassen kam es hier überhaupt nicht mehr, oder nur ganz vorübergehend.

Zunächst, bei Drucken um 4 cm, bildete das zweite Lichtmaximum des ziegelrothen Lichtes wie bei höherem Drucke noch eine zusammenhängende lange Lichtsäule*). Die bei constanter Stromstärke rasch wandernden Schichten des karminrothen Lichtes liessen sich aber nicht mehr durch Stromvermehrung fest machen**); sie erloschen auch hier, sobald sie das Ende der ziegelrothen Lichtsäule erreichten.

Bei möglichst starkem constanten Strome trat nun noch eine weitere höchst bemerkenswerthe Complication der Leuchtmassenbildung ein. Bei constantem Strome beobachtete ich folgende sich beliebig oft in nahe gleichen Zeiten wiederholende Erscheinung. Das der Anode zugekehrte Ende des ziegelrothen Lichtes rückte nach der Anode zu vor, schliesslich löste sich von der ziegelrothen Lichtsäule ein Säulenstück (von nicht immer gleicher Länge***) ab, welches sich langsam nach der Anode zu in Bewegung setzte, während das neue Ende der ziegelrothen Lichtsäule nach der Kathode zu zurückschnellte. Phot. 32 bis 35 zeigen das der Anode zugekehrte Ende der ziegelrothen Lichtsäule in verschiedenen Stadien des Losreissens langsam der Anode zuwandernder Leuchtmassen.

Man kann den Process der Losreissung von Leuchtmassen beschleunigen oder auch unter Verhältnissen, bei denen er noch nicht spontan erfolgt, hervorrufen, indem man mit der Hand von der Kathode nach der Anode zu an der ziegelrothen Lichtsäule längs des Glasrohres entlang streicht†); die so erzeugte Schicht setzt dann ebenso wie eine selbständig gebildete beim Wegziehen der Hand ihren Weg nach der Anode zu fort,

*) Es kam sogar vor, dass das ziegelrothe Licht sich bis auf etwa 5 cm der Anode näherte, also beinahe 60 cm lang war.

**) Die Wanderungsgeschwindigkeit nahm zu mit wachsender Stromstärke. Bei sehr raschem Wandern modificirte sich die Gestalt der Leuchtmassen etwas; diese wurden mehr und mehr asymmetrisch und ihr vorauseilendes Ende kugelte sich pilzartig ab.

***) Das bei gleichem Drucke und gleicher Stromstärke sich ablösende Säulenstück war 5 bis 20 cm lang; die ganze Lichtsäule des ziegelrothen Lichtes kann man daher auch auffassen als eine ruhende Leuchtmasse von grosser Länge, welche die Fähigkeit besitzt, sich beliebig zu theilen.

†) Die Umspannung mit der Hand wirkt analog einer Rohrverengerung in dem Sinne, als die letztere nach Righi die Ausbildung einer Leuchtschicht erleichtert.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

bis sie auf eine der von der Anode ihr entgegenkommenden Leuchtmassen des karminrothen Lichtes trifft*).

Wir haben also zwei Schaaren von Leuchtmassen, die eine zeigt von der Kathode langsam fortwandernde, die andere von der Anode aus der ersteren rasch entgegeneilende Leuchtmassen. Es bildeten sich also ganz wie bei Atmosphärendruck (vergl. Abschnitt 4) zwei von einander unabhängige Systeme von Schichten, nur ruhten dort die Schichten (bei ruhenden Elektroden), hier wandern sie; es kann demnach hier wie dort die Entladung als in einen positiven und negativen Antheil (je mit selbständiger Schichtenbildung) zerfallend angesehen werden**). In dem Zusammentreffpunkte der gegen einander wandernden Leuchtmassen erkennen wir demnach die ausgezeichnete Stelle (vergl. Abschn. 7) wieder.

Besonders auffallend war es hierbei, dass sich beim Aufeinandertreffen zweier Schichten weder mit blossem Auge noch im rotirenden Spiegel irgend welche Eigenthümlichkeit zeigte; zwei aufeinandertreffende Leuchtmassen verschmelzen zunächst; die verschmolzene Lichtsäule verkürzt sich mehr und mehr und verschwindet schliesslich spurlos***).

Die Ausgleichstelle, bis zu welcher die von der Anode aus wandernden Leuchtmassen nach der Kathode zu vordringen, rückt sowohl mit wachsender Stromstärke, als auch mit wachsender Verdünnung immer weiter nach der Kathode zu vor; der negative Antheil der Entladung verkürzt sich dem entsprechend. Mit abnehmendem Drucke verwischen sich die Lichterscheinungen und bei Drucken unter 0,8 waren zwar bei schwachem Strome noch deutlich ruhende Leuchtmassen zu erkennen, diese flossen jedoch bei Stromvermehrung (ohne deutliche Ausbildung wandernder Schichten) in einander und verschmolzen schliesslich zu einer homogenen Lichtsäule.

13. Letzte Spuren der nahe continuirlichen Entladungsart.

Die Grenzverhältnisse zwischen nahe continuirlicher Entladung und dem bekannten Phänomen der zeitlich continuirlichen Entladung in Geisslerrohren hat man sich etwa folgendermassen zu denken. Die Grenzstromstärke, bei der soeben die letztgenannte (continuirliche) Entladungsart auftritt, nimmt

---

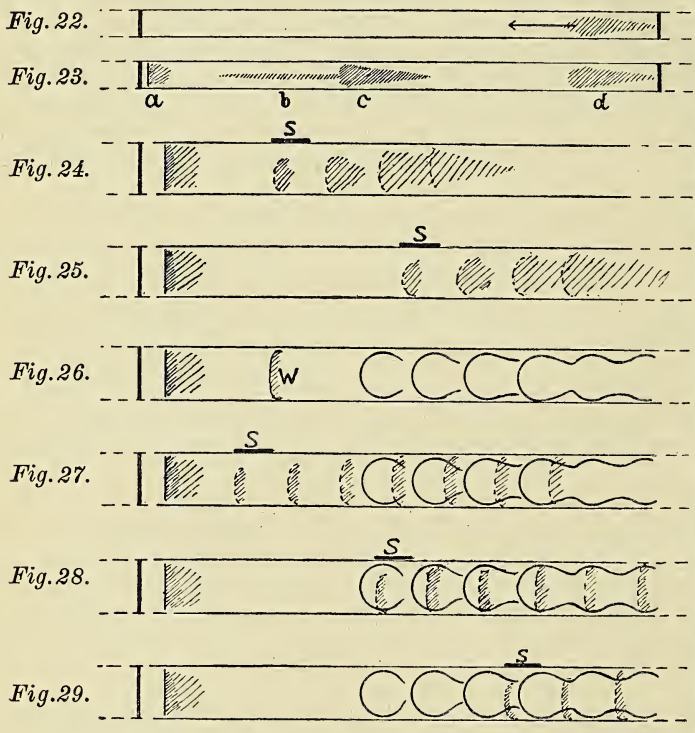
*) Oft genügte ein Bewegen der Hand schon im Abstande von 10 cm vom Rohre, um eine derartig fortschreitende successive Entladung auszulösen; man sieht, in wie hohem Grade die Entwickelung der Lichtphänomene von äusseren Umständen abhängig sein kann.

**) Zu genauerer Untersuchung müssten wohl die Elektroden in den Rohren verschieblich gemacht werden, auch müsste der Einfluss der Anordnung des Widerstandes im Stromkreise berücksichtigt werden.

***) Auf die vielfachen Eigenthümlichkeiten der wandernden Leuchtmassen einzugehen, würde zu weit führen; es sei nur noch auf einige sicher zu beobachtende Thatsachen hingewiesen. Die Wanderungsgeschwindigkeit der von der Kathode wegwandernden Leuchtmassen war stets geringer als diejenige der entgegenkommenden. Bei höheren Drucken zeigten erstere mehr ziegelrothe, letztere mehr karminrothe Färbung; mit abnehmendem Drucke verschwand bald dieser Farbenunterschied (bei den hier benutzten höheren Drucken spielt der Quecksilberdampf bez. der Schichtenfärbung noch keine wesentliche Rolle). Es kam vor, dass das ganze Rohr bis zur Anode hin, nur Leuchtmassen enthielt, die von der Kathode wegwanderten; erfolgte dies Wandern hinreichend langsam (ca. 1 cm per Secunde), so konnte man deutlich erkennen, dass die Leuchtmassen nicht in der Anode allmählich untertauchten, sondern je ganz successive an der Grenze eines erst hierdurch bemerkbar werdenden (bis zu 2 cm langen)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

rasch ab mit abnehmendem Drucke*). Das Stromstärkengebiet der nahe continuirlichen Entladungsart wird daher mit abnehmendem Drucke immer schmäler und unterhalb 0,8 cm geht die discontinuirliche Entladung bei successiver Stromverstärkung meist direct in die continuirliche über. Einen bestimmten Druck (oder Druckbereich), welcher etwa die Grenze zwischen Schichtenbildung durch Leuchtmassen und der gewöhnlichen Schichtung des Anodenlichtes niedrigster Drucke bildet, giebt es nicht. Ich konnte vielmehr selbst bei so geringen Drucken, bei denen das Anodenlicht schon längst in der bekannten Weise deutlich geschichtet war, in der Regel noch die nahe continuirliche Entladungsart unzweifelhaft erkennen, wenn ich nur auf die Lichterbildung bei sehr schwachen Strömen mein Augenmerk richtete. Hierbei bin ich auf manche eigenthümliche Erscheinungen gestossen, von denen die bemerkenswertheste im Folgenden geschildert ist.



Bei einem Drucke von 0,007 cm Hg. erhielt ich im Rohre C folgende Lichtentwickelung.

Bei sehr schwachem mittleren Strome ruhte nahe der Anode in der Rohrachse eine Lichtsäule, deren freies Ende (vergl. den Pfeil der Fig. 22) nach der Kathode hin rhythmisch aufzuckte.

Bei etwas stärkerem Strome war zu erkennen Goldstein's Dunkelraum, helles Kathodenlicht mit ziemlich ausgedehnten Glimmlichtstrahlen

---

Anodendunkelraumes verschwanden. (Die Leuchtmassen, welche nach der Kathode zu wandern, kamen dagegen direct aus der Metallanode heraus.) Die Ausbildung eines ausgedehnten, scharf begrenzten Anodendunkelraumes scheint demnach nur stattzufinden, wenn der negative Entladungsantheil bis nahe zur Anode heranreicht. Dasselbe war auch bei nahe continuirlicher Entladung in freier Luft zu beobachten (vergl. Phot. 17, und 20 mit 11). Der Anodendunkelraum dürfte also hier (vergl. Abschn. 7) der ausgezeichneten Stelle entsprechen. Die Anode selbst zeigt auch hier ganz wie im analogen Falle bei Atmosphärendruck zahlreiche Anodenglimmpunkte, d. h. den letzten Rest des positiven Antheiles.

*) Vergl. die Zahlenangaben von Hittorf, Wied. Ann. 20, 1883, p. 722. Es wird jedoch sicher möglich sein, bei allen Drucken die einzelnen Entladungsarten ganz allmählich in einander überzuführen, wenn man nur die Versuchsbedingungen geeignet wählt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

(a in Figur 23)*) und Trennungsraum, eine äusserst matte ziegelrothe Lichtsäule (b), eine matte rothe ruhende Leuchtmasse (c) und nach der Anode zu eine Lichtsäule (d)**). Es war also die nahe continuirliche Entladungsart bei einem Drucke unter 0,01 cm noch sicher zu beobachten! Näherte ich in diesem Stadium die Hand oder ein Stück abgeleitetes Stanniol (S in Figur 24 und 25) dem Rohre, so bildete sich im Rohre auf der abgewandten Seite eine Leuchtmasse, ganz wie bei höheren Drucken; diese zerfiel aber hier in eine Reihe von Schichten (vergl. Fig. 24 und 25). Diese lichtschwache secundäre Schichtung ähnelte der Schichtenbildung des bekannten Anodenlichtes, ist aber mit dieser keineswegs zu verwechseln.

Bei stärkerem Strome erschien plötzlich die helle, rosa gefärbte Säule des bekannten Anodenlichtes (Figur 26); es zeigte, der Verdünnung entsprechend, schon deutlich seine bekannte Geisslerrohr-Schichtung. Zwischen seiner ersten Schicht und der Kathode blieb aber deutlich ein lichtschwaches ziegelrothes Lichtwölkchen (w) zu erkennen***). Näherte ich jetzt, wie oben, Hand oder Stanniol (S in Figur 27, 28 und 29), so wurde die Säule des bekannten Anodenlichtes nur wenig beeinflusst, um so mehr aber das ziegelrothe Lichtwölkchen. Hierbei zeigte sich, dass diese Lichtwolke nur ein Theil einer die Anodenlichtsäule mindestens 20 cm weit durchdringenden, von dieser aber so gut wie unabhängigen Lichterscheinung war. Durch Nähern des Leiters S liess sich auch jetzt noch (ganz wie in Figur 24 und 25) aus der Rohrmitte an die entgegengesetzte Rohrwand eine geschichtete Lichtsäule drängen (Figur 27 und 28), ganz, als ob die ihrerseits geschichtete Anodenlichtsäule gar nicht vorhanden wäre. Durch Verschieben des Leiters längs des Glasrohres liess sich constatiren, dass das vom Leiter bewegte Schichtensystem stets die erste Schicht gegenüber der Berührungsstelle des Leiters ausbildete; dass an dieser ersten Schicht nach der Anode zu eine ganze Reihe (10 bis 15) weitere aequidistante Schichten hingen, welche bei einer durch Bewegung des Leiters veranlassten Verschiebung der ersten Schicht sämmtlich mitgenommen wurden, dass diese lichtschwache zweite Schichtung auch vorhanden war bei Abwesenheit des Leiters und dass die lichtschwachen Schichten in diesem Falle meist zusammenfielen mit den Schichten des Anodenlichtes (mit Ausnahme der ersten, der schwachen Lichtwolke).

Es hatte demnach ganz den Anschein, als ob zwei von einander unabhängige, gegen äussere Einflüsse verschieden empfindliche Lichterscheinungen, jede mit selbständiger Schichtung, sich durchdrängen. Mehrmaliges Lufteinlassen in das Rohr und erneutes Auspumpen, Vorschalten von Widerständen an Anode oder Kathode, Ableitung von Kathode oder Anode zur Erde, alles dies änderte die Erscheinung nicht wesentlich. Durch Stromstärkenvermehrung bis zu 1/600 Ampère konnte freilich die

---

*) Fig. 22 und 23 sind etwa in $^1/_8$ nat. Grösse, Fig. 24 bis 29 etwa in $^1/_4$ nat. Grösse schematisch gezeichnet, jedoch ohne genaue Innehaltung der relativen Grössenverhältnisse der Lichter.

**) Auch lichtschwache, verwaschene, wandernde Leuchtmassen waren in diesem Stadium (im rotirenden Spiegel) ab und zu zu bemerken.

***) Mit der ersten Anodenschicht war das Lichtwölkchen keineswegs zu verwechseln; es war wesentlich lichtschwächer als alle Anodenschichten, auch stand es von der ersten derselben weiter ab als die Anodenschichten unter einander. Auch sonst zeigte die Lichtwolke besondere Eigenthümlichkeiten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Schichtenzahl des Geissler'schen Anodenlichtes vermehrt, die eigenthümliche lichtschwache zweite Entladungserscheinung aber nicht zum Erlöschen gebracht werden. Beobachtungen im rotirenden Spiegel schienen darauf hinzudeuten, dass beide Entladungsarten zeitlich rasch alternirend im Rohr auftraten.

Bei Verdünnungen unter 0,01 cm nimmt die Ausdehnung und Lichtintensität der Glimmlichtstrahlen rasch zu, ebenso die Glasfluorescenz, (erzeugt durch die alle Schichten allmählich durchdringenden Kathodenstrahlen). Im Glanze dieser Lichterscheinungen verschwindet zuerst das (ziegelrothe) Lichtwölkchen, dann auch das mehr und mehr verblassende geschichtete Anodenlicht, schliesslich erstrahlt das ganze 60 cm lange Glasrohr im blendenden hellgrünen Fluorescenzlichte und sendet seiner ganzen Länge nach die bekannten Röntgenstrahlen aus.

Trotz der in diesem Abschnitte geschilderten und anderer weniger interessanten Complicationen der Erscheinungen ist es kaum zweifelhaft, dass die nahe continuirliche Entladungsart (Kugelfunken, Büschellichtbogen) und die gewöhnliche continuirliche Geisslerrohrentladung sich ohne Unstätigkeit ineinander überführen lassen, dass beide Entladungen derselben Art sind.

Die gewöhnlich auftretende Anodenlichtsäule der continuirlichen Entladung ist wahrscheinlich aufzufassen als eine Leuchtmasse (resp. auch nach den Angaben am Schlusse des 12. Abschnittes als mehrere vollständig ineinander geflossene Leuchtmassen) des positiven Antheiles. Der ausgezeichneten Stelle entspricht dann das Gebiet zwischen der Anodenlichtsäule und dem ziegelrothen Lichtwölkchen, wir haben also dieselbe Entladungsform vor uns, welche Fig. 10 Abschnitt 2 für den Elektricitätsdurchgang durch Funkenstrecken in freier Luft zeigt. Fehlt, wie es wohl in der Regel der Fall ist, das ziegelrothe Licht ganz, so fallen Trennungsraum und ausgezeichnete Stelle zusammen. Bei der Entladung in freier Luft (Fig. 10) bildete sich, wie schon angegeben, die ausgezeichnete Stelle immer in nahe gleichem Abstande von der Halbleiterkathode aus, das positive karminrothe Licht endigte stets in gleicher Entfernung von der Kathode; das Analogon hierzu ist die von Faraday bemerkte Thatsache, dass die Anodenlichtsäule (in gasverdünnten Räumen) bei Verschieben der Elektroden stets in nahe demselben Abstande von der Kathode endigt.

In Abschnitt 7 wurde nun gezeigt, dass die Entladungsform der Fig. 10 nur ein Specialfall einer allgemeineren, vollständigeren ist, deren Schema sich gleichfalls in Abschnitt 7 angegeben findet. Wir haben demnach anzunehmen, dass auch die gewöhnliche Geisslerrohrentladung (ebenso wie ihr Analogon Fig. 10) nur ein (in der Regel auftretender) specieller Fall einer ganzen Anzahl möglicher Entladungsformen ist*), deren Lichterbildung sich auf das Abschnitt 7 angegebene allgemeinere Schema zurückführen lässt. Letzteres würde freilich noch durch einige erst in gasverdünnten Räumen zu beobachtende Einzelheiten zu ergänzen sein.

---

*) Welche Entladungsform speciell bei den Beobachtungen im Abschnitt 13 mit der gewöhnlichen alternirend auftrat, muss dahingestellt bleiben. Mehrere Schichtensysteme bei denselben Druckbedingungen beobachtete auch V. Felix; vergl. Sitzungsber. des naturwiss. Vereins f. Schleswig-Holstein, Bd. XI, 1896, p. 21.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Der Zerfall der Anodenlichtsäule in die bekannten Anodenschichten (vergl. Phot. 36—45) ist nur ein specieller Fall der oft zu beobachtenden Thatsache, dass ausgedehntere Lichter leicht in Unterabtheilungen zerfallen (wie es z. B. Fig. 21 für das erste Lichtmaximum des ziegelrothen Lichtes zeigt; vergl. vor Allem auch Fig. 24). Diese Schichtung des (Geissler'schen) Anodenlichtes ist nach den verschiedensten Seiten durchforscht. Der Vollständigkeit halber sei durch Phot. 36 bis 45 für das Rohr C die Abhängigkeit der Stellung dieser Schichten von Druck und Stromstärke illustrirt*); zugleich wollte ich durch den Anblick letzterer Photogramme im Vergleiche mit Phot. 29, 30 und 31 den grossen Unterschied zwischen dem Zerfalle der Gesammtentladung in Leuchtmassen und der Schichtung des Anodenlichtes anschaulich hervortreten lassen.

Beiden Schichtenbildungen (Leuchtmassen und Anodenschichten) sind gemeinsam:

Die Abnahme der Ausbildungsschärfe der Schichten mit zunehmender Entfernung von der Kathode.

Die Aequidistanz der Schichten.

Die Abnahme des Abstandes benachbarter Schichten mit wachsender Stromstärke.

Dagegen unterscheiden sich beide Schichtungsarten dadurch, dass bei höheren Drucken die erste der alsdann entstehenden Leuchtmassen (von der Kathode aus gezählt) mit wachsender Stromstärke sich der Kathode nähert, während die erste Anodenschicht der bei niederen Drucken entstehenden Lichterscheinung sich mit wachsender Stromstärke von der Kathode entfernt (vergl. Phot. 29 bis 31 mit 36 bis 40).

In dem Druckbereiche, in welchem beide Schichtungserscheinungen zugleich auftreten, besitzen die „Leuchtmassen" viel grössere (ca. die 10fache) Längenausdehnung als die Anodenschichten.

Januar 1898.

Physikalisches Institut
der K. Technischen Hochschule zu Dresden.

---

*) Es war hierbei

No. des Phot.	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Druck in cm Hg	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027
Mittl. Stromst. in Tausentel Ampère	0,27	0,56	0,88	1,18	1,42	0,31	0,58	0,89	1,17	1,51

Bei allen Photogrammen (36 bis 45) war die Expositionszeit die gleiche, je ca. 5 Secunden.

Da bei Stromvermehrung der Abstand der ersten Anodenschicht von der Kathode zu-, der Abstand der Schichten unter einander jedoch abnimmt, so rückt zwar die erste Anodenschicht bei Stromvermehrung von der Kathode ab, gleichzeitig kommen jedoch ferner stehende Schichten der Kathode näher (vergl. in Phot. 41 bis 45 die Lagenänderung der ersten etwa mit der zehnten Schicht, beide von der Kathode aus gezählt).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

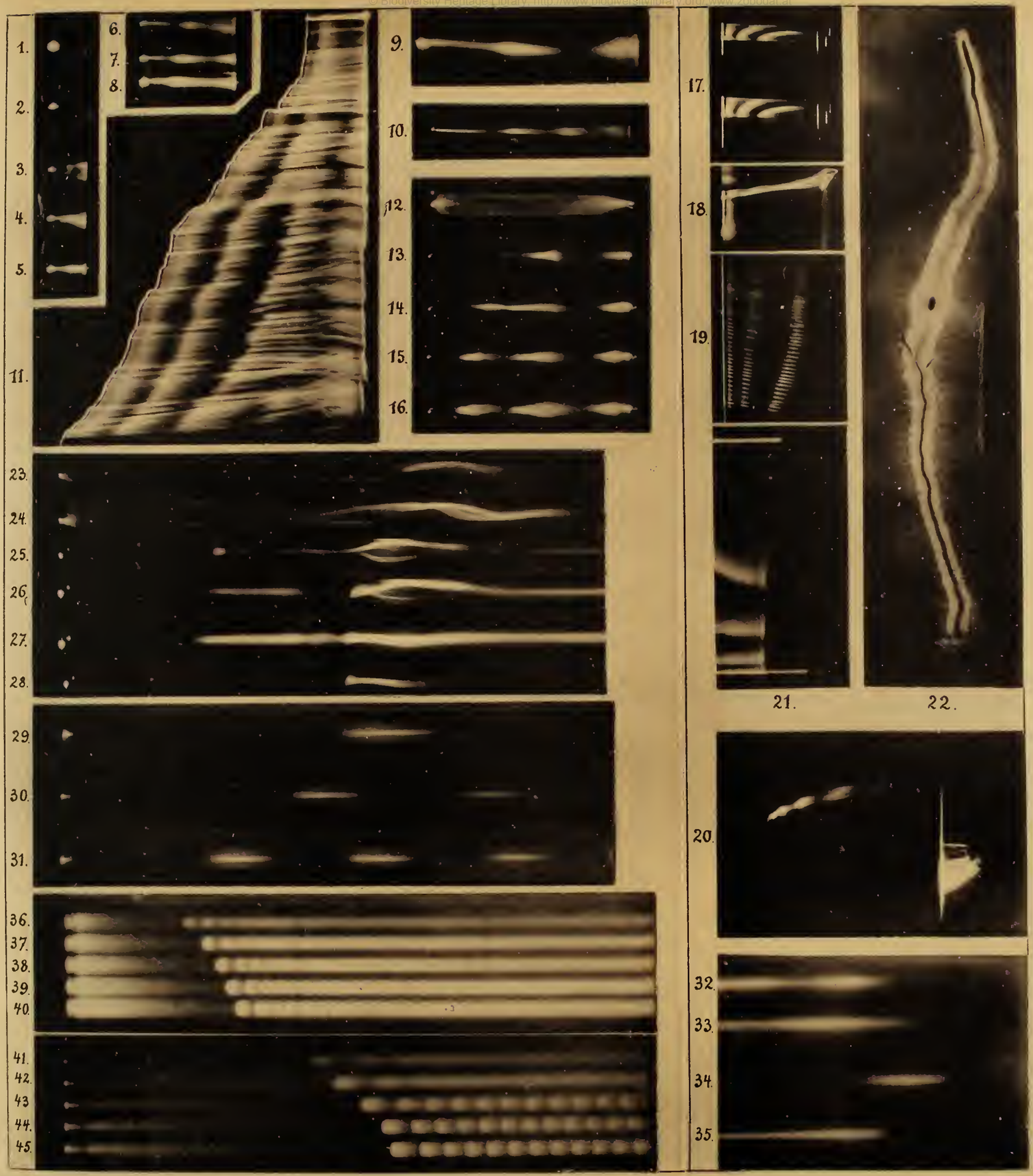
Erklärung zu Tafel I.

No. der Photographie	Vergrösserung (Gegenst.=1)	Druck in cm Quecksilber	Kathode	Anode	Abschn., in dem das Phot. behandelt ist	Phot.-Pl. während der Aufnahme	Art der Entladung
1 bis 5	2	ca. 76	Messingsp.	Basaltpl.	1	ruhend	nahe continuirl. Entldg. in freier Luft
6 bis 9	2	„	„	„	1	„	
10	0,70	„	„	„	1	„	
11	0,70	„	„	„	4	bewegt	
12 bis 16	0,70	ca. 76	Messingsp.	Messingsp.	5	ruhend	i. Glasrohr
17 bis 19	0,63	ca. 76	Messingkugel	Basaltpl.	6	bewegt	Verlangs. Batterieentl. in freier Luft
20	0,76	„	„	Schieferpl.	6	ruhend	
21	1,5	„	„	Basaltpl.	6	bewegt	
22	1	„	—	—	7	—	
23 bis 28	0,138	ca. 4	Kupfersp.	Kupfersp.	9	ruhend	nahe cont. Entl. bei Luftverd.
29 bis 31	0,158	5,3	Alum.-Pl.	Alum.-Pl.	10	„	
32 bis 35	0,25	ca. 4	„	„	12	„	
36 bis 40	0,167	0,019	„	„	13	„	
40 bis 45	0,167	0,0027	„	„	13	„	

Alle Photogramme geben elektrische Entladungen in Luft wieder. Die Kathode liegt in allen Photogrammen links (nur in Phot. 21 unten, in Phot. 22 oben). Die je zusammengehörigen Phot. 1—5, 6—8, 12—16, 23—27, 29—31, 36—40, 41—45 zeigen Lichterscheinungen je unter sonst gleichen Umständen nur bei schrittweise vermehrter Stromstärke.

Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden

Jahr/Year: 1898

Band/Volume: 1898

Autor(en)/Author(s): Toepler Max

Artikel/Article: I. Geschichtete Dauerentladung in freier Luft (Büschellichtbogen) und Righi'sche Kugelfunken 1003-1026