Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 4 (1913)

Heft: 5

Artikel: Über wandernde Lichtbögen (Hörnerblitzableiter) und verwandte Entscheidungen

Autor: Greinacher, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056789

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen **„Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz"** sowie **„Jahresheft"** und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an die

REDAKTIONSKOMMISSION:
Sekretariat des Schweiz. Elektr. Vereins,
Hardturmstrasse 20, Zürich III - Telephon 522

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den

Verlag: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Est publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin parait mensuellement et comporte comme annexes annuelles la **„Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse"**, ainsi que l'**„Annuaire"**.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin" sont à adresser à la

COMMISSION DE LA REDACTION:
Secrétariat de l'Association Suisse des Electr.,
Hardturmstrasse 20, Zurich III - Téléphone 522

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les insertions sont à adresser à

l'éditeur: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S.-A., Zurich
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

IV. Jahrgang
IVe Année

Bulletin No. 5

Mai
Mai 1913

Ueber wandernde Lichtbögen (Hörnerblitzableiter) und verwandte Erscheinungen. [1])

Von Dr. *H. Greinacher,* Zürich.

Wirkungsweise des Hörnerblitzableiters. Die Hörnerblitzableiter werden allgemein so montiert, dass die Hörner nach oben schauen. Dies hat seinen Grund in der allgemein verbreiteten Annahme, dass die Löschwirkung durch den Auftrieb der erhitzten Luft zustande komme. Es lässt sich jedoch, wie ich zufällig beobachtete, leicht zeigen, dass der Lichtbogen immer nach den Hörnern zu wandert, unbekümmert um die Richtung, welche die Hörner im Raume einnehmen. Vermittels des rotierenden Spiegels beobachtete ich ferner, dass selbst in der Geschwindigkeit der Löschwirkung kein Unterschied war, wenn die Hörner das eine Mal nach oben, das andere Mal nach unten gerichtet waren. Der Vorgang verlief im übrigen so rasch, dass die Lichterscheinung im rotierenden Spiegel nur wenig deformiert erschien. Alle diese Umstände liessen erkennen, dass die heisse Luft nicht die wesentliche Triebkraft sein konnte.

Gelegentlich hat man nun allerdings darauf hingewiesen,[2]) dass die Wirkung der heissen Luft durch einen elektromagnetischen Effekt unterstützt werde. Man scheint jedoch dem letzteren Umstand meist so geringe Bedeutung zugemessen zu haben, dass selbst neuere Lehrbücher nichts davon erwähnen. Die Erklärung, wozu ich durch die im folgenden beschriebenen Versuche gekommen bin, ist eine rein elektromagnetische. Dass der Lichtbogen eine elektromagnetische Ablenkung infolge der stromdurchflossenen Zuleitungen erhalten muss, ist leicht einzusehen (vgl. etwa Zenneck l. c.). Man kann sich dies etwa an Hand der Fig. 1 vergegenwärtigen. Dort ist das Magnetfeld, das durch den Strom in den Bügeln B_1 B_2 erzeugt wird, durch die kleinen Kreise angedeutet. Sowohl das Feld des zufliessenden als des abfliessenden Stromes wirken, wie sofort ersichtlich, zwischen

[1]) Die Resultate dieser Arbeit sind bereits im 1. Märzheft der „Verhandlungen der Deutsch. Physik. Ges." veröffentlicht.

[2]) *J. Zenneck,* Elektromagnetische Schwingungen 1905, S. 460.

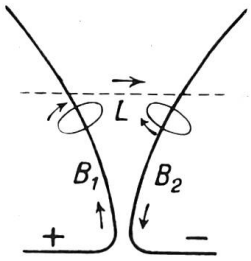


Fig. 1.

den Hörnern im gleichen Sinne; die Kraftlinien verlaufen dort von vorn nach hinten. Die Gesetze der Elektrodynamik verlangen, dass der Lichtbogen, d. h. der bewegliche von links nach rechts durchflossene Stromleiter nach oben getrieben wird. Nimmt man den Stromverlauf in entgegengesetztem Sinne an, so dreht sich mit dem Strom auch das Magnetfeld um, und die Bewegung erfolgt wiederum nach oben. Somit ist die Wirkungsweise für Gleich- und Wechselstrom dieselbe. Die an der Stelle *L* betrachtete Wirkung ist natürlich bereits da, sobald der Lichtbogen an der engsten Stelle entsteht. Ja, sie wird dort sogar besonders stark sein, da sich alle Teile des Bogens verhältnismässig nahe an den Drähten befinden. Nimmt doch das Magnetfeld für lange stromdurchflossene Drähte nach dem Ausdruck $^{2i}/_{r}$ ab. Ungefähr ebenso wird sich das Feld verhalten, das durch die stromführenden Teile hier entsteht. Die Bewegung des Lichtbogens scheint tatsächlich an den Drähten besonders lebhaft zu sein, wie der Augenschein lehrt. Es sieht zuweilen so aus, wie wenn die Lichterscheinung den beiden Drähten entlang ginge, während der Bogen zwischen den Drähten gegen die Hörnerenden zu gar nicht mehr vorhanden ist, bezw. eine nach der Zündstelle zu konkav begrenzte Lichterscheinung bildet.

Während solchergestalt der Bogen nach oben getrieben wird, treibt dieser seinerseits eine Luftwelle vor sich her, die bei genügender Intensität zu einem Knalle Anlass gibt. Je grösser die Stromintensität ist, um so rascher wird die Löschwirkung sein. Durch Herabsetzung der Stromstärke (Einschalten eines äusseren Widerstands, z. B. von nur 1 Ohm), kann andererseits die Erscheinung auch weniger rasch (schwaches Geräusch) verlaufen.

Versuchsanordnung. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, ist eine besondere Zündelektrode vermieden. Anstatt die Zündung mit einem Hülfstransformator vorzunehmen (siehe etwa bei *Benischke,* Elektrotechnische Zeitschrift 24. 613. 1912), wird hier der Zündfunke durch einen Schwingungskreis angeregt. Die Länge der Funkenstrecke *F* beträgt einige mm. Die Kapazität *C* besteht auseiner kleinen Leidenerflasche. Der Induktor besitzt 10—15 cm. Schlagweite. Würde man die Funkenstrecke *F* ganz weglassen, so würde sich die Sekundärspannung des Induktors durch die Lichtbatterie *B* ausgleichen, und man erhielte keinen Zündfunken. So aber erfolgt nach Aufhebung des *Hg*-Kontaktes *K* sofort Zündung, worauf der Lichtbogen einsetzt. Der Blitzableiter wurde bei allen Versuchen mit Gleichstrom von 160 Volt (Akkumulatorenbatterie von 60 Volt und seriengeschaltete Dynamo von 100 Volt) oder mit Wechselstrom von 220 Volt betrieben. Der Vorschaltwiderstand *W* betrug 1 Ohm und weniger. Da die Löschwirkung sehr rapide erfolgt, so empfiehlt es sich, zur Vermeidung nicht unbeträchtlicher Ueberspannungen die Drosselspulen *DD* einzuschalten.

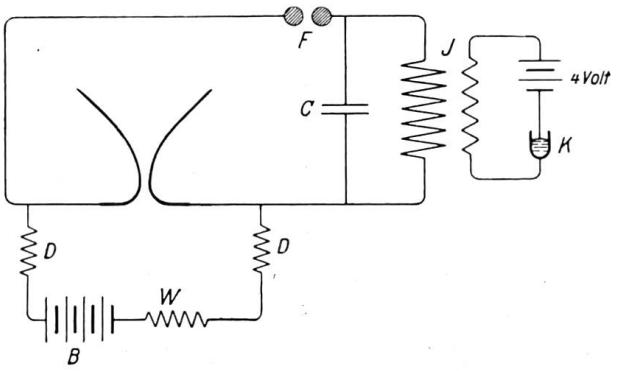


Fig. 2.

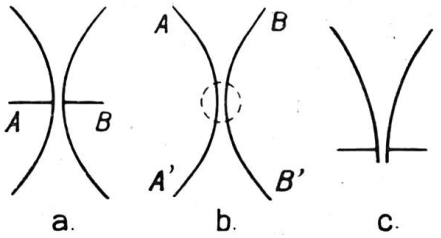


Fig. 3.

Versuche zur Frage des Hörnerblitzableiters. In Fig. 3 sind einige von den getroffenen Anordnungen eingezeichnet. Bei Anordnung *a*, die mit Wechselstrom und Gleichstrom untersucht wurde, ging der Bogen bald nach oben, bald nach unten, und zwar war ein Unterschied in der Häufigkeit nicht zu sehen. Die Richtung wurde offenbar einfach dadurch bestimmt, dass der Zündfunke nicht immer genau an derselben Stelle, vielmehr bald etwas oberhalb *AB*, bald etwas unterhalb einsetzte.

Besonders instruktiv war die weitere Doppelhörneranordnung *b*. Wurden die Stromzuführungen an *A* und *B* angeklemmt, so ging der Bogen nach unten. Wurden sie mit *A' B'* verbunden, so ging er nach oben. Verband man aber etwa *A* und *B'*, so löschte

der Bogen überhaupt nicht, sondern blieb an der engsten Stelle stehen! Elektrodynamisch ist auch keine Bewegung zu erwarten, da die Magnetfelder der beiden stromzuführenden Teile sich hier vernichten.

Will man hier Löschwirkung erzielen, so muss ein besonderes Magnetfeld angebracht werden. Letzteres kann man, wie bei den Niederspannungs-Hörnerblitzableitern von Siemens & Halske durch Vorschalten einiger Solenoidwindungen erzeugen. Wurden an Stelle des in Fig. 3 b punktierten Kreises 2—3 Windungen vorgeschaltet, so beobachtete man eine lebhafte Einwirkung. Doch erhielt man nicht immer Löschung. Stets aber entstand ein heftiges reissendes Geräusch.

Bei Anordnung *c* ging der Bogen, wie zu erwarten, nicht nach den Hörnern zu. Entweder blieb er stehen, oder er löschte nach unten, indem er hier überhaupt nicht den Drähten entlang glitt, sondern sich nach unten ausbauschte. Aus diesem Versuch geht hervor, dass bei einem richtig konstruierten Hörnerblitzableiter die Zündstelle am besten nicht gleich an den Zuführungen, sondern etwas gegen die Hörnerenden zu liegen muss.

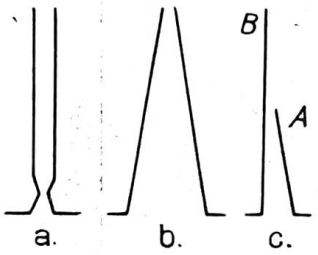
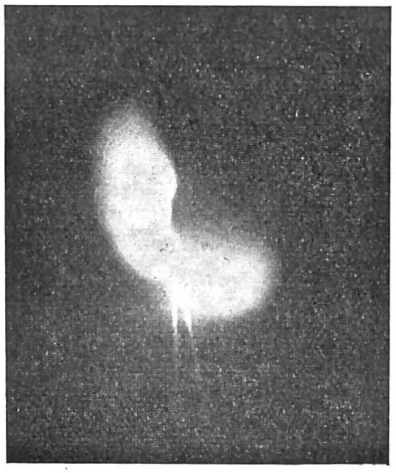


Fig. 4.

Im übrigen ist eine hörnerartige Form, wie die Anordnungen der Fig. 4 zeigten, nicht nötig. Der Bogen fährt auch zwischen parallelen Drähten (Fig. 4 a) entlang und löscht an den Spitzen. Bei 4 b blieb der Bogen häufig ein Weilchen stehen und löschte dann. Waren die Enden vor dem Versuch glatt abgefeilt, so zeigte sich nachher die positive Spitze zugespitzt. Es hatte sich also eine, wenn auch nur rudimentäre Hörnerbildung eingestellt. Anordnung *c* zeigte glatte Löschwirkung, indem der Bogen bei *A* einsetzte und bei *B* auslöschte. Nur wenn *A* zu *B* senkrecht gestellt wurde, erfolgte die Löschwirkung bald nur schwierig nach oben, bald gar nicht. Die Photographien der mit 4 b und c gewonnenen Einzelblitze (Fig. 5 und 6) zeigen das eigenartige Aussehen der Erscheinung.

Fig. 5.

Fig. 6.



Waren die Paralleldrähte zu lang, etwa über 15 cm, so löschte der Bogen schon vor Erreichung der Enden; und zwar wurde beobachtet, dass der Bogen durchschnittlich um so weiter lief, je dünner die Drähte waren. Wir kommen damit zur Besprechung eines weiteren, für die Ausbildung der Lichterscheinung wichtigen Faktors. Soll der Lichtbogen bis zu den Enden zweier Paralleldrähte wandern, so muss die kathodische Ansatzstelle stets eine so hohe Temperatur haben, dass die zur Erhaltung des Bogens nötige Anzahl Elektronen ausgesandt werden kann (sh. etwa Winkelmanns Handbuch, Bd. 4, pg. 534). Bewegt sich der Lichtbogen und damit die kathodische Ansatzstelle zu schnell, so kann die Zeit leicht nicht mehr ausreichen, um die Kathode genügend zu erhitzen, und der Bogen löscht aus. Unter sonst gleichen Bedingungen wird dies offenbar um so schneller eintreten, je dicker und damit massiger die verwendeten Drähte sind. Es wird also die spezifische Wärme und Wärmeleitfähigkeit des Materials eine Rolle spielen.

Will man daher den Bogen bei parallelen Drähten lange Strecken gleiten lassen, so muss der Draht möglichst dünn genommen werden. Andererseits darf aber der Widerstand der Zuführung bei den hohen Stromstärken nicht unter eine gewisse Grösse sinken. So verwendet man denn zweckmässig dünne Blechstreifen. Eine Anordnung, mit der sich leicht eine Bewegung des Lichtbogens auf einen halben Meter hin erzielen liess, zeigt Fig. 7.

Fig. 7.

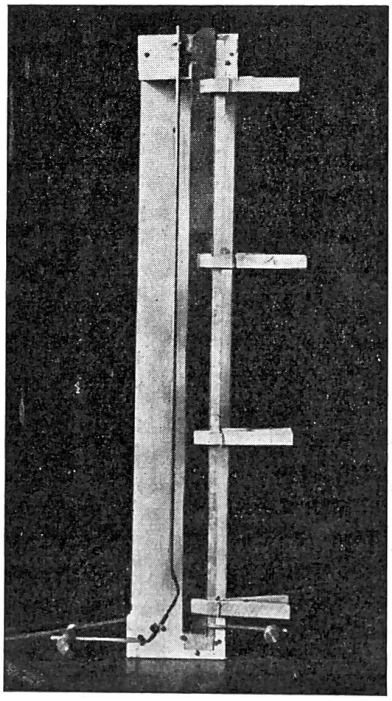
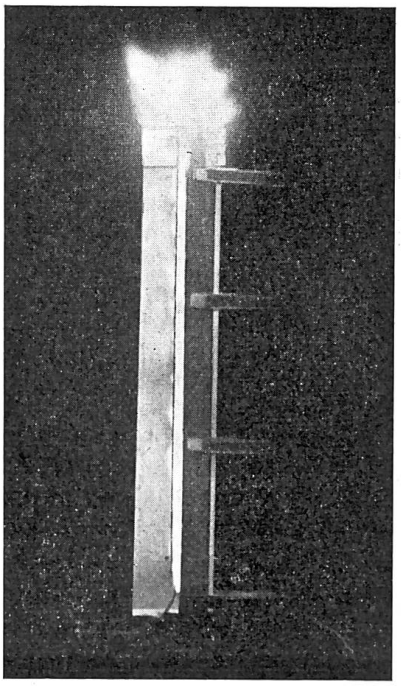


Fig. 8.



Als Anode diente ein Kupferdraht von 3 mm Dicke, als Kathode ein Kupferblech von ca. $^1/_{10}$ mm Dicke, das einfach auswechselbar auf eine Weissblechunterlage aufgeklemmt war. Der Abstand betrug ungefähr 1 cm, an der Zündstelle 3 mm. Die Lichterscheinung, die ich damit erhielt, ist in Fig. 8 wiedergegeben. Sie ging, wie zu erwarten, in gleicher Weise auf- und abwärts. Es besteht im übrigen keine Schwierigkeit, die Elektroden auch viel länger als $^1/_2$ m lang zu nehmen. Das Kupferblech wurde, auch bei fortgesetzter Benutzung, nur wenig verändert. Der Rand (kathodische Ansatzstelle) zeigte sich nur wenig gezähnelt. Wurden aber die Pole vertauscht, dann löschte der Lichtbogen schon bald oberhalb der Zündstelle, und wurde das Kupferblech scharf eingefressen. Auch mit Wechselstrom ging der Versuch nicht. Wir haben somit eine ausgesprochen unipolare Erscheinung vor uns.

Verwendet man statt des anodischen Kupferdrahts etwa einen Kohlestift, so verläuft die Erscheinung ebenso glatt. Dreht man aber hier die Pole um, so bleibt der Bogen stehen, und die Kupferfolie wird abgeschmolzen. Ueberhaupt war eine Wanderung und Löschung des Lichtbogens schwer zu erreichen, wenn eine negative Kohleelektrode genommen wurde. Immerhin wurde auch bei nahezu parallel gestellten, etwas gegeneinander geneigten Kohlestiften (Anordnung der Jablochkoff'schen Kerze und der Effektbogenlampen) Zündung und sofortige Löschung beobachtet, vorausgesetzt, dass der Abstand der Stifte nicht zu klein war. Es scheint mir daher nicht ausgeschlossen, dass die eine oder andere der zahlreichen, am Kohlelichtbogen beobachteten Erscheinungen auf solche elektromagnetische Ursache zurückzuführen ist. Hat man doch die elektrodynamische Wirkung der stromführenden Zuleitungen noch wenig berücksichtigt.

Die Frage, welches die zweckmässigste Konstruktion des Hörnerblitzableiters im Lichte der oben angeführten Erklärung ist, ist mehr technischer Natur, und soll hier nicht weiter erörtert werden. Es möge nur darauf hingewiesen werden, dass nach der jetzt vor-

liegenden Erklärung die Löschwirkung mit der Stromstärke des erzeugten Lichtbogens wächst. Da diese ihrerseits wiederum grösser für die höheren Spannungen ist, so ist zu erwarten, dass der Hörnerblitzableiter für hohe Betriebsspannungen besonders gut funktioniert. Immerhin habe ich bei meinen Versuchen schon mit Niederspannung (160 Volt) ja prompte Löschwirkung erzielt. Ich möchte dies insofern erwähnen, als, wie oben erwähnt, auch Hörnerblitzableiter mit besonderer elektrodynamischer Löschwirkung (Solenoidwindungen) konstruiert worden sind (siehe etwa Elektrotechnische Zeitschrift vom 26. November 1903, Anzeige der Siemens-Schuckertwerke).

Versuche mit Schwachstromentladungen. Wie die oben beschriebenen Versuche zeigen, ist somit die elektrodynamische Wirkung der Zuleitungen, falls es sich um die grossen Stromstärken des Lichtbogens handelt, so gross, dass die Wirkung der heissen Luft dagegen gar nicht in Betracht kommt. Anders liegt nun die Sache, wenn man etwa Versuche mit Funken- oder Bogenentladungen eines Induktors anstellt. Bei Funkenentladungen findet man überhaupt noch keine oder nur eine schwache Bewegung. Erst mit der intensiveren Bogenentladung beginnt das Wandern und Löschen. Ein hübsches Demonstrationsexperiment ist folgendes: Man stellt zwei etwa meterlange Drähte (*Al* oder *Cu*) parallel und vertikal zu einander auf (Abstand 1 cm oder mehr). Der Abstand sei unten, wo die Zündung erfolgen soll, etwas verringert. Die oberen Enden seien hingegen etwas nach aussen gebogen. Verbindet man jetzt die Zuleitungen mit einem Induktorium, das mit Gleichstrom und Wehneltunterbrecher oder am besten mit Wechselstrom gespeist sei, so tritt bei genügender Intensität an der engsten Stelle eine Bogenentladung ein. Der Bogen wandert mit mässiger Schnelligkeit nach oben, verlängert sich an den Hörnern und löscht. Im selben Moment zündet sich die Bogenentladung unten wieder von neuem, worauf die Erscheinung sich wiederholt. Die Stromstärken betragen bei diesem Experimente 30—60 Milliampere.

Es ist bemerkenswert, dass bei diesen Intensitäten die elektrodynamische Wirkung der Zuleitungen bereits so klein ist, dass die Strömung der heissen Luft nun eine Rolle zu spielen beginnt. In der Tat funktioniert die Anordnung nur dann, wenn die Drähte nach oben gehen. In jeder anderen Lage bleibt der Bogen stehen. Einen Einfluss der Drahtdicke oder des Materials habe ich nicht bemerken können. Verwendet man einen grossen Hochspannungstransformator, so kann der Abstand der Drähte sehr gross gemacht werden (10 cm und mehr). Doch findet die Bewegung bei kleinerer Sekundärspannung gleichförmiger statt.

Bringt man den wandernden Bogen in ein geschlossenes Glasgefäss, so beobachtet man schon nach wenigen Augenblicken eine lebhafte Gelbbraunfärbung der Luft, ein Zeichen, dass sehr intensive NO_2-Bildung stattfindet. Tatsächlich wird auch in der Praxis die Luftstickstoffoxydation durch bewegte Lichtbögen ausgeführt (Beschreibung der verschiedenen Verfahren siehe etwa bei *Zenneck*, Phys. ZS. 11, 1228, 1910). Während dort aber die Luft durch besondere Vorrichtungen elektromagnetisch oder mechanisch bewegt wird, findet in vorliegendem Falle eine automatische Bewegung statt. Mit der Bildung von NO_2 scheint es auch zusammen zu hängen, dass der Lichtbogen oben einen braunen Saum besitzt.

Erscheinungsform bei vermindertem Druck. Während Versuche am Hörnerblitzableiter in verdünnter Luft dieselben Resultate lieferten, wie bei Atmosphärendruck, bot sich bei der Bogenentladung ein ganz neues Bild. Zunächst wurde beobachtet, dass bei fortschreitender Luftverdünnung die Aufwärtsbewegung etwas rascher erfolgte. Zugleich nahm die Stromstärke ab. Schliesslich begann der bewegte Lichtbogen sich in die Einzelentladungen des Induktoriums aufzulösen. In dem Masse, wie das weissgelbe Licht der eigentlichen Bogenentladung dem roten anodischen Licht der Glimmentladung Platz machte, wurde die Auflösung in die Einzelentladungen vollständiger. Schliesslich bot sich ein Schauspiel, wie ich es hier am besten durch einige photographische Reproduktionen wiedergebe.

Fig. 9 und 10 geben zwei Photographien wieder, die bei ca. 7 cm *Hg*-Druck erhalten wurden. Während bei 9 die Stromstärke 20 Milliampere betrug, war sie bei 10 nur die Hälfte. Man erkennt sämtliche Einzelentladungen des Wechselstroms (50 Perioden).

Fig. 9.

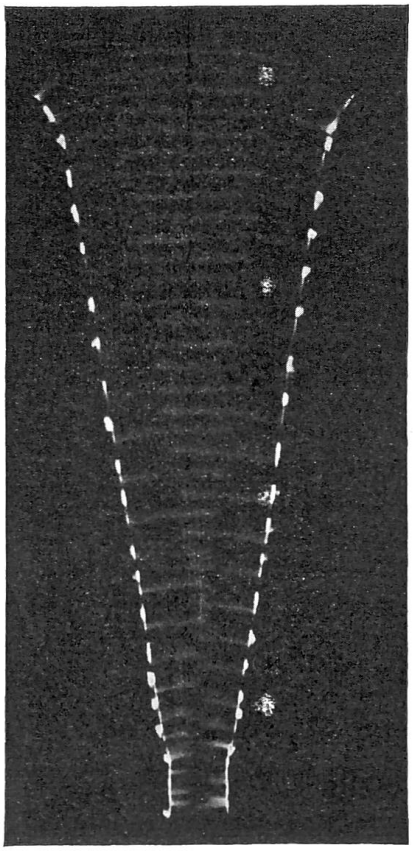


Fig. 10.

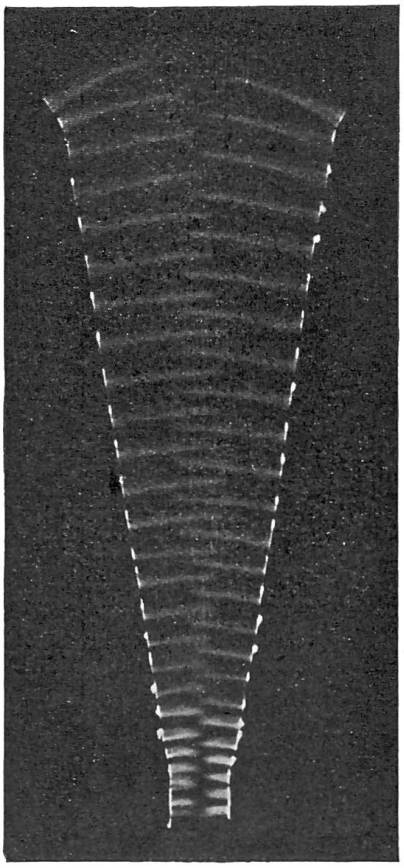


Fig. 11.

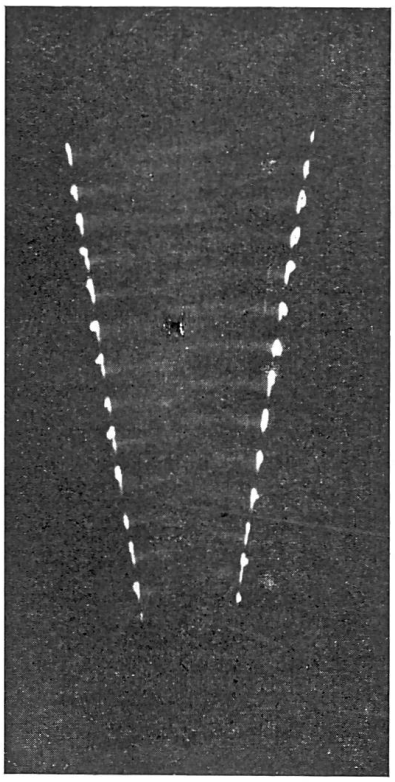
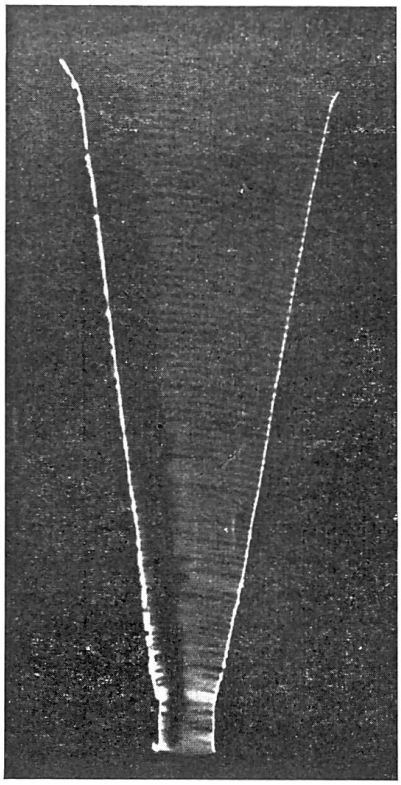


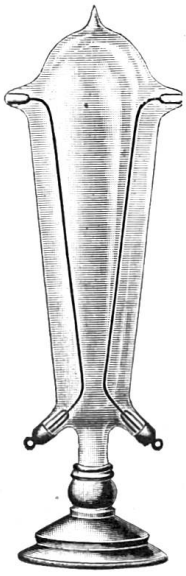
Fig. 12.



Da gegen 50 Entladungen vorhanden sind, so ist die Zeitdauer eines Aufstiegs also knapp $^1/_2$ Sekunde. Trotz dieser raschen Aufeinanderfolge der Aufstiegsperioden gelang es jedoch unschwer, einzelne Perioden zu photographieren. Nach einigen Taktübungen gelang es überraschend leicht, das Objektiv des Photoapparats bei der Zündung zu öffnen und beim Auslöschen zu schliessen. Bei 9 scheint dies ziemlich vollständig erreicht zu sein, während bei 10 sich unten bereits ein zweiter Aufstieg überlagert. Dies stört jedoch nicht wesentlich, da die Erscheinung sich sehr regelmässig wiederholt. Nimmt man z. B. zwei Photographien hintereinander auf, so decken sie sich meistens vollständig. Fig. 11 gibt noch eine Aufnahme bei ca. 18 cm Druck. Hier sind die Versuchsbedingungen bereits weniger günstig. Erniedrigt man den Luftdruck andererseits zu weit, etwa so weit, als eine Wasserstrahlpumpe arbeitet, so bleibt die Glimmentladung an der engsten Stelle stehen. Häufig beobachtete ich dabei, dass die Erscheinung dann unipolar aussah.

Verwendete ich zur Erregung des Induktoriums statt Wechselstrom Gleichstrom mit Wehneltunterbrecher, so erhielt ich eine Erscheinung wie sie Fig. 12 zeigt. Trotz der viel rascheren Unterbrechung sind auch hier sämtliche Einzelentladungen zu sehen. Namentlich die anodischen Streifen und Ansatzpunkte sind gut aufgelöst.

Fig. 13.



Man hat so ein einfaches Mittel, um die Regelmässigkeit von Unterbrechungen zu kontrollieren. Die Unterbrechungszahl selbst lässt sich ermitteln, wenn man die Aufstiegszeit und die Zahl der Partialentladungen bestimmt. Die Erscheinung lässt sich ferner sehr einfach zur Messung kleiner Zeiten verwenden. Ist doch z. B. bei Aufnahmen, wie bei Fig. 9 und 10 die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Zacken sehr genau bekannt ($^1/_{100}$ Sekunde). Die wandernden Partialentladungen stellen überhaupt im Prinzip einen selbsttätigen Oszillographen vor.

Fig. 14.

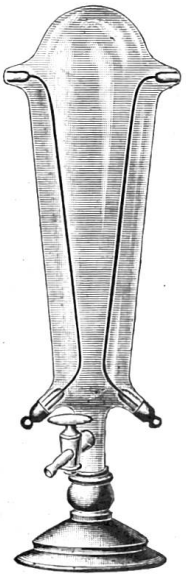


Fig. 13 und 14 geben noch zwei gebrauchsfertige Demonstrationsröhren wieder, wie sie von der Glasinstrumentenfabrik *Emil Gundelach in Gehlberg* (Thüringen) geliefert werden. Erwähnt sei, dass die Erscheinung am schönsten in nicht zu engen Glasgefässen vor sich geht. Schon bei einem Röhrendurchmesser von 5 cm fand ich die Auflösung der Partialentladungen etwas beeinträchtigt. Offenbar vermindert hier bereits die vermehrte Reibung der Luft, welch letztere zuwenig ausweichen kann, die Bewegung. Bei der ganzen Erscheinung scheint überhaupt die Luftbewegung die grössere Rolle zu spielen, als die elektromagnetische Wirkung des Stroms. Insofern können diese Experimente über Bogenentladung, im Gegensatz zum Hörnerblitzableiter, eher als Demonstration für die treibende Wirkung der heissen Luft gelten.