

# Ueber die im elektrischen Felde auf eine Glühlampe ausgeübten Kräfte

von

M. Willibald Hoffmann.

Befindet sich in der Nähe eines weit ausgepumpten Entladungsrohres eine stromdurchflossene elektrische Glühlampe, so beobachtet man die im Folgenden beschriebenen Erscheinungen.

Von dem Entladungsrohre werden auf den Faden der Glühlampe Kräfte ausgeübt. Bei langsamem Aufeinanderfolgen der einzelnen Entladungen tritt ein Schwingen des Glühfadens ein; schnellere Entladungen zwingen dem Faden eine feste Stellung, eine gewisse Starrheit auf: er sucht seine Lage im Raum zum Entladungsrohre beizubehalten, wenn man die Glühlampe dem Entladungsrohre nähert oder von demselben entfernt.

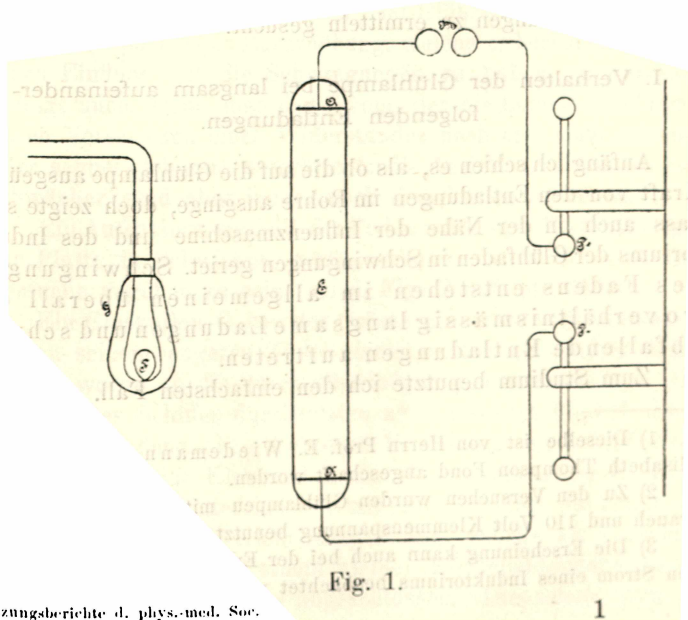


Fig. 1.

In der Figur 1 bedeuten P + und P — die Pole einer zwanzigplattigen Influenzmaschine<sup>1)</sup>. Der Strom geht von P + durch ein Funkenmikrometer M zur Anode A des 40 cm langen und 3 cm weiten cylindrischen Entladungsrohres E, von hier durch das Gas über die Kathode K des Rohres zum negativen Pol P — der Maschine zurück. Die Anode und die Kathode bestehen aus je einer 0,2 cm dicken Aluminiumplatte von 1 cm Radius. In ca. 30 cm Abstand von dem Entladungsrohre stand eine gewöhnliche Glühlampe G von 16 NK<sup>2)</sup>. Ihr Faden ist mit F bezeichnet.

Springen in M langsam Funken über, so schwingt der Faden taktmässig mit den Entladungen im Rohre E. Folgen aus irgend einem Grunde (etwa beim Verkürzen der Funkenstrecke oder beim schnelleren Drehen der Influenzmaschine)<sup>3)</sup> die Entladungen schneller aufeinander, so werden die Schwingungen schwächer, schliesslich hören sie ganz auf und an ihre Stelle tritt die oben erwähnte Starrheit des Fadens. Wird jetzt das Rohr E der Lampe genähert resp. von derselben weiter entfernt, so führt der Glühfaden Bewegungen im Sinne der Verschiebung aus.

Durch eine Reihe von Versuchen habe ich die Gründe für diese Erscheinungen zu ermitteln gesucht.

### I. Verhalten der Glühlampe bei langsam aufeinanderfolgenden Entladungen.

Anfänglich schien es, als ob die auf die Glühlampe ausgeübte Kraft von den Entladungen im Rohre ausginge, doch zeigte sich dass auch in der Nähe der Influenzmaschine und des Induktoriums der Glühfaden in Schwingungen geriet. Schwingungen des Fadens entstehen im allgemeinen überall da, wo verhältnismässig langsame Ladungen und schnell abfallende Entladungen auftreten.

Zum Studium benutzte ich den einfachsten Fall.

---

1) Dieselbe ist von Herrn Prof. E. Wiedemann aus Mitteln des Elisabeth Thompson Fond angeschafft worden.

2) Zu den Versuchen wurden Glühlampen mit 0,6 Amp. Stromverbrauch und 110 Volt Klemmenspannung benutzt.

3) Die Erscheinung kann auch bei der Erregung des Rohres durch den Strom eines Induktoriums beobachtet werden.

Eine isolierte, runde Metallplatte von 35 cm Durchmesser wurde mit dem +-Pol der Influenzmaschine verbunden und parallel zu ihr die Funkenstrecke an der Maschine geschaltet. Der negative Pol war mit der Erde verbunden.

Beim Drehen der Maschine erhält man eine langsame Ladung der Metallplatte bis auf ein bestimmtes Potential, das dem Abstände der Kugeln an der Maschine entspricht. Springt zwischen diesen der Funken über, so fällt das Potential plötzlich auf Null. Der Faden einer in die Nähe der Platte gebrachten Glühlampe bleibt während der Ladung der Platte vollkommen in Ruhe, während er bei der Entladung derselben gegen die der Metallplatte zugekehrte Wand der Glühlampe hingerissen wird und nach kurzem Vibrieren zur Ruhe kommt, bis ihm die nächste Entladung einen neuen Impuls giebt. Diese Anziehungen des Fadens an die Wand der Lampe treten auch dann ein, wenn zwischen Lampe und ladende Platte dielektrische Körper gebracht werden, der Faden bleibt dagegen vollkommen ruhig hinter Metallplatten, gleichgiltig, ob dieselben zur Erde abgeleitet werden oder nicht. Die Erscheinung ist also rein elektrostatisch.

Der Strom, der den Faden zum Glühen bringt, spielt keine Rolle, nur die Temperaturerhöhung, welche er hervorruft, scheint einen Einfluss auf die Schwingungen zu haben. Der Versuch gelingt auch, wenn man den Strom, der die Lampe durchfließt, durch Vorschalten eines Widerstandes nach und nach schwächt oder schliesslich ganz unterbricht: die Anziehungen werden zwar schwächer, sind aber immer noch deutlich zu erkennen.

Ein Aufschluss, weshalb der Faden nur bei den Entladungen der Platte in Schwingen gerät, scheint durch die folgenden Versuche gegeben zu sein (vergl. Fig. 2 auf folg. Seite).

Ein Glasballon G von der Grösse einer mittleren Glühlampe, der an seinem engeren Teile einen ca. 2,5 cm weiten Schliff besass, wurde an die Quecksilberluftpumpe angeschmolzen. Den Stempel des Schiffes durchsetzten zwei stärkere Platindrähte p und p<sub>1</sub>, mit denen eine Schlinge F aus dünnerem Platindraht durch zwei kleine Klemmen K und K<sub>1</sub> verbunden war. Diese „Lampe“ wurde hintereinander mit einer grossen Glühlampe von 32 NK und 110 Volt Klemmenspannung, welche als Vorschaltwiderstand diente, und einem kleinen Kurbelwiderstand an die Lichtleitung des Institutes angeschlossen. Die schon oben er-

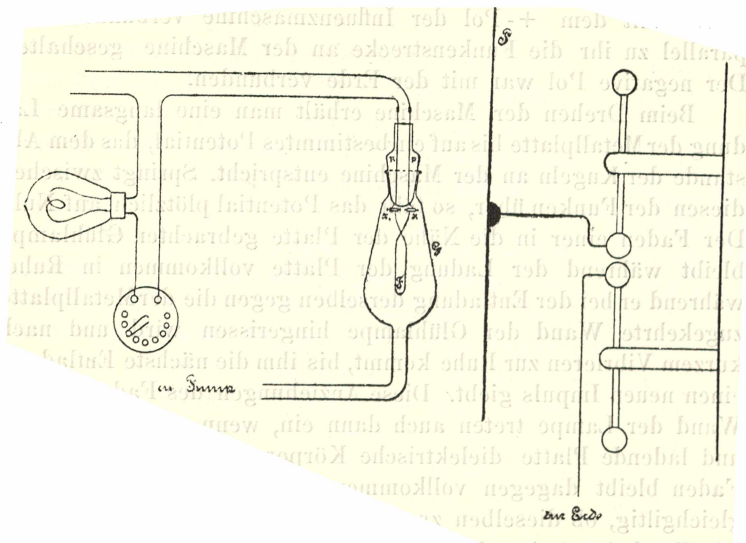


Fig. 2.

wähnte influenzierende Metallplatte, die in der Figur mit P bezeichnet ist, wurde in der Nähe der zu Anfang des Versuches noch mit Luft von ca. 760 mm Druck gefüllten Lampe aufgestellt.

Während der Ladung der Platte wurde von dieser die stromlose Platinschlinge angezogen, bei ihrer Entladung losgelassen. Die Anziehungen erfolgten ebenso, wenn der Faden F ausserhalb des Glasballons frei in der Luft neben der Platte hing: die Erscheinung beruht in beiden Fällen auf einer gewöhnlichen Influenzwirkung.

Wurde der Platinfaden durch den elektrischen Strom ins Glühen gebracht, so erschienen die Anziehungen an die Platte bedeutend schwächer: der glühende Draht zerstreute teilweise die auf ihm influenzierte Elektrizität, welche derjenigen der ladenden Platte entgegengesetzt war. Diese Schwächung der von der Platte auf den Faden ausgeübten Anziehung hat ihren Grund darin, dass sich die vom Faden zerstreute Elektrizität auf die der Platte zunächst gelegene Wand der Glühlampe biegt und so die Wirkung der ladenden Platte teilweise aufhebt. Eine solche Zerstreung von elektrischen La-

dungen ist schon früher, vor allem von J. Elster und H. Geitel<sup>1)</sup> näher untersucht und beschrieben worden. Während jedoch in den von Elster und Geitel beobachteten Fällen nur die negative Elektrizität zerstreut wird, ist es bei unseren Versuchen gleichgiltig, ob die Platte P mit negativer oder positiver Elektrizität geladen wird. Die Zerstreuung ist also hier eine bipolare.

Bei abnehmendem Drucke in der Glühlampe bemerkte man auch dann, wenn der Faden nicht glühte, ein Nachlassen der Anziehungen des Fadens an die Platte, dasselbe trat noch schneller ein, wenn der Faden beim Auspumpen gleichzeitig durch den Strom zum Glühen gebracht wurde: in der verdünnten Luft scheint hiernach das Abfliessen der auf dem Faden influenzierten Elektrizität erleichtert zu werden.

Als noch weiter ausgepumpt wurde, hörten die Anziehungen an die Platte P während der Ladung derselben ganz auf. Der Faden hing vollkommen ruhig, wurde aber jetzt bei jeder Entladung der influenzierenden Platte zur Glaswand hingerissen. Mit sinkendem Drucke in der Lampe wurde dieses Heranschwingen des Fadens an die Wand des Ballons stärker. Schliesslich liess sich kein Unterschied mehr gegen das Verhalten des Kohlenfadens einer gewöhnlichen Glühlampe erkennen. Bei noch tieferem Vakuum nehmen die Amplituden der Schwingungen ab. Man kann ein Maximum der Wirkung der Platte auf den Faden erreichen. Dasselbe ist, wenn der Faden normal glüht, allein durch den Druck in der Glasbirne bestimmt.

Der Versuch zeigt, dass durch die geladene Platte auf dem Glühfaden entgegengesetzte Elektrizität influenziert wird, während die gleichartige zur Erde abfliesst. Infolge des Vakuums in der Lampe und der hohen Temperatur des Fadens entweicht jedoch die anfänglich auf dem Faden erregte Elektrizität und sammelt sich möglichst nahe dem influenzierenden Körper, in diesem Falle also auf der Glaswand, an. So wird der Faden, so lange sich die Platte noch ladet, nach und nach immer schwächer elektrisch, da neue Elektrizität auf ihm infolge der Schirmwirkung der geladenen Glaswand nicht mehr influenziert werden kann.

---

1) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. 38, p. 27. 1889.

Bei der Entladung der Platte P kann sich die auf der Glaswand befindliche Elektrizität durch das Vakuum nur langsam mit der von ihr influenzierten ungleichnamigen des Fadens vereinigen: der Faden wird jetzt von der geladenen Wand angezogen. Das tiefe Vakuum lässt hiernach eine momentane Neutralisation der Elektrizitäten bei der schnellen Entladung der influenzierenden Platte P nicht zu, denn würde die Neutralisation plötzlich eintreten, so müsste der Faden in Ruhe bleiben.

Wenn man diese Entladungen verzögert, müssen die plötzlichen Anziehungen des Fadens verschwinden, da durch einen allmählichen Abfall der Ladung von P die für den Ausgleich der Elektrizitäten in der Lampe nöthige Zeit gewonnen wird.

Um eine langsame Entladung der Platte zu erhalten und gleichzeitig den Unterschied zwischen den hier auftretenden Erscheinungen und den vorhin beschriebenen zu ermitteln, wurde in ca. 30 cm Abstand von der Platte P eine gleich grosse  $P_1$  aufgestellt, die mit dem zweiten Pole der Maschine durch eine Leitung, in welche eine ca. 50 cm lange Hanfschnur eingeschaltet war, in Verbindung stand. Eine Erdleitung konnte in diesem Falle nicht benutzt werden.

Beim Gange der Maschine wurden bei dieser Anordnung beide Platten gleichzeitig geladen. Wenn der Funken übersprang, entlud sich P momentan, die zweite Platte  $P_1$  aber relativ langsam infolge des grossen Widerstandes der in die Zuleitung eingeschalteten Schnur. Die Wirkung des Systems auf die Glühlampe entsprach den Erwartungen. An der Platte, deren Leitung durch die Hanfschnur unterbrochen war, blieb die Lampe vollkommen ruhig, ebenso an der Zuleitung von dieser bis zu dem Ende der Schnur, das der Funkenstrecke zunächst war. Von hier aus, über die Funkenstrecke bis zur Platte P, traten wieder die heftigsten Bewegungen des Fadens auf.

### **Anwendungen des gewonnenen Resultates.**

#### **1. Verlauf der Entladungen im Stromkreise eines Entladungsrohres.**

Nach den vorigen Ausführungen ist die elektrische Glühlampe ein brauchbares Mittel zur Erkenntnis schnell verlaufender Entladungen. Es lag nahe, dort wo die Schwingungen des Glüh-

fadens zuerst beobachtet wurden, im Stromkreise eines Entladungsrohres, den Entladungsvorgang näher zu untersuchen. Hier zeigte sich, dass der Faden der Lampe von der Kathode bis zum negativen Pol der Maschine resp. des Induktoriums nicht erregt wurde, im ungünstigsten Falle, d. h. bei schlechter Ausbildung des dunklen Raumes vor der Kathode, schwach und niemals gleichzeitig mit den das Rohr durchsetzenden Entladungen vibrierte, dass dagegen die Schwingungen desselben kräftig und vollkommen gleichzeitig mit den einzelnen Entladungen am positiven Pol der Maschine oder des Induktoriums, am Zuleitungsdraht zur Anode über die Funkenstrecke, und durch die Entladungen im verdünnten Glase selbst bis zum dunklen Raum hervorgerufen wurden.

Die Schwingungen des Fadens treten bei mittleren Drucken nur dann auf, wenn in dem Entladungskreise eine Funkenstrecke liegt. Bei tiefem Druck im Entladungsrohre ist die Funkenstrecke nicht nötig, da das Entladungspotential an sich ein höheres wird.

Während also die positive Entladung bei eingeschalteter Funkenstrecke sich der Glühlampe gegenüber wie eine schnell abfallende Potentialschwankungen zeigende Metallplatte verhält, ist an der Kathode eine Wirkung auf den Glühfaden zu finden, welche der einer langsam sich ladenden und entladenden Platte entspricht. Die Elektrizität fliesst durch den dunklen Raum allmählich ab. Dies Resultat steht im Einklang mit der Thatsache, dass die Vorgänge an der Kathode lang anhaltende sind, worauf unter anderen Spottiswoode<sup>1)</sup>, vor allen aber E. Wiedemann und H. Ebert<sup>2)</sup> hingewiesen haben. Die Entladung im Rohr sondert sich also dem zeitlichen Verlauf nach in zwei vollkommen getrennte Teile. Wir haben einmal die schnell verlaufende positive Entladung, daneben, vom dunklen Raum ab, ein langsames Abfliessen der Elektrizität.

Leitet man bei eingeschalteter Funkenstrecke eine Stelle des Rohres auf der positiven Lichtsäule durch eine an die Aussenwand

---

1) Spottiswoode Phil. Trans. 1880. 2. p. 180.

2) E. Wiedemann und H. Ebert: Sitzungsberichte der phys.-med. Societät Erlangen, Heft 24. 8. Febr. 92. Wied. Ann. 50 p. 35. 1893.

desselben angelegte Platte zur Erde ab, so bildet sich unterhalb der Platte eine sekundäre Kathode. Die Glühlampe schwingt dann von der Anode aus bis zu dem neu gebildeten dunklen Raum. Obwohl das positive Licht hinter der sekundären Kathode wenig an Intensität verloren hat, ist es fast ganz unwirksam auf die Lampe geworden. Durch die sekundäre Kathode hat also dieser Teil der positiven Lichtsäule die ihm ursprünglich durch die Funkenstrecke erteilte Eigenschaft verloren.

## **2. Verlauf der Entladungen eines Induktoriums.**

In einfacher Weise lässt sich im Anschluss an die früheren Beobachtungen zeigen, dass bei einem Ruhmkorff-Induktorium der sekundäre Strom nicht ein gleichmässig steigendes und abfallendes Potential besitzt, sondern dass hier infolge des im primären Kreise liegenden Kondensators von der einen Klemme eine schnell abreissende Entladung in den Stromkreis gesandt wird, neben welcher alle andern noch auftretenden Schwingungen eine untergeordnete Rolle spielen. Man findet, wenn man die sekundären Klemmen mit einem Luft-Kondensator verbindet, auf der einen Seite des Systems starke Schwingungen des Glühfadens, auf der anderen fast vollkommene Ruhe desselben. Die Glühlampe zeigt an, dass wir in dem sekundären Kreis einerseits plötzlich abfallende Potentialwerte, andererseits ein ruhiges Schwingen der Entladungen haben, eine Erscheinung, die bei der Erregung desselben Kondensators durch die Influenzmaschine nur durch das Vorschalten einer Hanfschnur vor die eine Platte erzeugt werden kann.

Zwischen den beiden Platten lässt sich eine Ebene finden, in der die Lampe still steht. Wird die eine Platte zur Erde abgeleitet, so verschwindet diese Indifferenz-Ebene und die Ruhe des Fadens tritt erst nahe bei der zur Erde abgeleiteten Platte ein.

## **II. Verhalten der Glühlampe bei schnell aufeinanderfolgenden Entladungen.**

### **1. Beziehung zwischen den Schwingungen des Fadens und der Zahl der Entladungen.**

Bei den beschriebenen Versuchen folgten die einzelnen Entladungen so langsam auf einander, dass man ohne weiteres einen

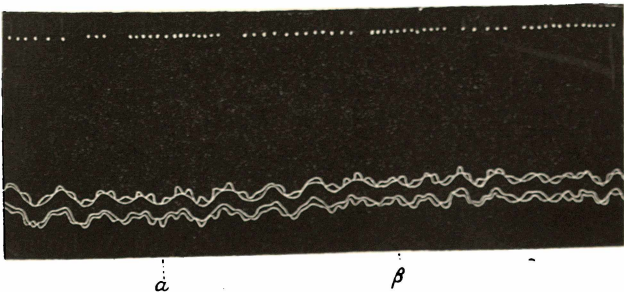


Synchronismus der Anziehungen des Fadens mit den einzelnen überspringenden Funken beobachten konnte.

Bei gesteigerter Zahl der Entladungen werden auch die Schwingungen des Fadens schneller, bis dieser infolge seiner begrenzten Elasticität dem Takte der Funken nicht mehr folgen kann. Dieses Zurückbleiben ist jedoch nur ein scheinbares.

Mit Hilfe einer photographischen Methode konnte auch jetzt noch der frühere Synchronismus festgestellt werden.

Die Glühlampe wurde horizontal hinter einem  $50 \times 50$  cm grossen Pappschild aufgestellt, in den vor der Lampe ein 0,2 cm breiter und 6 cm langer Spalt eingeschnitten war. Oberhalb der Lampe befand sich in dem Schild ein kreisförmiges Loch von 0,7 cm Radius, hinter dem sich die Funkenstrecke befand. Vor dem Schild stand in ca 1,5 m Entfernung eine gewöhnliche photographische Camera, deren Cassette jedoch horizontal verschiebbar war. Durch den Spalt wurden von der glühenden Schlinge der Lampe vier kurze Strecken ausgeblendet, die sich, wenn man die Platte bei einer Aufnahme auf ihrer Bahn vorwärts bewegte, als vier gerade Linien auf dem photographischen Bilde zeigten. Der vibrierende Faden musste in gleicher Weise aufgenommen vier Kurven geben, während sich die erregenden Funken auf der Platte in einer Reihe auf einander folgender Punkte markierten. Die hier mitgeteilte Kurve ist nach einer Originalaufnahme gezeichnet, welche bei ca. 150 Entladungen in der Sekunde erhalten wurde.



Man sieht deutlich die vier kleineren synchron mit den Funken entstandenen Kurven, welche aber infolge der elastischen Eigenschwingung des Fadens auf- und absteigen.

Ueber den Stellen  $\alpha$  und  $\beta$  der Kurve folgen die Funken schneller auf einander: hier ist im Photogramm eine Verflachung der Hauptkurve, die ja für das Auge die allein wahrnehmbare ist, deutlich zu erkennen. Es bildet sich an diesen Punkten eine gewisse Starrheit des Fadens aus. Wir haben hier das Uebergangsstadium zu der bei schnellen Schwingungen erfolgenden Ruhe des Fadens, aber zu den gleichzeitig hierbei auftretenden Verschiebungen desselben bei einem Verschieben des erregenden Leiters (s. S. 2). Dieses Folgende des Fadens bei Bewegungen des Leiters ist überall zu finden, wo zeitlich schnell auf einander folgende Ladungen und Entladungen auftreten, d. h. in der Nähe von Hertz'schen Systemen. Bei einem schwingenden Drahtsystem nach der Anordnung von Lecher oder Ebert schwingt der Faden synchron mit den Funken neben den primären Platten, an den sekundären und dem Endkondensator dagegen findet man in den Bewegungen der Platten entsprechendes Folgen desselben.

## **2. Über die Ursache der Starrheitserscheinungen des Glühlampenfaden in der Nähe schnell schwingender Systeme.**

Während sich die Schwingungsbewegungen des Glühlampenfadens auf einfache elektrostatische Vorgänge zurückführen liessen, scheint dies bei der oben erwähnten Starrheitserscheinung nicht der Fall sein.

Die das Folgen des Fadens erzeugende Ursache war stets an das Vorhandensein elektrischer Schwingungen gebunden und trat nur in der Fortpflanzungsebene der elektrischen Kraft auf, doch konnte sie nicht mit der elektrischen Kraft identisch sein.

Wenn nämlich zwischen die schwingende Platte und die Glühlampe eine Metallplatte gestellt wurde, musste, wenn nur die elektrische Kraft die Starrheit des Fadens bedingte, jede Einwirkung der erregenden Platten auf die Lampe verschwinden. Beim Versuch zeigte sich jedoch, dass die Metallplatte die Kraft zwar schwächte, nicht aber gänzlich aufhob. Holzplatten schirmten kaum, etwas stärker Glasplatten und Wasserschichten.

Der Faden suchte immer bei Bewegungen der Lampe seinen ursprünglichen Abstand von der Platte zu bewahren, selbst als um die Glaswand der Lampe ein zur Erde abgeleiteter Stanniolcylinder gelegt wurde.

Diese Erscheinung lässt sich vielleicht erklären, wenn man nach E. Wiedemann und H. Ebert<sup>1)</sup> annimmt, dass durch das Auftreffen schneller Potentialschwankungen auf die Grenze zweier Medien, von denen das eine ein verdünntes Gas ist, Kathodenstrahlen oder diesen ähnliche Gebilde erzeugt werden. Es entstehen in unserem Falle innerhalb der Glühlampe Kathodenstrahlen, welche die Ladung des glühenden Fadens zerstreuen. Die Elektrizität zerstreuende Eigenschaft der Kathodenstrahlen ist durch Lenard nachgewiesen worden. Dass zwischen erregende Platte und Glühlampe gebrachte Metallplatten die Ausbildung der Kathodenstrahlen nicht vollkommen verhindern, erklärt sich so mit der Annahme von Resonanzerscheinungen in diesen Platten. Denn ist auch ohne weiteres klar, dass dielektrische Körper die auf den Glühfaden ausgeübte Kraft nicht schirmen können.

Das Folgen des Glühfadens auf die Verschiebungen der erregenden Condensatorplatte ist also eine zu den im ersten Teile dieser Untersuchungen beschriebenen Erscheinungen analoge. Durch das Auftreffen der zerstreuen Strahlen auf den Glühfaden kann die eine Elektrizität desselben auf die Glaswand entweichen, während die andere zur Erde abgestossen wird. Zieht man die schwingende Platte fort, so entsteht auf der Glaswand der Lampe ein Zustand, der mit dem bei der Entladung der Platte im Falle I verglichen werden kann. Die dielektrische Verteilung auf dem Faden erzeugende Kraft hat nachgelassen zu wirken: es muss eine Neutralisation eintreten, welche eine Anziehung des Fadens an die Wand, also eine der Bewegung der Platte gleichgerichtete Bewegung des Fadens hervorruft. Die umgekehrte Erscheinung tritt bei einem Nähern der Platte ein.

Herrn Prof. Dr. E. Wiedemann und Herrn Dr. Hermann Th. Simon erlaube ich mir auch an dieser Stelle für ihre mannigfache Anregungen und Unterstützungen meinen besten Dank auszusprechen.

Erlangen, physikalisches Institut der Universität, Ende Januar 1896.

1) E. Wiedemann, Zeitschrift für Elektrochemie p. 159. 1895.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1895-1897

Band/Volume: [28](#)

Autor(en)/Author(s): Hoffmann M. Willibald

Artikel/Article: [Ueber die im elektrischen Felde auf eine Glühlampe ausgeübten Kräfte 1-11](#)