**11. Ueber langandauernde
electrische Schwingungen und ihre Wirkungen;
von H. Ebert.**

(Hierzu Taf. I Fig. 1—5.)

Man hat sich in der letzten Zeit mit immer wachsendem Interesse der Lichterregung durch sehr rasch in ihrer Richtung wechselnde Ströme, durch electriche Schwingungen oder Wechselströme von hoher Frequenz, wie sie durch Condensator-entladungen erhalten werden, zugewandt. Nur in ganz vereinzeltten Fällen erfüllen aber die getroffenen Anordnungen diejenigen Bedingungen, welche nothwendig eingehalten werden müssen, wenn bei gegebenem Energievorrathe der maximale Leuchteffect erzielt und namentlich bei Gasentladungen klare Erscheinungen erhalten werden sollen. Ferner fehlen, so viel mir bekannt ist, Messungen über die Oekonomie der auf diesem Wege erregten Lichtemissionen. So glänzend daher auch z. B. die von Tesla erzielten Leuchterscheinungen sind, so können doch erst Messungen der zu ihrer Hervorrufung aufzuwendenden electriche Gesamtenergie und des erreichten Lichteffectes ein Urtheil darüber gewinnen lassen, ob hier wirklich auch in wirthschaftlicher Beziehung Fortschritte im Beleuchtungswesen erwartet werden dürfen. Hierüber sollen im Folgenden einige Messungen angestellt werden. Ferner möchte ich zeigen, dass bei Einhaltung der nöthigen Versuchsbedingungen durch sehr langanhaltende electriche Bewegungen von der genannten Art schon mit sehr kleinen Mitteln erhebliche Lichteffecte erzielt werden können, wie sie zu Spectraluntersuchungen oder für das Studium der Gasentladungen von Wichtigkeit sind.

Die Bedingungen, welche erfüllt sein müssen, damit ein verdünntes Gas unter dem Einflusse electriche Schwingungen zu möglichst hellem Leuchten angeregt werde, haben Hr. E. Wiedemann und ich selbst genauer studiert¹⁾. Zur Erzeugung der

1) Vgl. E. Wiedemann und H. Ebert, Sitzungsber. Phys. med. Soc. Erlangen. **24.** p. 84 u. 241. 1892; Wied. Ann. **48.** p. 549; **49.** p. 1 u. 32; **50.** p. 1 u. 221. 1893.

Schwingungen wurde die sich durch ihre grosse Symmetrie auszeichnende Lecher'sche Anordnung verwendet. Als Hauptresultat hat sich dabei ergeben, dass in allen Fällen klare Erscheinungen nur dann erhalten werden, wenn man die genau auf den erregenden Entladungskreis „abgestimmten“ *Resonanzschwingungen* verwendet, wie man sie bei der genannten Anordnung dadurch erhält, dass man auf die Lecher'schen Drähte nur *eine* Brücke an der geeigneten Stelle aufsetzt. Dann werden die Erscheinungen in gasverdünnten Räumen zwischen und neben dem Endcondensator „typisch“; zugleich ist die Helligkeit der einzelnen Theile der Entladung am grössten. Wir haben durch directe Messungen nach der V. Bjerknes'schen Methode nachgewiesen, dass in diesem Falle, der dem Unisono der beiden aufeinander wirkenden Schwingungskreise entspricht, die *Dämpfung* der Resonanzschwingungen am geringsten ist. Hebt man die Brücke ab, so werden die erregenden Schwingungen ungeordnet, die Dämpfung ist viel grösser und die Erscheinungen sind verwaschen, unklar und unsymmetrisch und, was uns hier am meisten interessirt, viel lichtschwächer als mit der Brücke. Noch mehr verwirrt sich das Aussehen der Entladungen und sinkt die Helligkeit, wenn man statt der Luftcondensatoren der Lecher'schen Anordnung andere Condensatoren, etwa Leydner Flaschen verwendet; hier treten zu den nicht zu vermeidenden Unsymmetrieen noch Rückstandsbildungen störend hinzu.

Diese und ähnliche *Erfahrungen* zeigen also zunächst: Wollen wir in rationeller Weise Leuchteffekte mittels electrischer Schwingungen oder Hochfrequenzströmen erzielen, so müssen wir

erstens die beiden erregenden Kreise, den inducirenden primären und den inducirten secundären aufeinander *abstimmen*, sodass für beide die Schwingungsdauer $T = 2\pi\sqrt{LC}$ (L Selbstinduction des Schliessungskreises, C Capacität des angeschlossenen Condensators) die gleiche ist oder doch ein einfaches harmonisches Verhältniss hat. Dabei verdient die Anwendung von Luft- oder Oelcondensatoren vor solchen mit festen Dielectricis den Vorzug.

Die *Theorie* lässt aber weiter noch Folgendes erkennen: Da es auf möglichst geringe Dämpfung der Schwingungen

ankommt, muss man die Constanten des Schwingungskreises geeignet wählen. Das logarithmische Decrement der electrischen Schwingungen ist durch den Ausdruck $\pi R \sqrt{C/L}$ gegeben (R Ohm'scher Widerstand). Helle Leuchterscheinungen wird man also nur erhalten, wenn man

zweitens Condensatoren von möglichst kleiner Capacität und bei gegebenem Widerstande R Schliessungskreise von so grosser Selbstinduction verwendet, als überhaupt angingig ist. Bezüglich des Letzteren ist man an eine bald erreichte Grenze gebunden. Der scheinbare Widerstand, die Impedanz der Schliessungskreise, ist in unserem Falle durch den Ausdruck $\sqrt{R^2 + (2\pi n L)^2}$ gegeben, wo n die Periodenzahl unserer Wechselströme darstellt. Da bei uns n beinahe von der Grössenordnung 10^7 ist, so wird schon bei Inductanzen L von wenigen Mikrohenrys der Widerstand eingeschalteter Spiralen so gross, dass sich dem Ausgleich der electrischen Spannungen unüberwindliche Gegenkräfte entgegenstellen. Zugleich erkennt man, dass diesen Gegenkräften der Selbstinduction gegenüber die Ohm'schen Widerstände der Schliessungskreise völlig bedeutungslos werden.

Man muss also die Capacität möglichst weit herab setzen. Dieses darf man thun, ohne mit den Spannungen zu hoch gehen zu müssen, da sich zeigt, dass intensive Leuchterscheinungen schon bei überaus geringen bewegten Electricitätsmengen erhalten werden, wenn nur viele Schwingungen regelmässig aufeinander folgen.

Nach diesen Gesichtspunkten habe ich einen einfachen Apparat zusammengestellt, der sich als sehr wirksam zur electrischen Lichterregung durch Hochfrequenzströme erwiesen hat. Das *Princip des Apparates* ergibt sich unmittelbar aus dem Vorhergehenden ¹⁾: Der von der Electricitätsquelle (Inductorium, Influenzmaschine oder genügend hoch transformirter Wechselstrom) durch Q Fig. 1 kommende Strom ladet die Platten N_2 und N_3 , welche auf den Platten N_1 und N_4 entsprechende Electricitäten binden. Springt bei G ein Funken

1) Eine derartige Anordnung wurde schon bei Gelegenheit der Naturforscherversammlung zu Nürnberg im September 1893 im Erlanger Physikalischen Institute von mir vorgeführt.

über, so gleichen sich die auf N_1 und N_2 angehäuften Electricitätsmengen durch die Spirale S hindurch oscillatorisch aus. Um dieselbe Spirale S ist eine gleiche von ihr gut isolirte Spirale gewunden, welche die Platten N_5 und N_6 des „secundären Condensators“ mit einander verbindet. Hier bildet sich das electrische „Hochfrequenzfeld“ aus, in welches die zu untersuchenden Räume entweder direct hineingebracht werden, oder mit dem sie durch an N_5 und N_6 angeschlossene Drähte leitend verbunden sind. Eine directe metallische Verbindung zwischen primärem und secundärem Kreise besteht also nicht, beide Kreise wirken durch die wechselseitige Induction der Spiralen S aufeinander. Durch Aendern der Plattenentfernungen werden die beiden Kreise genau zum Unisono aufeinander *abgestimmt*. Dadurch, dass man die Capacitäten ändert, oder kürzere oder längere Spiralen S verwendet, oder die Länge der primären Funkenstrecke oder die Zahl der Funken vergrößert oder verkleinert, kann man die Versuchsbedingungen mannichfach variiren, namentlich auch die Frequenz der erregenden Schwingungen in weiten Grenzen ändern.

Die Condensatoren sind einfache aus Blechscheiben gebildete Plattencondensatoren; das Zwischenmittel ist Luft. Die Platten sind mittels Hülsen auf Glasröhren geschoben; ein Ueberschlagen von Funken längs der Röhre von Platte zu Platte ist selbst bei den primären Condensatoren nicht zu fürchten, da überhaupt nur geringe Spannungen nöthig sind (Funkenstrecken von 2 bis 3 mm). Denn es ist viel besser *viele* kleinere, möglichst gleichmässige und scharfe, als lange Funken zu verwenden; überhaupt gibt es zu jeder Capacität und Selbstinduction der beiden Kreise eine gewisse Länge der Funkenstrecke, die sich als „wirksamste“ erweist. Da kleine Capacitäten erfordert werden, so sind die Platten immer so weit voneinander entfernt, dass das zwischen ihnen liegende Stück der Glasröhren völlig isolirt.

Bei dieser Anordnung erhält man Schwingungen, die zwischen N_5 , S und N_6 20000mal und öfter hin und her gehen, ehe ihre Amplituden auf den $(e =) 2,7$ Theil des Anfangswerthes herabgesunken sind. Vermehrt man die Zahl der Funken zwischen G genügend, was bei ihrer Kleinheit keine besonders reichliche Electricitätszufuhr erfordert, so kann

man den Spannungszustand zwischen N_6 und N_6 fast ununterbrochen in stetem Wechsel erhalten, weil die Dämpfung so klein ist, dass die von dem $n+1$ ten Funken erregten Schwingungen bereits einsetzen, noch ehe die vom n ten Funken erregten Oscillationen völlig abgeklungen sind.

Für viele Zwecke ist es wichtig die Erscheinungen beim directen Stromdurchgange, bei der Anwendung ungeordneter und geordneter und wenig gedämpfter Schwingungen miteinander zu vergleichen; der im Folgenden im einzelnen beschriebene Apparat ist daher so eingerichtet, dass die entsprechenden Umschaltungen rasch hintereinander und bequem bewerkstelligt werden können.

Der ganze Apparat ist sehr compendiös und kann überall leicht aufgestellt werden. Aus diesem Grunde und wegen der Uebersichtlichkeit seiner Theile eignet er sich sehr gut zur Demonstration aller mit electricischen Schwingungen angestellten Versuche. Da alles so abgeglichen ist, dass die Wirksamkeit der Schwingungen ein Maximum ist, so bedarf man dazu nur kleiner Hilfsmittel. Schon eine einplattige kleine Influenzmaschine genügt zur Anregung, wenn auch die Erscheinungen mit einer mehrplattigen Maschine viel glänzender ausfallen. Ein mittelgrosses Inductorium gibt schon gute Leuchterscheinungen, wenn sich dasselbe im allgemeinen auch weniger hierzu eignet wie die Influenzmaschine, weil bei ihm die Electricitätszufuhr nicht regelmässig genug zu sein pflegt.

Im Folgenden lasse ich zunächst eine eingehendere Beschreibung des Apparates folgen, wie er nach sehr vielen Versuchen und Abänderungen schliesslich gestaltet wurde, und führe dann einige Anwendungen an, welche derselbe gestattet, sowie die Resultate einiger Messungen über die Oekonomie der mit demselben erzielten Leuchterscheinungen. Diese Anwendungen sollen nur als Beispiele, die Messungen als vorläufige Resultate gelten. Dennoch dürften dieselben es als wichtig erscheinen lassen eine derartige Anordnung neben dem Inductorium, der Influenzmaschine und der hochgespannten Wechselstrommaschine gewissermaassen als selbstständigen Apparat zur electricischen Anregung für weitere Studien auf

diesem auch praktisch so wichtigen Gebiete jeder Zeit im Laboratorium zur Verfügung zu haben.¹⁾

Apparat.

Das 20 cm breite, 70 cm lange Grundbrett *A* Fig. 2 trägt die beiden verticalen Holzsäulen B_1 und B_2 . Auf diesem Gestell sind die folgenden Theile befestigt:

1. *Die Funkenstrecke.* Dieselbe ist in dem Holzkasten *C* eingeschlossen, der in Fig. 2 von vorn, in Fig. 2a von oben gesehen abgebildet ist. Die beiden Messingkugeln D_1 und D_2 (3 cm Durchmesser) sind an die Hartgummistäbe E_1 und E_2 angeschraubt, welche sich in den Messinghülsen F_1 und F_2 hin- und herschieben lassen. Diese sind durch Flantschen an der vorderen und hinteren Kastenwand so befestigt, dass die Stabaxen etwas ausserhalb der Mittellinie stehen; dann können durch Drehen der Kugeln während des Versuches immer neue Stellen ihrer Oberfläche an die Funkenstrecke *G* gebracht werden, und ein Reinigen ist erst nach längerer Zeit nöthig. Von beiden Seiten her treten die isolirten Drähte H_1 und H_2 ein, welche innerhalb des Kastens zu Spiralen aufgewunden sind, sodass die Kugeln genügende Beweglichkeit haben. Der Holzdeckel *I* ist mit Filz gefüttert. Man schliesst die Funkenstrecke in einen Kasten ein, damit das bei den Beobachtungen störende Funkenlicht abgehalten und das Geräusch der Funken gedämpft wird; das namentlich bei längeren Arbeiten unangenehm werdende Ozon wird gleichfalls abgehalten. Um den letztgenannten Zweck noch vollkommener zu erreichen, tränkt man den Filzüberzug mit Leinöl und legt mit Leinöl durchtränkte Lappen oder Pappstückchen in den Kasten *C*. Der Kasten kann leicht auch flüssigkeitsdicht (z. B. durch Ausgiessen mit Schellack) gemacht werden, sodass man die Funken statt in Luft etwa in Paraffinöl überspringen lassen kann, was aber bei den unten angegebenen Versuchen nicht nöthig ist.

Durch Schieben an den Hartgummistäben E_1 und E_2 kann die Grösse der Funkenstrecke zwischen D_1 und D_2 nach dem Gehör (Funkenzahl) vollkommen genau genug regulirt werden.

1) Der von mir benutzte Apparat wurde von Hrn. Universitätsmechaniker Böhner in Erlangen angefertigt; der complete Apparat stellt sich auf ca. 50 Mark.

2. *Der primäre Condensator.* Derselbe besteht aus den vier kreisförmigen ebenen Blechplatten N_1, N_2, N_3, N_4 (30 cm Durchmesser), welche an dem Rande umgebogen sind und die mittels der aufgeschlitzten federnden Blechhülsen n_1, n_2, n_3, n_4 auf dem Glasrohre O parallel mit sich selbst hin- und hergeschoben werden können; dabei hindern die vor die entsprechenden Durchbohrungen in B_1 und B_2 vorfallenden Bleche o_1 und o_2 das Glasrohr O am Herausgleiten. Damit man beim Verschieben nicht die Platten selbst ableitend zu berühren braucht, tragen dieselben kleine in aufgelöthete Hülsen eingekittete Glasgriffe g_1, g_2, g_3, g_4 .

In den an den Hülsen n_2 und n_3 befestigten Klemmschrauben P_1 und P_2 werden die gut isolirten, von der Electricitätsquelle kommenden Drähte Q_1 und Q_2 festgeklemmt; an denselben Hülsen n_2 und n_3 sind ferner die schon erwähnten Drähte H_1 und H_2 angelötet, welche nach der Funkenstrecke G führen, und ausserdem die Drähte M_1 und M_2 . Diese, sowie die von den Hülsen n_1 und n_4 ausgehenden Drähte R_1 und R_2 gehen zu dem

3. *Umschalter* K , ein von dem Brette L getragener Paraffinklotz in den 6 mit Quecksilber gefüllte Näpfchen eingetieft sind. In Figur 2b ist dieser Umschalter, von oben gesehen, abgebildet; die Näpfchen desselben sind mit denselben Buchstaben bezeichnet, welche die in sie mündenden Drähte in Fig. 2 haben. Auf diesen Klotz werden die weiter unten zu beschreibenden Apparatheile gesetzt. Der denselben umgebende Holzrand l verhindert das Vergiessen von Quecksilber, welches bei k erforderlichen Falles abgelassen werden kann.

Von den Näpfchen U_1 und U_2 in Fig. 2a aus führen die Drähte U_1 und U_2 in Fig. 2 nach oben zu dem

4. *secundären Condensator.* Derselbe besteht aus den Platten N_5 und N_6 , die den Platten $N_1 \dots N_4$ gleichen und wie diese senkrecht an federnde Blechhülsen n_5 und n_6 angelöthet sind. Diese lassen sich auf dem Glasrohre V mittels der Glasgriffe g_5 und g_6 verschieben; v_1 und v_2 verhindern dabei das Herausgleiten der Röhre V .

An den Klemmschrauben W_1 und W_2 werden Drähte angeschraubt, welche zu denjenigen Punkten hinführen, wo man die electricischen Schwingungen wirken lassen will.

Man kann hier verschiedene Electricitätsbewegungen abnehmen, je nachdem welchen von den in Fig. 3 abgebildeten Apparaththeilen man auf den Umschalter K in Fig. 2 aufsetzt, und zwar

a) *den directen Strom der Electricitätsquelle.* In dem Brettchen T Fig. 3a sind die vier an beiden Enden amalga-mirten Kupferstifte m_1, m_2, u_1, u_2 befestigt, die auf beiden Seiten herausragen. Sie sind wie in der Figur angedeutet miteinander leitend verbunden. Legt man das Brettchen auf den Umschalter K Fig. 2b in der Stellung, wie sie Fig. 3a angiebt, so sind die Klemmschrauben W_1 und W_2 offenbar direct an die Electricitätsquelle angeschlossen, und der Strom derselben geht, wenn die Kugeln D_1 und D_2 genügend weit voneinander zurückgezogen werden, über Q_1, P_1, M_1, m_1, U_1 nach W_1 und analog für W_2 . Wird das Brettchen um die Axe m_1, m_2 gedreht und umgekehrt aufgelegt, so geht der Strom den Weg Q_1, P_1, M_1, m_1, U_2 nach W_2 und analog für W_1 , der Strom ist also *commutirt*;

b) *ungeordnete, rasch gedämpfte Schwingungen.* In das Brettchen T Fig. 3b sind vier Stifte r_1, r_2, u_1, u_2 , eingeschlagen, welche in die entsprechenden Näpfchen in K Fig. 2b passen und oberhalb T in der aus Fig. 3b ersichtlichen Weise paarweise mit einander verbunden sind. Setzt man dieses Brettchen auf K , so sind die äusseren Platten des primären Condensators direct an die des secundären angeschlossen; die Leitungsbahn hat nur eine geringe Selbstinduction. Die Schwingungen sind ungeordnet und rasch gedämpft, die Entladungserscheinungen zeigen noch eine gewisse Einseitigkeit. Dieser Fall entspricht der Lecher'schen Anordnung *ohne Brücke*;

c) *geordnete, lang andauernde Schwingungen* und zwar:

a) *von bestimmter Schwingungszahl.* Das Brettchen T Fig. 3c trägt die Doppelspirale S . Dieselbe ist auf Holz gewickelt; die eine Spirale endet in den Stiften r_1 und r_2 und schliesst den primären Kreis N_1, R_1, R_2, N_4 ; die andere ihr völlig gleiche Spirale endet in den Stiften u_1 und u_2 und schliesst den secundären Kreis N_5, U_1, U_2, N_6 . Zu dem Apparate gehören mehrere derartige aufeinander gewickelte, gleiche Spiralen; jede ist auf einem besonderen Brett befestigt,

durch Vertauschen der einen mit der anderen kann man die Bedingungen der Erregung auch in diesem Falle rasch hintereinander ändern. Bei einer längeren Doppelspirale ist nicht nur die Selbstinduction in jedem einzelnen Kreise grösser, sondern auch die wechselseitige Induction der beiden Kreise aufeinander. Durch Vertauschen einer kürzeren Spirale mit einer längeren vergrössert man also nicht nur die Wellenlänge der Schwingungen, sondern man erhöht auch die Ladungspotentiale an den Platten des Condensators. Verbindet man mit einer Platte dauernd ein Electrometer (ich verwendete ein absolutes Electrometer von Hartmann und Braun), so kann man durch Verkleinerung der Funkenstrecke das Potential auf die alte Höhe und durch Regulirung der Electricitätszufuhr auch die Funkenzahl auf den alten Werth bringen, so dass man thatsächlich nichts als die Schwingungszahl der erregenden Electricitätsbewegung ändert.

Am besten stellt man sich einen ganzen Satz von solchen Spiralen her, welcher eine Grundschiwingung mit verschiedenen harmonischen Oberschwingungen (am besten 1. und 2. Octave) gibt. Eine Spirale von je 60 Windungen (also 120 Windungen im ganzen) und ca. 17 Mikrohenrys ($17 \cdot 120 \text{ cm E. M.} = 1,7 \times 10^{-5}$ Erdquadranten) Inductanz ergab sehr gute Resultate. Sie gab bei den von mir verwendeten Dimensionen bei 11 cm E. S. Cap. E. $= 1,1 \cdot 10^{-5}$ Mikrofarad des secundären Condensators etwa eine Schwingungsdauer von $1,4 \times 10^{-7}$ Sec. oder eine Wellenlänge von ca. 42 m und eine Schwingungszahl $n \approx 7000000$. Das logarithmische Decrement der Schwingung im secundären Kreise war etwa 5×10^{-4} . Durch eine Spirale von je 140 Windungen ging bei meiner Anordnung schon fast nichts mehr von der Electricitätsbewegung hindurch (die Impedanz $= \sqrt{R^2 + 4\pi^2 n^2 L^2}$ war schon zu gross vgl. o. p. 146). Die Länge des secundären Kreises ist am vortheilhaftesten gerade gleich einer halben Wellenlänge der Schwingung, weil dann beim Maximum der Ladung einer Platte die Potentialdifferenz beider Platten gerade die grösstmögliche ist;

β) geordnete Schwingungen von stetig variabler Schwingungszahl. In die Näpfchen U_1, U_2, R_1, R_2 Fig. 2b tauchen Stifte, welche paarweise mit den Enden je einer langen Spirale verbunden sind. Diese Spiralen sind an der unteren Seite eines horizon-

talen Trägers am einen Ende befestigt. Das andere ist an einem schweren Holzklotz befestigt, welcher durch einen Schnurlauf gehoben oder gesenkt werden kann. Zur Führung dient ein langes Glasrohr, über welches die Spiralen gewickelt sind. Durch Heben oder Senken werden die Spiralen verkürzt oder gereckt; nach bekannten Formeln berechnet man die Inductanz und die Schwingungsdauer. Die Wirkung der veränderten wechselseitigen Induction wird wie bei α) compensirt. Man hat hier ein Mittel die Frequenz der wirkenden Schwingungen stetig zu verändern. —

Anwendungen.

Von den zahlreichen Anwendungen, welche die durch den beschriebenen Apparat gelieferten schwach gedämpften und daher lang anhaltenden regelmässigen Hochfrequenzströme gestatten, möge im Folgenden nur auf wenige Erscheinungsgebiete hingewiesen sein, auf denen sich die Anwendung solcher Ströme schon bewährt hat.

a) *Gasentladungen.* Zunächst kann man mittels des Apparates alle jene Erscheinungen in verdünnten Gasräumen hervorrufen, welche unter dem Einflusse electrischer Oscillationen mit der Lecher'schen Brückenordnung, mit sich entladenden Leydner Flaschen, und mit den Tesla'schen oder d'Arsonval'schen Anordnungen erhalten wurden. Insbesondere können jene Versuche bequem damit angestellt werden, welche Hr. E. Wiedemann und ich selbst in einer Reihe von Arbeiten in den letzten drei Jahren veröffentlicht haben (vgl. o. p. 144). Der daselbst als Endcondensator bezeichnete Condensator ist identisch mit dem „secundären“ Condensator $N_5 N_6$ Fig. 1 und 2 hier. Sehr schön zeigt sich z. B. auch hier die wichtige, von uns schon 1892 hervorgehobene Thatsache, dass bei allen zwischen oder an die Condensatorplatten N_5 und N_6 gebrachten Entladungsgefässen mit oder ohne Electroden bei Anwendung geordneter Schwingungen die gewöhnlich nur an der Kathode bemerkbaren Glimmlichterscheinungen und Dunkelräume *beiderseitig* auftreten.¹⁾ Da hier viele, einander vollkommen analoge

1) E. Wiedemann u. H. Ebert, Sitzungsber. der Phys.-Med. Soc. Erlangen. **24.** p. 263 ff. 1892; vgl. auch F. Himstedt, Wied. Ann. **52.** p. 473, namentlich p. 479. 1894.

electriche Erregungen abwechselnd in beiden Richtungen auf das Gas einwirken, so war eine Uebereinanderlagerung von Anoden- und Kathodenerscheinung zu erwarten. Dass nur die Kathodenerscheinung zu Stande kommt, stützt die auch durch andere Beobachtungen nahegelegte Vermuthung, dass dieselbe „dauernden Bewegungsformen“ im Aether entspricht. Die Art, wie sich hier die Kathode ausbildet, stellt ferner wichtige Anhaltspunkte für eine weiter gehende Klärung der Deutungsversuche dieser Phänomene in Aussicht. In den genannten Arbeiten haben wir an verschiedenen Stellen weiter genauer ausgeführt, warum diese Art der Erzeugung der Gasentladungen durch direct zugeführte electriche Oscillationen tiefer in das Verständniss des Mechanismus der Entladungserscheinungen überhaupt einzuführen verspricht, als die bisherigen Methoden.

b) *Spectralerscheinungen.* Die directe Erregung eines verdünnten Gases durch electriche Schwingungen, die von aussen zugeführt werden, gibt ein Mittel an die Hand, dasselbe unter genau angebbaren Versuchsbedingungen zum Leuchten zu bringen, was sonst nicht in diesem Grade möglich ist. Denn bei den gewöhnlichen Anordnungen, bei denen man einen Strom durch Elektroden zuführt, sind die Entladungsbedingungen vom Gase selbst, namentlich dessen Druck abhängig. Hier sind es wohl auch electriche Schwingungen, welche das Leuchten wesentlich bedingen, aber Schwingungen, die erst im Rohre selbst sich ausbilden und deren bestimmende Grössen in zunächst gar nicht zu übersehender Weise, von allen möglichen Nebenfactoren, Capacität der Maschine oder des Inductoriums, Selbstinduction und Widerstand der Leitungsbahnen u. s. w. abhängen. Erzeugen wir die electriche Bewegungen unabhängig vom Entladungsrohre, so kann man die Leuchtbedingungen, etwa die bewegten Electricitätsmengen, Spannungen, Rhythmus der Erregungen in ganz systematischer Weise abändern, ohne dass sich mit der Aenderung einer von den bestimmenden Grössen gleichzeitig eine oder mehrere andere mit änderten. Erst hierdurch scheint es mir möglich zu werden, den Einfluss der verschiedenen das Aussehen der Spectra ganz im allgemeinen und einzelner Linien im speciellen bestimmenden Momente zu trennen. Um nur ein Beispiel hervorzuheben mag erwähnt werden, dass augenscheinlich

schon der Rhythmus der Erregungen, also lediglich die Oscillationsdauer gewisse Verschiedenheiten in den Spectren bedingt. Vergleicht man die Helligkeitsverhältnisse der verschiedenen Linien oder Banden eines Gases, welches auf gewöhnliche Weise, etwa durch die Entladungen eines Inductoriums zum Leuchten gebracht wird, mit den Helligkeitsverhältnissen bei der hier angegebenen Art der Erregung, so erkennt man bei demselben Gase schon auffallende Unterschiede; gewisse Linien die dort heller sind, sind hier weniger hell. Aber auch wenn man durch Aenderung der Selbstinduction durch Anwendung anderer Spiralen (p. 152) oder Ausziehen der Spiralen (p. 153) nichts als die Schwingungszahl der erregenden Oscillationen ändert, werden die relativen Helligkeitsverhältnisse im Spectrum andere. Es scheint, als ob die kurzwelligen Lichtschwingungen in um so stärkerem Maasse erregt werden, je rascher die electrischen Erregungen selbst aufeinander folgen. Eine Linie kann ferner viel heller bei einer Art der Erregung sein als bei einer anderen; der Grund ist nicht eine andere Temperatur u. s. w., sondern nur der, dass sie für die eine Art der Erregung eine harmonische Oberschwingung darstellt, für die andere nicht, also auf eine Schwingungsart besser anspricht, als auf eine andere. Die weitere Verfolgung gerade dieser Eigenthümlichkeiten in den Spectralerscheinungen dürfte namentlich für die *astrophysikalischen* Anwendungen von Bedeutung sein; denn die Spectrographie himmlischer Objecte lehrt uns immer neue, auffallende Beispiele solcher Wechsel in der Ausbildung und Deutlichkeit einzelner Spectrallinien kennen; ihre physikalische Deutung erfordert, dass wir erst untersuchen, wie jene Hilfsmittel wirken, welche wir zur Nachahmung dieser Spectren im Laboratorium verwenden. Dass bei den fast ausschliesslich verwendeten electrischen Hilfsmitteln, namentlich dem Voltabogen und der Flaschenentladung, die durch Selbstinduction und Capacität bestimmte Schwingungsdauer des electrischen Systems dabei eine hervorragende Rolle spielt, ist bisher wohl kaum beachtet worden. Eine oft beobachtete andere Erscheinung dürfte hierdurch ebenfalls ihre Erklärung finden, die nämlich, dass die einzelnen Partialentladungen des Inductoriums bei demselben Gase verschiedene Spectra ergeben, wie schon ihre

verschiedene Farbe andeutet. Sie entsprechen Entladungen aus verschiedenen Tiefen der Spirale des Inductoriums. für die folglich sehr verschiedene Werthe der Capacität wie namentlich der Selbstinduction bestimmend sind. Wir werden über den Einfluss von Temperatur, Druck etc. auf die Ausbildung der einzelnen Theile eines Spectrums erst dann befriedigende Antworten erhalten, wenn wir Vorfragen, wie die erwähnte über den Einfluss der Schwingungsdauer, erledigt haben. Wenn wir aber das Leuchten im Voltabogen oder durch Flaschenfunken erzeugen, so wenden wir viel zu complirte Erscheinungsgruppen schon zur Erregung an, um hoffen zu dürfen, von dieser Seite aus in den Mechanismus der Leuchterregung selbst klare Einblicke zu erhalten. Unser Apparat hat den Vorzug, dass er die denkbar einfachsten, dabei in jedem Factor controllirbaren Erregungsbedingungen liefert.

Hierzu gesellt sich ein anderer wesentlicher Vorteil: Wie schon angedeutet, brauchen die erregenden Schwingungen um so kleinere Energiemengen zu enthalten, je regelmässiger sie sind und je länger sie ungestört andauern. Mit hundertsteln von Secundenergs kann man hier schon erhebliche Strahlungseffekte erzielen. Darum erhöht sich aber auch die *Temperatur* der leuchtenden Gase nur unmerklich. Man kann daher hier die Emissionsspectra von Körpern untersuchen, die sonst der spectralanalytischen Untersuchung, so weit sie an die Emissionsspectra anknüpft, unzugänglich sind, weil die Körper zerfallen, wenn grössere electriche Energieen wirken und damit grössere Erwärmungen eintreten. Zur Anwendung des Apparates bei Spectraluntersuchungen verwendet man am besten die folgende Anordnung (Fig. 4). Man schliesst die Gase oder Dämpfe in lange und möglichst weite Röhren RR ein. Wählt man zu enge Röhren, so sprechen die Röhren schwer an; man muss sie dann wenigstens mit weiteren Theilen verbinden, von denen aus sich die Lichtsäule auch in die engeren Teile hinein zieht. An den Enden sind die Ränder der Röhre R umgebogen, und hier sind Spiegelglasplatten mittels Siegellack aufgekittet. b_1 und b_2 in Fig. 4 sind schmale Stanniolbelege, um welche Drähte mit Oesen laufen, in welche die Zuleitungsdrähte vom secundären Condensator des Erregungsapparates eingehängt werden. Da im

Innern der evacuirten Räume dort, wo aussen die die Oscillationen heranzuführenden Metalle anliegen, Glimmlichtstrahlen auftreten, so ist die Röhre unter den Belegen kugelförmig erweitert, damit sich das diesen Strahlen eigenthümliche Licht nicht dem übrigen, zu untersuchenden Lichte beimischt. Das Rohr P_2 führt zur Pumpe; P_1 trägt Vorrichtungen, welche zur Einbringung der Substanz dienen.

Ich habe z. B. die Emissionsbandenspectra der unzersetzten *Brom-* und *Jodmolecüle* auf die hier angegebene Weise sehr gut erhalten; aber namentlich bei der Untersuchung *organischer Körper* dürfte die Methode von Wichtigkeit sein.

Damit die Joddämpfe nicht die Quecksilberluftpumpe verunreinigen und um genau die in das Rohr zu lassende Dampfmenge reguliren zu können, schmilzt man die Substanz in kleine Röhrchen r ein. Diese bringt man zusammen mit einigen an den Enden gerundeten Stücken s eines Glasstabes in die Kugel K , welche mittels des Schliffes S an das Hahnstück P_1 angesetzt wird. Zunächst wird alles völlig ausgepumpt, dann P_1 und P_2 geschlossen, und das Röhrchen r durch Schütteln zertrümmert. Indem man nun die Kugel K in eine Kältemischung setzt oder sie erwärmt, kann man jede beliebige Dampfmenge durch P_1 in das Rohr eintreten lassen. Beim Brom setzt man an das Schliffstück S bei d das capillare Hahnstück Fig. 4 a) an. Der untere Theil, sowie ein Theil der Hahndurchbohrung ist ausgegossen (z. B. mit Paraffin). In den freien Raum O der Durchbohrung wird die Substanz eingebracht, von der man dann selbst sehr kleine Mengen zunächst in den Raum von O bis P_1 , dann von hier aus durch P_1 in das Rohr R bringen kann.

Das *Jodemissionsbandenspectrum* ist durch ein im Roth, Orange und Gelb sich ausbreitendes sehr helles Band ausgezeichnet, welches aus lauter feinen Linien, wie das Absorptionsspectrum besteht. Auf dieses Band folgt ein gegen dasselbe stark contrastirender dunkler Raum, in dem sich nur zwei isolirte kräftige Linien auffallend hervorheben; im Blau folgt dann ein weiteres, aus mehreren Theilen bestehendes und sich im Indigo allmählich verlierendes Band.

Das *Bromspectrum* ist gleichfalls ein ganz typisches, prächtiges Bandenspectrum, welches aus einer grossen Reihe ein-

ander sehr ähnlich sehender, vom Roth bis in das Blau sich erstreckender Einzelbanden besteht.¹⁾

c) *Luminescenzerscheinungen*. In den oben erwähnten Arbeiten von E. Wiedemann und mir ist schon darauf aufmerksam gemacht worden, dass die regelmässigen, schwach gedämpften electrischen Schwingungen eine ganz besondere Fähigkeit besitzen, Kathodenstrahlen von grosser Intensität zu erregen, denen eine im Vergleich zur aufgewandten Energie auffallend grosse Fähigkeit Fluorescenz oder Phosphorescenz, allgemein gesprochen, Luminescenz hervorzurufen eigen ist.²⁾

Selbst bei sehr kleinen erregenden Funken und Energiemengen am secundären Condensator erreichen diese Kathodenwirkungen, wenn alles gut abgestimmt ist, eine Intensität, welche mit der bei der Anwendung sehr grosser Inductorien erzielten vollkommen vergleichbar ist. Setzt man diesen Strahlen einen geeigneten phosphorescirenden Leuchtkörper aus, so gibt derselbe eine erhebliche Lichtemission. Selbst bei der Anwendung kräftiger Wechselströme erhitzt sich der Körper fast gar nicht.³⁾ Man erhält so eine Lampe, welche fast nur sichtbare Strahlen aussendet ohne Wärmeentwicklung, dementsprechend ist auch die Energie, welche die Lampe verbraucht, eine enorm geringe.

1) Vgl. E. Goldstein, Verhandl. d. physikal. Gesellsch. zu Berlin. p. 38—41. 1888; Beibl. 14. p. 616. 1890.

2) Vgl. H. Ebert und E. Wiedemann, Wied. Ann. 50. p. 252. 1893.

3) Durch das liebenswürdige Entgegenkommen der Direction der Electricitäts-Actien-Gesellschaft zu Nürnberg, vormals Schuckert & Co. wurde ich in den Stand gesetzt, die mit dem hier beschriebenen Apparate erzielten Leuchterscheinungen mit denen zu vergleichen, wie sie bei Anwendung sehr grosser Hilfsmittel erhalten werden, und die Versuche über das Leuchten der Gase und das Auftreten von Luminescenzerscheinungen mit hochgespannten Wechselströmen zu wiederholen. Die genannte Direction stellte mir ihr Wechselstromlaboratorium zur Verfügung. Die meist benutzte Wechselstrommaschine hatte eine normale Leistung von 7 P. S. und arbeitete mit 100 Polwechseln pro Secunde; der Transformator (Doppel-E-Type) hatte ein Uebersetzungsverhältniss von 1:250. Die Condensatoren bestanden aus beiderseitig mit Stanniolbelegen versehenen dicken Hartgummitafeln; Spannungen bis zu 60000 Volt wurden verwendet. Ich bin der genannten Direction sowie den Hrn. Ingenieuren Friese, Hummel und Möllinger für das Interesse, welches sie den Versuchen entgegenbrachten, zu grossem Danke verpflichtet.

Eine einfache, aber sehr ökonomische „Lumineszenzlampe“ erhält man z. B., wenn man in die Glaskugel *A* Fig. 5 die unten geschlossene Glasröhre *B* einschmilzt, welche oben eine gepresste Pasta von Leuchtfarbe *C* trägt, das Ganze sehr weit auspumpt und dann bei *D* abschmilzt. Die Leuchtfarben lassen sich in der Pastillenpresse zu haltbaren Platten pressen, welche durch einen um ihren Rand gelegten Draht leicht auf dem Glasrohre *B* befestigt werden können. Auf die Glaskugel *A* sind aussen die Stanniolringe E_1 und E_2 aufgekittet, welche die Haken H_1 und H_2 tragen, in welche die die Schwingungen zuführenden Drähte eingehängt werden. Das Ganze steht auf dem Holzfusse *F*. Wenn electrische Oscillationen die Belege E_1 und E_2 treffen, so bilden sich an der Innenwand lebhafte Kathodenstrahlen aus, welche senkrecht zur Glaswand stehen, und an sich fast unsichtbar sind. Auf der Oberfläche des Leuchtkörpers aber, nach der sie von allen Seiten her convergiren, rufen sie ein überaus lebhaftes Lumineszenzlicht hervor, welches durch die von Belegen freien Calotten K_1 und K_2 der Glaskugel ungehindert austritt. Man erhält nach diesen Richtungen hin Leuchteffekte, welche schon bei minimalem Energieaufwande völlig mit dem der Amylacetatlampe vergleichbar sind.

Sehr geeignet zeigte sich ein von der Fabrik Th. Schuchardt in Görlitz bezogenes Präparat, welches die Bezeichnung „Grünblaue Leuchtfarbe“ trägt. Das Kathodolumineszenzlicht besteht, wie man im rotirenden Spiegel sieht, aus einem sehr schnell abklingenden grünblauen Strahlenbereich und aus lange anhaltendem gelben Licht (dieses Verhalten deutet darauf hin, dass man ein Gemisch vor sich hat; in der That erkennt man auch auf der Leuchtfläche selbst ein Gemisch von grün und von gelb luminescirenden Punkten). Es dürfte gewiss gelingen, den gelb luminescirenden Körper mit seinem langandauernden Phosphoreszenzlicht zu isoliren; dann würde man eine Lampe erhalten, deren Licht sehr nahe dem unserer gewöhnlichen Gas- oder Petroleumlampen gleicht, während das Licht des Gemisches noch einen etwas zu grünlichen Ton hat.

Um ein Urtheil über die Oekonomie dieser Leuchtprocesse, die eine überaus grosse ist, zu erhalten, habe ich eine Reihe von

Messungen angestellt; es würde indess hier zu weit führen, die Einzelheiten derselben mitzutheilen. Ich lasse daher nur einige Bemerkungen über die ermittelten Resultate folgen und behalte mir vor bei anderer Gelegenheit eingehender auf diese Fragen einzugehen.

Die Helligkeiten wurden mittels des Spectralphotometers (Glan) mit der v. Hefner-Alteneck'schen Amylacetateinheitslampe verglichen. Es ergaben sich Leuchteffekte von $1/30$ bis $1/40$ Amyl-Einheiten. Bei der Bestimmung der gleichzeitig consumirten electricischen Energie stiessen directe Messungsmethoden bei diesen Hochfrequenzströmen auf auch schon von anderer Seite hervorgehobene Schwierigkeiten; da es sich zunächst nur um Feststellung der Grössenordnung handelte, wurde diese Energie berechnet.

Aus der Capacität des Endcondensators und dem (effectiven) Potential ergab sich die Energiemenge, welche auf dem secundären Condensator während jeder Einzelentladung vorhanden ist, mit Rücksicht auf die Dämpfung hinreichend genau. Wir machen ferner die für uns ungünstigste Annahme, dass die angehängte „Luminescenzzlampe“ allein diese ganze Energiemenge aufbraucht. Dass das nicht der Fall ist, sehen wir, wenn wir eine andere Lampe oder eine einfache evacuirt Röhre daneben anlegen; dieselbe leuchtet dann auch noch, und die Helligkeit der ersten Lampe wird nur wenig geschwächt. Man findet also auf diese Weise eine obere Grenze des Energiewerthes, die wirklich verbrauchte electricische Energie ist jedenfalls noch viel geringer. Trotzdem zeigt sich, dass man auf diesem Wege bequem hellleuchtende Lampen construiren kann, welche *nur Milliontel Watt* verbrauchen. Diesem entsprechend ist auch die Oekonomie der Lampen eine sehr vortheilhafte. Vergleicht man die Helligkeit dieser Lampen im sichtbaren Theile mit der der Amylacetateinheitslampe und berechnet man für beide Lichtquellen den *gesamten* zu ihrer Unterhaltung nöthigen Energieverbrauch (bei der Amylacetatlampe verwendet man am besten die E. Wiedemann'schen oder die Tumlirz'schen Zahlen für die Gesamtstrahlung), so findet man, dass diese „Hochfrequenzlampe“ ca. 1500 bis 2000 mal weniger Gesamtenergie zu ihrer Unterhaltung erfordert, als die genannte Einheitslampe. Der „Nutzeffect“ ist hier also ein sehr grosser.

Wenn man demnach vor allem eine gute Oekonomie als ein Haupterforderniss der „Lampe der Zukunft“ betrachtet, so dürfte eine Lampe von der hier beschriebenen Beschaffenheit diesem Ziele nach dieser Richtung schon ziemlich nahe kommen. Einer praktischen Verwerthung derartiger Anordnungen stellt sich zunächst noch die Schwierigkeit entgegen, dass sich die zu verwendenden Hochfrequenzströme nicht fernleiten lassen, da schon ein geradliniges, einfaches Kupferkabel vermöge seiner Selbstinduction dem Ausgleiche so rascher Wechselströme ungeheure inductive Widerstände entgegensetzt. Indessen brauchte man nur die Transformation auf den Hochfrequenzstrom erst unmittelbar vor der Lampe vorzunehmen, um auch diese Schwierigkeit zu überwinden. Da nur Condensatoren von sehr kleiner Capacität und geringe Inductanzen erforderlich sind, könnte man einen einfachen und sehr compendiösen Apparat von der Art des oben beschriebenen leicht mit der Lampe selbst vereinigen; es ist hier aber nicht der Ort, auf diese Frage näher einzugehen.

Bei allen Anordnungen, welche nicht den oben angegebenen Bedingungen entsprechen, namentlich bei solchen, welche nicht eine hinreichende Symmetrie darbieten, ist die Oekonomie eine weit geringere.

Erlangen, Phys. Inst. der Univ., März 1894.

Ebert Fig. 1-5. Voigt Fig. 6-8. Kahlbaum Fig. 9.