**6. Zur Messung der Dielektricitäts-
constante vermittelt elektrischer Drahtwellen;
von P. Drude.**

Mehrjährige Erfahrungen mit dem von mir beschriebenen Apparate¹⁾ veranlassen mich zu einigen Bemerkungen zur verbesserten Wirksamkeit desselben.

Zur Speisung der Funkenstrecke, welche die elektrischen Wellen erregt, erweisen sich nicht alle Inductorien gleich wirksam. Diejenigen Inductorien sind wirksamer, welche möglichst dünne Secundärfunken (kleine Secundär-Stromstärke) ergeben, ohne dass die Secundärspannung dabei allzu klein wird. Man kann sich von Verschiedenheiten der Construction des Inductoriums gänzlich frei machen und zugleich die Intensität der elektrischen Wellen sehr steigern, wenn die Funkenstrecke des Apparates gespeist wird durch die Secundärwicklung eines kleinen Teslatransformators²⁾, dessen Primärwicklung angelegt ist an eine kleine Leydener Flasche von geeigneter Capacität und an eine primäre Funkenstrecke, welche durch ein Inductorium gespeist wird. Die Grösse des letzteren kann in weiten Grenzen variiren, seine Schlagweite kann zwischen 3 cm und eventuell 20 cm oder noch mehr liegen (zur Anschaffung sind zu empfehlen Inductorien von etwa 10 cm Schlagweite mit Deprezunterbrecher), stets liefert die Teslaerregung nur kleine Elektrizitätsmengen, aber genügend hohe Spannung, sodass die elektrischen Wellen sich sehr gut ausbilden. Die Intensität der elektrischen Wellen kann man verändern, wenn man die Funkenstrecke des Erregers verändert, ausserdem auch etwas durch Veränderung der Primärfunkenstrecke des Teslatransformators.

1) P. Drude, Wied. Ann. 61. p. 470. 1897; Zeitschr. f. phys. Chem. 23. p. 270. 1897.

2) Für alle Experimente mit elektrischen Wellen ist die Anwendung eines Teslatransformators zur Speisung der Funkenstrecke sehr zu empfehlen.

Der Erreger kann auch in seiner Construction gegen meine frühere Angabe vereinfacht werden, weil eine Zuleitungsfunkstrecke¹⁾ zu der eigentlichen Erregerfunkstrecke bei Tesla-speisung unnötig wird, man kann also die Secundärdrähte des Teslatransformators direct metallisch mit den Kugeln der Erregerfunkstrecke verbinden.

Der Teslatransformator.

Verwendet man zur Erregung der Schwingungen in der Primärspule des Teslatransformators nur eine Leydener Flasche, so hat man bisher stets eine Schaltung benutzt, welche unsymmetrisch zur erregenden Zinkfunkstrecke liegt. Diese Unsymmetrie ist zwar für die meisten Zwecke an sich direct kein Nachteil, indirect aber deshalb, weil die Selbstinduction des Primärkreises dann nicht so vollständig zur Erregung der Secundärspule ausgenutzt werden kann, als bei symmetrischer Schaltung. Man erhält eine solche in folgender Weise (vgl. Fig. 1).

Von den Secundärklemmen des Inductors J führen Drähte nach einer Zinkfunkstrecke Z , d. h. zwei auf Holz montirten, je etwa 2 cm langen Zinkstücken, deren abgerundete Enden etwa 2 mm Abstand voneinander haben. Diese Zinkfunkstrecke wird zweckmässig mit schwarzer Pappe überdeckt, damit man nicht durch ihr Licht beim Beobachten gestört wird. Von

Fig. 1.

1) Vgl. P. Drude, Zeitschr. f. phys. Chem. 23. p. 271. 1897.

der Zinkfunkenstrecke führen je zwei dickere (1—2 mm dicke), gut isolirte Drähte, welche um einen Holzcyylinder von 12 cm äusserem Durchmesser mit je $2\frac{1}{2}$ Windungen in entgegengesetztem Wicklungssinne umgeschlungen und durch kleine eingeschlagene Nägel¹⁾, die aber die Isolation der Drähte nicht verletzen, befestigt sind, zu den Belegungen einer kleinen Leydener Flasche L von 6,3 cm äusserem Durchmesser, $2\frac{1}{2}$ mm Glasdicke, 10 cm Höhe (der Belegungen). Diese beiden Drähte der Primärwicklung des Teslatransformators T bilden also fünf Primärwindungen. Es ist zweckmässig, die Strecken der Primärwicklung, welche von der Holztrommel zur Zinkfunkenstrecke Z und zur Leydener Flasche L führen, möglichst kurz und in möglichst kleinem relativen Abstand zu führen, weil dann die Selbstinduction des Primärkreises lediglich in den Wicklungen der Holztrommel liegt und daher zur Induction der Secundärwicklung möglichst ausgenutzt wird.

Die Secundärwicklung des Teslatransformators T besteht aus 280 Windungen von 1 mm starkem, blankem Kupferdraht, welcher auf einem $6\frac{1}{2}$ cm im Durchmesser haltenden, 42 cm langen Ebonitcyylinder so aufgewickelt ist, dass $\frac{1}{2}$ mm Abstand zwischen den Drahtwindungen bleibt.²⁾ Man erhält auch fast ebenso gute Wirkungen, wenn man isolirten Draht von $\frac{1}{3}$ bis 1 mm Dicke auf einen Holzcyylinder aufwickelt und die Drahtwindungen ohne Luftzwischenraum aufeinander schiebt. Man kann sich also einen solchen Teslatransformator, der schon recht wirksam ist, in ganz einfacher Weise herstellen. Petroleumisolation ist völlig unnötig, der Holzcyylinder, welcher die Primärspule trägt, ist durch sechs kleine Korkstückchen einfach auf der Mitte der Secundärspule festgeklemt. Der Holz- (oder Ebonit-) Cylinder der Secundärspule trägt zwei 5 cm hohe Stützen mit Füßen von Holz (oder Ebonit) zum Aufstellen auf den Tisch. Setzt man das Inductorium J in Gang, und ist die Zinkfunkenstrecke Z nicht zu klein (etwa 2 mm), so strömen prächtige, geradlinige Büschel aus den Enden der Secundärspule. Man kann leicht Secundärfunken von 4 cm

1) Man kann die Primärwicklung auch einfach durch Bindfaden auf den Holzcyylinder festbinden.

2) Zu diesem Zwecke ist ein Gewinde in den Ebonitcyylinder eingeschnitten.

Länge und noch mehr erhalten. Für den vorliegenden Zweck ist eine sehr grosse Intensität der Teslaerregung gar nicht notwendig, daher können auch die Abmessungen des Tesla-Transformators noch kleinere sein und die Resonanz zwischen Primärkreis des Transformators und Eigenschwingung der Secundärspule braucht durchaus nicht scharf getroffen zu werden. Ich habe die von mir benutzten Dimensionen nur angegeben, um eine Vorstellung zu geben. Zweckmässig wählt man die Länge der Secundärspule des Tesla-Transformators etwa nur doppelt so gross, als ihren Durchmesser.¹⁾ Die halbe Wellenlänge der Eigenschwingung der Secundärspule ist dann 1,2 mal so gross, als die Länge des Secundärdrahtes. Je feineren Draht man dazu wählt, desto grösser wird daher diese Länge, d. h. auch die Eigenschwingungsdauer der Secundärspule, und desto kräftiger wird die Wirkung des Transformators. Da aber der Primärkreis desselben abgestimmt sein muss auf seinen Secundärkreis, so braucht man dann eventuell als Leydener Flasche L eine so grosse Capacität, dass sie zu gross wird für die Leistungsfähigkeit des angewendeten Inductoriums. Zwar kann man die Schwingungsdauer des Primärkreises auch dadurch verlangsamen, dass man die Anzahl der Primärwickelungen steigert, für die Wirksamkeit des Tesla-Transformators ist es aber zweckmässig, diese Anzahl der Primärwickelungen möglichst klein und die Capacität der Leydener Flasche dementsprechend gross zu wählen. Zu empfehlen sind daher 3—5 Primärwickelungen von etwa 10—12 cm Durchmesser. Verwendet man als Secundärdraht 50—60 m langen, $\frac{1}{2}$ mm dicken, mit Seide isolirten Kupferdraht, der in einer Lage auf einen Holzcyylinder von 7 cm Durchmesser und 15 cm Länge aufgewickelt wird, so reicht schon eine kleine Leydener Flasche und demgemäss ein kleines Inductorium (4—10 cm Funkenlänge) zur Speisung des Tesla-Transformators aus. Die Abstimmung des Primärkreises desselben geschieht einfach in der Weise, dass man zunächst als Leydener Flasche L eine sehr kleine wählt (deren Capacität etwa der hier beschriebenen Anordnung entspricht oder noch kleiner ist), und

1) Die Theorie des Tesla-Transformators gedenke ich in einer besonderen Arbeit zu besprechen.

die mögliche Länge der Secundärfunken des Transformators notirt, und nun beobachtet, ob diese Funkenlänge durch Anwendung einer grösseren oder noch kleineren Leydener Flasche gesteigert wird. Da die gute Wirkung des Transformators durchaus keine scharfe Resonanz zwischen Primär- und Secundärkreis erfordert, so ist eine geeignete Leydener Flasche innerhalb von wenigen Minuten zu ermitteln.

Um die Belegung der Leydener Flasche nicht durch Funken zu zerstören, legt man zweckmässig einen federnden, 1 cm breiten Messingring, der eine Klemmschraube zur Aufnahme des einen Primärdrahtes trägt, an den Stanniobelag.

Fig. 2.

Die Secundärpole des Transformators sind durch feine Drähte mit den Entladungskugeln des eigentlichen Wellenerregers E verbunden. Hinsichtlich seiner Beschreibung verweise ich auf die oben citirten Stellen, ich will hier zum Verständniss der Fig. 1 nur sagen, dass B ein zur Erde abgeleiteter Metallquerbügel ist, V die Vacuumröhre, deren Leuchten als Wellenindicator dient, C ein mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefülltes, mit Platinelektroden versehenes Glaskölbchen ($\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{8}$ cm³ Inhalt), welches als Capacität dient und mit den zwei Schiebedrähten Contact hat. Will man zur Messung der Dielektricitätsconstante direct die Wellenlänge der Schwingungen in der betreffenden Flüssigkeit und in Luft beobachten, so ersetzt man C durch Paralleldrähte mit umgebendem Glastrog (von mir als *erste* Methode bezeichnet in der Zeitschr. f. phys. Chem. I. c.) — Die Funkenstrecke des Erregers E liegt

in Petroleum und ist höchstens $\frac{1}{2}$ mm lang zu wählen, weil sonst die Intensität der Wellen so gross wird, dass die Genauigkeit der Einstellungen von C leidet. — Wenn die Secundärpole von T mit der Funkenstrecke von E verbunden sind, so hört die Büschelbildung des Teslatransformators auf, was sehr angenehm ist, weil man sonst starke Ozonentwicklung im Beobachtungsraume erhält. Fig. 2 ist nach einer Photographie der ganzen Anordnung erhalten.

Zur Theorie des Wellenerregers.

Der Wellenerreger besteht in zwei halbkreisförmig gebogenen dicken Kupferdrähten, welche eine Kreisfläche von 5 cm Durchmesser umspannen. Die halbe in Luft gemessene Wellenlänge der Eigenschwingung eines nahezu geschlossenen Drahtkreises ist nun gleich der Länge des Drahtes multiplicirt mit 1,05¹⁾ und multiplicirt mit der Quadratwurzel aus der Dielektricitätsconstante des Mediums, in welchem sich der Draht befindet. Da der Erreger in Petroleum der Dielektricitätsconstante $\epsilon = 2$ liegt, so würde daher²⁾ die halbe in Luft gemessene Wellenlänge des Erregers sein

$$\frac{1}{2} \lambda = 5 \cdot \pi \cdot 1,05 \cdot \sqrt{2} = 23,4 \text{ cm.}$$

In dem den Erreger umgebenden Empfängerdraht werden nun die elektrischen Schwingungen am intensivsten inducirt, wenn die Eigenschwingungsdauer des durch den Metallbügel B (vgl. Fig. 1) abgeschlossenen Empfangsystems, das also aus einem nahezu geschlossenen Kreise besteht, der in zwei Parallel-drähte ausmündet, die durch B überbrückt sind, übereinstimmt³⁾ mit der Schwingungsdauer der halbkreisförmigen Erregerdrähte. Die Eigenschwingungsdauer des Empfangsystems kann man durch Verschiebung des Bügels B variiren. Man kann die

1) Wie diese Zahl experimentell gewonnen ist, werde ich in einem späteren Aufsatz angeben.

2) Die Erregerfunkenstrecke wirkt als Leitung. Dort liegt ein Schwingungsmaximum der Stromstärke.

3) Es wird dabei abgesehen von der Dämpfung der Erregerschwingungen, die thatsächlich sehr klein ist (vgl. P. Drude, Wied. Ann. 60. p. 17. 1897).

Resonanzlage von B , bei der also die in der Empfangsleitung inducirten Schwingungen am stärksten sind, experimentell dadurch ermitteln, dass man einen Wellenindicator (Vacuumröhre) über die Paralleldrähte der Empfangsleitung möglichst nahe an der Stelle auflegt, wo dieselben in den Empfängerkreis übergehen, und nun den Bügel B verschiebt. Bei der Resonanzlage desselben leuchtet der Wellenindicator am stärksten auf. Die Ermittlung dieser Resonanzlage ist allerdings nur dann scharf, wenn die magnetische Koppelung zwischen Erreger und Empfänger nicht gross ist, d. h. wenn der Abstand beider Drahtsysteme nicht zu klein gewählt wird (mindestens 1 cm, besser etwa 3 cm).¹⁾ Diese Resonanzlage von B liegt etwa 14 cm hinter dem Ende des Empfängerkreises (entsprechend $\frac{1}{4}\lambda$ des Erregers). Sie ist von ihm etwas weiter entfernt als die Lage, die ich früher²⁾ bei der Construction des Apparates als Lage des Bügels B angegeben habe (7—9 cm hinter dem Ende des Empfängerkreises).

Lässt man nun B auf der Resonanzlage liegen, und ermittelt die Wellenlänge der in der Empfängerleitung erregten Schwingungen, indem man an Stelle des Condensators C der Fig. 1 die Paralleldrähte durch einen zweiten Metallbügel B' leitend überbrückt und diesen Bügel B' so verschiebt, dass eine zwischen B und B' aufgelegte Vacuumröhre maximal leuchtet, so erhält man $\frac{1}{2}\lambda = 30$ cm, d. h. eine etwas grössere Zahl, als die oben p. 341 theoretisch ermittelte. Die Vergrösserung (30 cm anstatt 23,4 cm) findet ihre Erklärung durch die Capacitätsvermehrung der Erregerdrähte durch den sich in der Nähe befindlichen Empfängerdraht und durch die Dicke der Erregerdrähte.

Dieser Wert $\frac{1}{2}\lambda = 30$ cm wird aber nur erhalten, wenn die magnetische (inductive) Koppelung zwischen Erreger- und Empfängerdraht nicht gross ist, d. h. wenn ihr Abstand mindestens 1 cm beträgt. Wird dieser Abstand kleiner (1—3 mm, was man erreichen kann, wenn die Erregerdrähte in dieselbe Horizontalebene verlegt werden wie der Empfängerkreis), so

1) Diesen Abstand zwischen Erreger- und Empfängerdraht kann man bequem variiren durch Verticalverschiebung des Erregers allein.

2) P. Drude, Zeitschr. f. phys. Chem. 23. p. 272. 1897; Wied. Ann. 61. p. 470. 1897.

werden die im Empfänger inducirten Schwingungen nicht nur stärker, sondern es ändert sich auch die Wellenlänge, und man kann *zwei* inducirte Perioden beobachten, die um so verschiedener sind, je stärker die magnetische Koppelung zwischen Erreger und Empfänger ist, d. h. je kleiner ihr relativer Abstand ist. So erhielt ich bei 3 mm Abstand die beiden Schwingungen $\frac{1}{2}\lambda = 37$ cm und $\frac{1}{2}\lambda' = 21$ cm. Diese Resultate entsprechen durchaus den theoretischen Deductionen von Oberbeck¹⁾ und M. Wien²⁾, nach denen bei magnetischer Koppelung (z. B. bei einem Teslatransformator) im Erreger sowohl, als im Empfänger je zwei Perioden der Wellenlänge λ und λ' bestehen³⁾, welche das Gesetz befolgen:

$$(1) \quad \lambda^2 + \lambda'^2 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2,$$

1) A. Oberbeck, Wied. Ann. **55**. p. 627. 1895, Formel (11) (sie enthält einen Druckfehler, der Factor π muss fortfallen).

2) M. Wien, Wied. Ann. **61**. p. 159. 1897.

3) Die erste der von Mazotto (Nuov. Cim. (3) **36**. p. 189. 1894; (4) **6**. 1897), von mir (Wied. Ann. **55**. p. 636. 1895; **60**. p. 18. 1897) und von M. Lamotte (Wied. Ann. **65**. p. 100. 1898) als Oberschwingung gedeutete Welle in einem Blondlotapparat erklärt sich nach dieser zuerst von Oberbeck gegebenen Theorie, die ich durch zahlreiche Messungen an einem grösseren Apparate sehr gut bestätigt fand, wie ich an anderer Stelle beschreiben will. Die eigentlichen Oberschwingungen des Erregers, welche ja allerdings stets vorhanden sind (vgl. M. Abraham, Wied. Ann. **66**. p. 435. 1898; — F. Kiebitz, Ann. d. Phys. **5**. p. 872. 1901), scheinen mir bei den bisherigen Messungen von Lamotte und mir nicht von Einfluss gewesen zu sein, da sie viel schwächer als die Grundschiwingung des Erregers sind. Vielmehr erklären sich die von Lamotte und mir beim Blondloterreger gefundenen sogenannten höheren Oberschwingungen als Oberschwingungen der Empfängerleitung in folgender Weise: Wenn der Bügel B weit vom Erreger entfernt wird, so ist die Grundschiwingung des Empfängers langsamer, als die des Erregers. Es entstehen daher zunächst im Empfänger zwei nicht sehr intensive Wellen, welche die Gleichung (1) befolgen. Die erste Oberschwingung der Empfängerleitung, die nahezu doppelt so schnell erfolgt, als ihre Grundschiwingung (nicht genau wegen der teilweisen Petroleumumgebung und der kreisförmigen Ausbiegung der Drähte), liegt dann eventuell so nahe der Grundschiwingung des Erregers, dass dadurch wieder zwei neue Wellen in der Empfängerleitung inducirt werden, welche kräftiger sind, als die beiden ersten. Eventuell kann die zweite Oberschwingung der Empfängerleitung wiederum Anlass zu zwei weiteren kleineren Wellen bieten etc. Diese Auffassung habe ich durch später zu beschreibende Versuche bestätigen können. — Eigentliche Oberschwingungen des Erregers

wenn λ_1 und λ_2 die Wellenlängen der Eigenschwingungen von Erreger und Empfänger sind. Für den Fall ($\lambda_1 = \lambda_2$) der Resonanz ist daher

$$(2) \quad \lambda^2 + \lambda'^2 = 2 \lambda_1^2.$$

In der That wird diese Gleichung gut bestätigt, denn es ist

$$\frac{1}{2} \lambda = 37 \text{ cm}, \quad \frac{1}{2} \lambda' = 21 \text{ cm}, \quad \frac{1}{2} \lambda_1 = 30 \text{ cm},$$

$$\text{d. h.} \quad (\frac{1}{2} \lambda)^2 + (\frac{1}{2} \lambda')^2 = 1370 + 440 = 1810,$$

während $2 \cdot (\frac{1}{2} \lambda_1)^2 = 1800$ ist.

Das Auftreten *zweier* Schwingungen im Apparat kann nun dann bei den Beobachtungen nicht stören, wenn die Vacuumröhre V gerade auf einen Knoten der Potentialschwingung der kleineren Welle gelegt wird, d. h. um 21 cm (genauer um 20 cm wegen der Bügelverkürzung¹⁾) hinter dem Bügel B . *Auf diesen Punkt muss man also bei Anwendung des Apparates achten.*

Da nun aber die Vacuumröhre am besten leuchtet, wenn sie um $\frac{1}{4} \lambda$ entfernt liegt von dem Bügel B , so ist es günstig, wenn die beiden im Apparat auftretenden Schwingungen λ und λ' nahezu das Verhältniss 2:1 haben. Denn wenn dann die Röhre um $\frac{1}{4} \lambda$ hinter B aufgelegt wird, so ist dies zugleich eine Knotenlage für die Welle λ' , da dann $\frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda'$ ist, d. h. die Röhre V wird dann nur die Welle λ anzeigen. Man kann nun das Verhältniss $\lambda : \lambda' = 2:1$ leicht erreichen, wenn man den Bügel B etwas näher an den Erreger heranschiebt, als es der Resonanzlage entspricht, denn dadurch wird λ_2 und nach der Theorie (vgl. auch Gleichung (1)) sowohl λ als λ' kleiner. Eine nicht zu grosse Abweichung der Lage des Bügels B von der Resonanzlage beeinträchtigt bei starker magnetischer Koppelung die Intensität der Wellen in den Paralleldrähten nur wenig.

So erhielt ich z. B. wenn B um 3 cm von der Resonanzlage aus nach dem Erreger zu geschoben wurde die beiden Wellenlängen $\frac{1}{2} \lambda = 35$ cm und $\frac{1}{2} \lambda' : 18$ cm.

würden dagegen von Einfluss sein, wenn der Bügel B möglichst nahe nach dem Erreger zu läge. Die Wirkungen sind aber sehr schwach im Vergleich zu den von mir und Lamotte beschriebenen Versuchen.

1) Vgl. P. Drude, Wied. Ann. 60. p. 11. 1897.

Diese Lage des Bügels B entspricht annähernd der Lage, die ich früher bei der Beschreibung des Apparates als Vorschrift angegeben habe, und da bei dieser Lage das Auftreten der Welle λ' nicht stört, wenn die Vacuumröhre V in die Mitte zwischen B und die erste Resonanzlage von B' auf die Paralleldrähte gelegt wird, so habe ich bei der Beschreibung des Apparates die kleinere Welle λ' nicht erwähnt. Bei der durch die Tesla-Speisung gesteigerten Intensität der Wellen könnte sich aber doch die Welle λ' störend bemerkbar machen, da das Verhältnis $\lambda:\lambda'$ von der Stärke der magnetischen Koppelung abhängt, d. h. vom Abstand des Erregerdrahtes vom Empfängerdraht, und dieser Abstand könnte zufällig einmal stärker vom normalen Wert abweichen.

Daher empfehle ich als Vorschrift: Der Bügel B wird zunächst etwa 7—9 cm hinter das Ende des Empfängerkreises aufgelegt (wie ich es früher angegeben habe), die Vacuumröhre etwa 17 cm hinter B über die Drähte, und die Resonanzlage eines zweiten Bügels B' aufgesucht. Erhält man dann nur eine (oder bei längerer Leitung hinter B mehrere) Resonanzlagen von B' , die nur *einer* Schwingung (von $\frac{1}{2}\lambda$ etwa gleich 36 cm) entsprechen, so ist der Apparat gebrauchsfertig, wenn aber durch das Leuchten der Vacuumröhre ausserdem noch Resonanzlagen von B' erhalten werden, die einer kleineren Wellenlänge λ' entsprechen, so ist der Bügel B so zu verschieben, dass das Verhältnis $\lambda:\lambda'$ möglichst¹⁾ annähernd gleich 2:1 wird und die Vacuumröhre V auf eine Knotenlage der Potentialschwankung der Welle λ' aufzulegen. Dann wird man durch λ' nicht gestört.

Meistens wird diese Vorschrift unnötig sein, wenn V etwa 17 cm hinter B aufgelegt wird. Nur wenn V wesentlich näher oder entfernter an B läge, wird diese Vorschrift von Wichtigkeit.

Noch ein Punkt bedarf bei der Theorie des Blondlot-Erregers der Aufklärung. Verwendet man einen Blondlot-Erreger ohne Endcondensator, d. h. einfach zwei halbkreisförmig gebogene Drähte, wie sie bei meinem Apparate verwendet sind, so ist die Intensität der in der Empfangsleitung indu-

1) Die Verschiebung des Bügels B hat seine Grenzen, damit die Resonanzlagen des zweiten Bügels B' nicht ausserhalb des Messbereiches (der dem Apparat beigefügten Scala) fallen.

cirten Wellen wesentlich grösser, wenn die Funkenstrecke F des Erregers in der in Fig. 1 und Fig. 3 gezeichneten Lage liegen, als wenn sie hinten am Schluss der Empfangsleitung

Fig. 3.

Fig. 4.

liegt (Fig. 4). Da in F das Maximum der Stromstärke liegt, so sollte man zunächst von der Lage der Fig. 4 eine bessere Wirkung erwarten, als von der Lage der Fig. 3, da die Erregung durch Magnetoinduction stets dann am wirksamsten ist, wenn sie an Stellen der Secundärleitung angreift, in welchen das Maximum der Stromschwankung liegt, und dieses liegt bei der Empfangsleitung am geschlossenen Ende ihres Kreises (und am Bügel B).

Der Widerspruch erklärt sich dadurch, dass der Erreger mit dem Empfänger nicht nur magnetisch, sondern auch (allerdings schwach) elektrisch gekoppelt ist. Nennen wir die beiden Erregerhälften 1 und 2, und bezeichnen wir eine Stromstärke und elektromotorische Kraft als positiv, wenn sie im Sinne des Uhrzeigers fließt bez. wirkt, so ist bei Fig. 3 die Stromstärke im Erreger:

$$i \sim \frac{\partial (V_1 - V_2)}{\partial t},$$

wenn V_1 und V_2 die elektrischen Potentiale an den freien Enden der Erregerdrähte 1 und 2. Die magneto-inductive elektromotorische Kraft in der Empfängerleitung ist daher:

$$E_m \sim - \frac{\partial i}{\partial t} \sim - \frac{\partial^2 (V_1 - V_2)}{\partial t^2}.$$

Wenn nun aber V_1 positiv, V_2 negativ ist, so gehen auch einige elektrische Kraftlinien vom Draht 1 in die Empfangs-

leitung, in ihr im Sinne des Uhrzeigers entlang, und treten dann in den Draht 2. Dadurch wird eine elektromotorische Kraft in der Empfangsleitung hervorgerufen, welche ist:

$$E_e \sim V_1 - V_2.$$

Da nun bei Schwingungen $V_1 - V_2$ das entgegengesetzte Vorzeichen als $\partial^2(V_1 - V_2)/\partial t^2$ hat, so haben E_m und E_e dasselbe Vorzeichen, und beide elektromotorischen Kräfte verstärken sich.

Anders liegen die Verhältnisse im Falle der Fig. 4. Hier ist

$$i \sim - \frac{\partial(V_1 - V_2)}{\partial t},$$

daher

$$E_m \sim + \frac{\partial^2(V_1 - V_2)}{\partial t^2},$$

während ist

$$E_e \sim V_1 - V_2.$$

Hier haben also E_e und E_m entgegengesetztes Vorzeichen, und daher tritt schwächere Wirkung in der Empfangsleitung ein, als in Fig. 3.

Verwendet man einen Blondlot-Erreger mit grösserem Condensator an den Enden der Erregerdrähte, sodass die Stromstärke in der ganzen Erregerleitung merklich constant ist und elektrische Kraftlinien nur zwischen den Condensatorplatten verlaufen, dagegen nicht vom Erreger in den Empfänger übertreten, so ist die Lage der Funkenstrecke F des Erregers für die Wirkung auf den Empfänger gleichgültig.

Der Apparat wird ausser von den Firmen Stöhrer (Leipzig) und Leybold (Köln) jetzt auch von W. Schmidt (Giessen) gefertigt. Letztere Firma liefert auf Wunsch auch den Tesla-Transformator mit Leydener Flasche und ich kann bei dieser Firma das Functioniren des ganzen Apparates selbst controliren.

Giessen, März 1902.

(Eingegangen 18. März 1902.)