

IV. Ueber die mit vielplattigen Influenzmaschinen erzeugten elektrischen Condensatorschwingungen in ihrer Anwendung auf die sogenannten Tesla'schen Versuche.

Experimentalvortrag, gehalten in der naturwissenschaftlichen Gesellschaft „Isis“
am 12. Juli 1894

von Geh. Hofrath Dr. A. Töpler.

Berichterstatter Dr. Max Töpler*).

Hertz hatte bei seinen bahnbrechenden Experimentaluntersuchungen, die der Physik ein neues Arbeitsfeld aufschlossen, mit der Schwierigkeit zu kämpfen, in sogenannten linearen Leitern (Drahtleitungen) reine, von störenden Nebenumständen möglichst freie Schwingungen zu erzeugen. Bei späteren Untersuchungen, unter denen vor allen diejenigen von Sarasin und De la Rive, ferner Lecher zu erwähnen sind, wurden die Schwierigkeiten überwunden. Der letztgenannte Physiker hat zur Erregung der Schwingungen mit bestem Erfolg einen symmetrisch gebauten Doppelcondensator benutzt. Dasselbe Hilfsmittel hat auch dem Vortragenden in Verbindung mit der Influenzmaschine die besten Dienste geleistet.

Nach den Entdeckungen von Helmholtz, Feddersen, Oettingen und Kirchhoff besteht die Entladung einer Leydner Flasche oder Batterie, wenn der elektrische Widerstand der die Belegungen verbindenden Leitung (des Schliessungsbogens) ein gewisses Maass nicht überschreitet, nicht in einem einmaligen Ausgleich der entgegengesetzten Elektricitäten, sondern in einer alternirenden (oscillirenden) Bewegung derselben, wobei die Belegungen abwechselnd in entgegengesetztem Sinne geladen und wieder entladen werden**). Der Vortragende veranschaulicht den Prozess durch eine hydrodynamische Analogie. Zwei gleichgrosse am Boden durch eine Röhre communicirende Gefässe seien ungleich hoch mit Flüssigkeit gefüllt und dann der Schwerkraft überlassen, so dass die Flüssigkeitsspiegel schliesslich in gleicher Höhe zur Ruhe kommen. Ist die Verbindungsröhre

*) Der Berichtstatter hatte zusammen mit Herrn Privatdocenten und Adjuncten Dr. J. Freyberg die Vorbereitungen und Ausführungen der mitgetheilten Experimente nach Anleitung des Vortragenden, seines Vaters, zu besorgen; er hat auch mit Zustimmung des letzteren, da der Gegenstand ohne Zweifel für Fachleser von Interesse ist, die Beschreibung der Versuche in den Sitzungsberichten übernommen.

***) Der Erste, welcher den oscillatorischen Charakter der Condensatorentladungen wenn auch nicht bewiesen, so doch vermuthet zu haben scheint, ist Henry (1842).

sehr eng, so wird die ganze Schwereenergie der ungleich gefüllten Gefässe bei einmaligem Herabsinken der höheren Säule durch Reibung in Wärme umgesetzt; die Bewegung geschieht nur in einem Sinne. Ist das Rohr sehr weit, die Reibung also klein, so schießt die heruntersinkende Masse gleichsam über das Ziel hinaus; die Flüssigkeit beruhigt sich erst nach mehrmaligem Hin- und Herschwingen, bis endlich alle Schwereenergie durch Reibung in Wärme verwandelt wird. Ganz ähnlich wird die elektrische Energie der Condensatorentladung in guten Leitern erst durch eine Reihe von Oscillationen in Wärme oder andere Energieformen übergeführt. Freilich vollziehen sich die elektrischen Condensatorschwingungen ganz unvergleichlich rascher, als die der trägen Materie. Bei den Experimenten des Vortragenden mit Hochspannungstransformation kamen Schwingungen in Betracht, von denen Millionen und mehr auf die Secunde zu schätzen sind.

Neuerdings hat die Elektrotechnik mit Erfolg von rasch hin- und hergehenden Inductionsströmen (sogen. Wechselströmen) Anwendung gemacht. Infolge des durch theoretische Untersuchungen festgestellten Umstandes, dass derartige Ströme bei möglichst hoher Wechselzahl (Frequenz) per Secunde gewisse wichtige praktische Vortheile erwarten liessen, besonders bei gleichzeitiger Anwendung von Transformatoren, bauten Tesla und Ewing magnetoelektrische Wechselstrominductoren mit 30 000, ja 56 000 Stromwechseln. Tesla erkannte aber bald, dass mit den complicirten und kostspieligen, nach bekannten Principien gebauten elektromagnetischen Inductionsmaschinen doch nicht unmittelbar jene hohe Frequenzzahl der Wechselströme zu erreichen sein würde, welche den Physikern in den Condensatorentladungen zu Gebote stand. Er traf daher eine combinirte Anordnung der folgenden Art.

Der von einer kräftigen Inductionsmaschine gelieferte Wechselstrom mit mässiger Frequenzzahl (etwa 70 bis 100 genügt vollkommen) wird durch den Primärdrabt eines Spannungstransformators geleitet. In den zahlreichen Windungen des Secundärdrahtes wird hierbei ein Wechselstrom derselben Frequenz von so hoher Spannung inducirt, dass ein mit demselben gespeister einfacher oder Doppel-Condensator Entladungsfunken von einigen Millimetern Schlagweite liefert. Die von der Inductionsmaschine mittelst Transformation erzeugten Wechselströme sind bekanntlich eine sehr ergiebige Elektrizitätsquelle, so dass der Condensator bei jedem einzelnen Stromstosse mehrmals rasch hintereinander bis zur Funkenbildung geladen wird, selbst wenn der Condensator aus sehr grossen Leydnerflaschen besteht. So erhält man viele Hundert Condensatorfunken in der Secunde. Jeder einzelne Condensatorfunken löst nun aber im Schliessungsbogen ungeheuer rasche Oscillationen aus, deren Frequenz nach bekannten Formeln aus der Condensatorcapacität und der Beschaffenheit des Schliessungsbogens annähernd berechnet werden kann. Die so erhaltenen Condensator-Oscillationen (Hochfrequenz-Wechselströme) lassen sich nun wiederum durch Transformation auf sehr hohe Spannung bringen. Zu diesem Zwecke führt man die Oscillationen durch einen zweiten Spannungstransformator. Letzterer liefert dann den Hochspannungs-Wechselstrom.

Eine Hauptschwierigkeit, die hierbei überwunden werden musste, lag darin, alle von dem hochgespannten Strome durchflossenen Leitertheile genügend zu isoliren. Zu diesem Zwecke wandte Tesla Oeltransforma-

toren an. Er erzielte mit seiner Combination, die er in vielen Städten öffentlich vorzeigte, die überraschendsten Erfolge. Man war in Laien- und Elektrotechnikerkreisen erstaunt über die höchst eigenthümlichen Erscheinungen sehr hochgespannter Schwingungen.

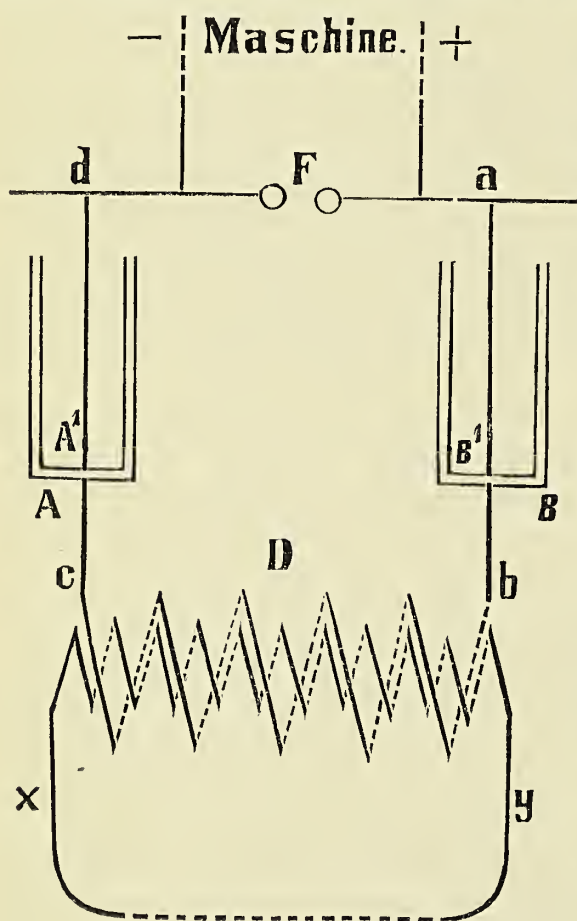
Freilich hat Tesla mit seinen Versuchen physikalisch wesentlich Neues nicht entdeckt. Aber er hat das Verdienst, die hochgespannten Condensatorschwingungen versuchsweise in die Elektrotechnik eingeführt zu haben. Auch sind manche seiner Versuche physikalisch sehr interessant und lehrreich.

Nun haben alsbald einige Physiker (z. B. Ebert*) und Himstedt bereits angedeutet, dass mit der von dem Vortragenden erfundenen**) vielplattigen Influenzmaschine viele der Tesla'schen Versuche sich voraussichtlich in noch einfacherer Weise würden anstellen lassen. Dies ist in der That der Fall. Die Ausführung der in physikalischer Hinsicht charakteristischen Tesla'schen Versuche gelingt, wenigstens mit der grossen 60plattigen Influenzmaschine, so ziemlich vollständig, theilweise sogar mit sehr gutem Erfolge. Freilich liefert diese grosse Influenzmaschine noch

lange nicht soviel Elektrizität, als eine kräftige Magnetinductionsmaschine. Man muss sich daher mit einem kleineren Maassstabe der Versuche begnügen. Dafür erfordert aber auch die 60scheibige Maschine nur einfachen Handbetrieb (von höchstens $\frac{1}{8}$ Pferdekraft), während Tesla zu seinen Versuchen einen Gas- oder Dampfmotor benutzte.

Das Schema der von dem Vortragenden angegebenen Versuchsanordnung ist das folgende (vergl. beistehende Figur).

Die von dem Influenzmaschinenstrom direct gespeisten Innenbelegungen $A^1 B^1$ zweier Leydner Flaschen entladen sich durch die Funkenstrecke F viele Mal in der Secunde. Bei der vom Vortragenden benutzten Maschine erhält man mit Flaschen mittlerer Grösse leicht gegen 100 Funken von 3 mm Schlagweite in der Secunde. Der dabei entstehende oscillirende Ausgleich der Aussenbelegungen AB wird durch den Transformator D geleitet, dessen Einrichtung



Figur 1.

*) Zu erwähnen ist eine dankenswerthe wissenschaftliche Besprechung der Tesla'schen Versuche von Ebert in der „Naturwissenschaftlichen Rundschau“, Jahrg. XI. Derselbe hat bekanntlich im Verein mit E. Wiedemann seit einer Reihe von Jahren auf dem von Tesla betretenen Gebiete Untersuchungen angestellt.

**) Die zu den Experimenten benutzte Influenzmaschine ist nach dem Grundschemata gebaut, welches der Vortragende durch Beschreibung und Abbildung bereits publicirt hat, bevor noch die Holtz'sche Maschine bekannt wurde. Die Einrichtung ist aus dem Lehrbuche von Müller-Pouillet-Pfaundler, Bd. III, 1890, zu ersehen, jedoch sind neuerdings sämtliche Stromscheiben der Maschine mit Holtz'schen Nebenconductoren versehen worden.

später beschrieben wird. Theoretisch kann man die Sache so ansehen, als ob in dem nur durch die Glasdicken der Leydner Flaschen unterbrochenen Leitercyklus $F a b D c d F$ während der Entladungsdauer eines jeden Funkens ein Wechselstrom mit angenähert durch die Rechnung angegebbarer Frequenzzahl circulirt.

Ein Hauptvortheil der Anwendung der Influenzmaschine für die Demonstration besteht nun darin, dass sie schon ohne Weiteres einen hochgespannten Hochfrequenz-Wechselstrom liefert, der dann nach Bedarf sowohl auf niedrigere als auf viel höhere Spannung transformirt werden kann.

Weitere Vorzüge liegen in den Symmetrieverhältnissen, die gerade hier leicht nachweisbar sind. Man erkennt sofort, dass bei der gleichmässigen Elektrizitätszufuhr von $\pm El$ zu den Innenbelegungen $A^1 B^1$, wie sie der vielplattigen Influenzmaschine eigen ist, in der Aussenleitung $c D b$ die Influenzelektricitäten (2. Art) der Aussenbelege fortwährend neutralisirt werden, so dass der Spannungszustand dieser Aussenleitung fast Null bleibt. Erst beim Ausbruch des Funkens in F entstehen starke Potentialdifferenzen in $c D b$, den oscillatorischen Bewegungen entsprechend. Man kann die Anordnung aber auch mit einfachem Condensator benutzen, indem man z. B. die Flasche $A A^1$ durch eine gerade, isolirte Leitung von c bis d ersetzt, oder durch eine Nebenleitung überbrückt. Dann ladet und entladet sich $B B^1$ allein im Kreise $F a b c d F$, wobei die Oscillationszahl per Secunde ungefähr im Verhältniss $\sqrt{2} : 1$ abnimmt. Man erkennt aber sofort, dass in diesem Falle die der Aussenbelegung B von der Maschine über $d c D b$ zugeführte $-El$ diese letztere Leiterstrecke mit dem vollen Maschinenpotential schon vor der Funkenbildung statisch ladet. Hierdurch entstehen kräftige Influenzwirkungen auf den Secundärkreis $x y$, welche offenbar, wenn es sich um die reine Beobachtung der Oscillationswirkungen handelt (z. B. in Geissleröhren), sehr stören kann*). Nun kann freilich auch im Falle der eben besprochenen einseitigen Condensatorschaltung die Primärleitung von c bis b vor statischen Ladungen im Wesentlichen durch ableitende Verbindung des Punktes c oder b mit der Erde (Gas- oder Wasserleitung) geschützt werden, allein da bei solch einseitiger Inanspruchnahme der Maschine das Potential auf $a B^1$ nicht entsprechend steigt, so erhält man in diesem Falle nicht den vollen Effect der symmetrischen Anordnung.

Der Funkenstrom F der Influenzmaschine bedarf übrigens, weil ihm die Aureolenbildung fehlt, der Beihülfe eines Luftgebläses oder der Zerreiſung durch Einwirkung eines Magnetfeldes nicht. Vielleicht ist dieser Umstand an dem verhältnissmässig guten Gelingen der Versuche mit der Influenzmaschine wesentlich mitbetheiligt.

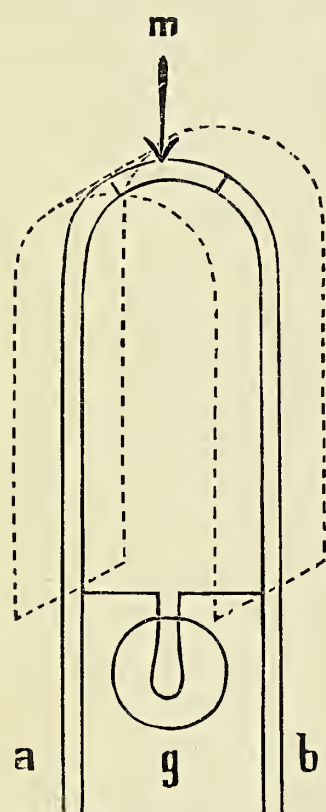
Dass der Ausgleich im Schliessungsbogen zwischen A und B in der That ein oscillirender ist, wurde durch folgenden Versuch gezeigt. Wurde in diesen Schliessungsbogen ein Geisslerrohr geschaltet, so zeigte dasselbe das sogenannte Kathodenlicht an beiden Polen; dies erklärt sich daraus, dass bei rasch wechselndem Kathoden- und Anodenlicht an derselben Elektrode schliesslich nur das lichtstärkere und ausgeprägtere Kathodenlicht scheinbar continuirlich sichtbar wird**). Im Gegensatze hierzu zeigte

*) Auch bei Hertz'schen Versuchen sind solche einseitige Condensatoranordnungen störend.

***) Diese Erscheinung bei Oscillationen ist bekanntlich von E. Wiedemann und Ebert genauer untersucht worden.

natürlich die einfache Rhunkorff-Entladung bei denselben Röhren einseitig Kathoden- und Anodenlicht getrennt.

Wer zum ersten Male das Gebiet der sehr raschen Schwingungen betritt, der muss die gewöhnlichen Vorstellungen, die er sich im Umgange mit elektrischen Strömen angeeignet hat, zum Theil ignoriren. Im Laufe der folgenden Experimente wurden denn auch eine Reihe Eigenthümlichkeiten gezeigt, welche nur den hochgespannten, sehr rasch wechselnden Strömen eigen sind, welche übrigens nach den theoretischen oder praktischen Untersuchungen verschiedener Physiker schon früher theils bekannt, theils vorherzusehen waren. Eine besonders eklatante Eigenschaft rasch wechselnder Ströme besteht z. B. darin, dass dieselben häufig den Weg durch schlechte Leiter oder gar Nichtleiter demjenigen durch sehr gute Leiter anscheinend vorziehen; dies zeigte der Vortragende durch folgenden



Figur 2.

Versuch, der sich den analogen Tesla'schen und E. Thomson'schen Experimenten anschliesst. Ein sehr dicker massiver Kupferbügel *ab* in Figur 2 von 8 mm Durchmesser und 40 cm Länge setzte den raschen Schwingungen so erheblichen Widerstand entgegen, dass eine bei *g* als Nebenschluss eingeschaltete Glühlampe, deren Widerstand etwa 100 000 mal grösser war als der des Kupferbügels, in lebhaftes Glühen kam. Ein zweiter derartiger Bügel liess sich im Scheitel durch Wegnahme eines dort angebrachten Verbindungsstückes *m* unterbrechen, wodurch die Lampe zwar heller leuchtete, aber ohne bei der angewandten Condensatorschlagweite Schaden zu nehmen, obgleich jetzt sicher der ganze Wechselstrom durch dieselbe ging.

Dieses merkwürdige Verhalten erklärt sich aus der bei sehr raschem Stromwechsel ungeheuer anwachsenden Intensität der sogenannten Extraströme (Selbstinduction), welche wie eine verzögernde Kraft auf die Schwingungen im Bügel wirkt. Diese hat zur Folge, dass, wie insbesondere Stephan mathematisch erwiesen hat, Hochfrequenzströme nicht im ganzen Querschnitt, sondern in einer sehr dünnen Schicht

längs der Oberfläche der Leiter fließen. Letzterer Umstand ist der wesentliche bei obigem Experiment, wie der Vortragende dadurch zeigte, dass er ein nach innen federndes, sehr dünnes Kupferblechband (von nur 0,1 mm Dicke) in der aus Figur 2 ersichtlichen Weise auf den dicken Kupferbügel schob, wodurch die Helligkeit der Lampe sofort sehr auffallend abnahm. Der leitende Querschnitt wird durch die Hinzufügung des Blechbügels nicht wesentlich vergrössert, wohl aber die Leiteroberfläche; dieser muss daher im Sinne der Stephan'schen Resultate der hauptsächlichste Einfluss zugeschrieben werden. Fließen die Hochfrequenzströme nur in einer äusserst dünnen Oberflächenschicht, so leitet der Bügel nach Hinzufügung des Blechstreifens viel besser; die durch die Glühlampe gehenden Zweigströme müssen sehr geschwächt werden, was in der That geschah.

Eine zweite nicht minder merkwürdige Eigenthümlichkeit der Hochfrequenz-Wechselströme besteht in ihrem Verhalten zu Eisenmassen. Es ist bekannt, dass langsam verlaufende Wechselströme (oder Stromschwankungen überhaupt) in ihren Inductionswirkungen auf Nachbarleiter

(Volta-Induction) durch benachbarte Eisenmassen unterstützt werden. Ein in die Primärspirale eines gewöhnlichen Rhumkorff-Inductoriums eingeschobenes Eisendrahtbündel verstärkt, wie der Vortragende zeigte, das Leuchten einer in die Secundärspirale geschalteten Geissleröhre ganz auffallend. — Hochfrequenzwechselströme zeigen gerade die umgekehrte Erscheinung, ihre Volta-Induction wird durch Eisenmassen herabgesetzt. Um dies zu zeigen wurde über eine kleine Primärspirale mit nur 10 Windungen (4 cm Durchmesser) eines in Guttapercha gehüllten Kupferdrahtes von 2 mm Dicke eine Nebenspirale von nur 3 Windungen desselben Drahtes geschoben, zwischen deren freien Enden eine 5 Kerzenlampe eingeschaltet war. Letztere glühte beim Hindurchleiten der Condensator-Oscillationen durch die Primärspirale lebhaft; wurde in die Achse der letzteren ein Eisenkern eingeführt, so wurde hierdurch das Glühen fast bis zum Erlöschen geschwächt.

Nach diesen Versuchen ging der Vortragende zu den mit Zuhülfenahme von Transformation angestellten Hauptversuchen über. Zu diesem Zwecke wurde eine Reihe verschiedener Spulen gebraucht, welche je nach dem gerade stattfindenden Transformationsbedürfnisse paarweise mit einander durch einfaches Ineinanderstecken combinirt wurden. Dieselben waren folgendermassen hergestellt. Auf verschiedene Glaslocken von 26 cm oder 31 cm Durchmesser und 18 cm Höhe des cylindrischen Theiles, welche paarweise in einandergeschoben werden konnten, waren Drahtspiralen aufgewickelt. Einige dieser Spiralen bestanden aus mehreren, getrennten, parallel-geschalteten Lagen, zur Verminderung der Dämpfung und Selbstinduction. Der Kupferdraht war $1\frac{1}{2}$ bis 2 mm, bei den Secundärspiralen für Höchstspannung nur 1 mm stark und dick mit Guttapercha umhüllt. Vor seinem Aufwickeln wurden die Glaslocken mit Wachs überzogen. Nach beendigtem Wickeln wurden alle Windungen vorsichtig mit Paraffin umgossen. Die Zuleitungsdrähte waren, wo Gefahr der Seitenentladungen nach den Windungslagen bestand, mit Glimmerplatten geschützt.

Zunächst zeigte der Vortragende, dass zwischen den Windungen der inducirenden und inducirten Spirale eine merkliche mechanische Wechselwirkung, nämlich eine Abstossung entsteht. Ueber dem oberen Ende einer vertikalen Spule von 64 Windungen schwebte coaxial ein geschlossener Aluminiumring, mittelst Seidenfäden von der elastischen Spirale einer Jolly'schen Federwaage getragen. Beim Spiel der Condensator-Oscillationen wurde der Aluminiumring, welcher den Secundärleiter bildete, sehr merklich gehoben; er konnte durch rhythmische Unterbrechung des Maschinenstromes in sehr lebhaftes Schwingungen versetzt werden. Der Vortragende schreibt diese Abstossung der Mitwirkung der Dämpfung zu.

Die weiteren mit der Influenzmaschine ausgeführten Versuche gestalteten sich nach der vom Vortragenden gewählten Disposition um so interessanter, als der Transformation auf Hochspannungswechselstrom der umgekehrte Fall, nämlich die Hinuntertransformation auf niedrigere Spannung mit entsprechend vermehrter Stromintensität vorausgeschickt wurde, was ja bei den an sich schon hohen Spannungen des Influenzmaschinenstromes keine Schwierigkeit hat. Es war hierzu nur nöthig, im Transformator den Primärdraht aus vielen, den Secundärdraht aus wenigen Windungen bestehen zu lassen. Man erhält in diesem Falle Stromwirkungen, die mit elektrostatischen Maschinen noch nicht beobachtet worden sind.

Zunächst dienten hierbei als Primärspule drei parallel geschaltete Lagen von je 28 Windungen. Wurde über diese ein einfacher Kupfer-ring von 8 mm Dicke gehalten, in den eine 5-Kerzenlampe eingeschaltet war, so leuchtete dieselbe schon auf, wenn der Ring noch 10 cm oberhalb der Primärspule sich befand. Wurde er über die Spule geschoben, so wurde sie weissglühend bis zum Durchbrennen.

Wurde als Secundärleitung ein starkes Kupferband benutzt und der Secundärstrom mittels eines Stückes dünnen Eisendrahtes geschlossen, so wurde dasselbe alsbald durchgeschmolzen; eine Eisenfeile an den Kupferbandenden gestrichen gab Sprühfunken wie bei einer vielplattigen Accumulatorbatterie.

Für andere Versuche dieser Art erwies sich als noch geeigneter eine Secundärleitung, bei der auf einer Glasglocke von 31 cm Durchmesser vier parallel geschaltete Lagen eines in drei Windungen gewickelten 2 mm dicken Kupferdrahtes sich befanden. In diesen Fällen war der Secundärstrom absolut unfühlbar, eine Schlagweite war kaum vorhanden. Ging ein Secundärstrom zwischen zwei Graphitstäben hindurch, deren unterer ein ebenes Ende besass, auf das der obere sich mit einer Spitze durch sein eigenes Gewicht stützte, so entstand eine Art kleines Bogenlicht; ein selbst momentanes Aneinanderbacken der Stifte verhinderte, ähnlich wie bei der sogenannten Contactlampe, die wenn auch geringe Spannung des (stossweisen) Stromes. Ein zugespitzter Eisenstift auf dem ebenen Graphitstiftende aufstehend zeigte dieselbe Erscheinung unter sehr lebhaften Funkensprühen. Dieselbe Anordnung der Spulen genügte auch, um eine grössere Glühlampe mit 12 cm langem Kohlefaden zu vollem Leuchten zu bringen. Alle diese Erscheinungen zeigten sich durchaus den Wirkungen starker, aber niedrig gespannter Ströme analog.

Wesentlich interessantere Erscheinungen ergaben sich jedoch, falls der schon hochgespannte Strom des Maschinencondensators auf noch viel höhere Spannung transformirt wurde.

Zunächst wurden die vorher erwähnten Spulen nur in anderer Schaltungsweise benutzt, d. h. als Primäre dienten 3 vierfache, als Secundäre 28 dreifache Windungen. Die hierdurch erhaltene Spannung ist, besonders falls man schon an und für sich hochgespannte Condensator-entladungen benutzt, recht bedeutend. Mit dieser Anordnung wurden elektrische Büschel in der Tesla'schen Weise gezeigt, indem bei einer rückwärts belegten und mit dem einen Pole verbundenen Glasplatte durch Verbindung des anderen Poles mit einer auf der Vorderseite aufgeklebten Stanniolfigur, diese sich mit einem Kranze von Büschelentladungen umgab, welche die unbedeckten Theile der Glasscheibe in zahllosen Strahlen luden und entluden.

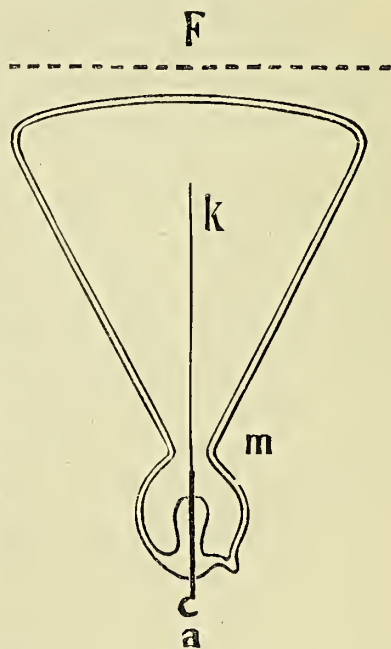
Für eine Reihe weiterer Versuche erwies sich folgende Spulencombination als zweckmässig. Primär 28 Windungen dreifach, Durchmesser der Spule 26 cm; secundär 64 Windungen einfach, Spulendurchmesser 31 cm. Zunächst wurde der eine Pol der Secundärspule zur Erde abgeleitet. Wurde nun der andere Pol von einer isolirt stehenden Person angefasst, welche in der zweiten Hand einen Pol einer Geissleröhre hielt, so leuchtete diese auf; besonders hell, falls der andere Pol des Rohres noch mit einer kleinen Leiterfläche (hier eine aufgesetzte Kupferblechscheibe von 8 cm Durchmesser) verbunden war. Es schwingt dann die Elektrizität aus der Secundärspule durch den Menschen und das Geisslerrohr in deren

äusseres Polende und zurück im Rhythmus des sehr raschen Wechselstromes.

Mit derselben Anordnung wurde dann einer der interessantesten Versuche Tesla's, der mit einer einpoligen Glühlampe gezeigt. Die Herstellung solcher einpoliger Lampen für Influenzmaschinenversuche ist mit Schwierigkeiten verknüpft. Nach zahlreichen Versuchen, die dem Berichtstatter oblagen, gelangte derselbe zu der aus Figur 3 ersichtlichen Form, die sich bewährt hat.

Die Platinelektrode mit der Oese *a* war nach Tesla fast ihrer ganzen Länge nach in Glas eingeschmolzen, da es sich zeigte, dass die hochgespannten Ströme besonders an der Eintrittsstelle die Glühlampe leicht undicht machten. Die Einschnürung bei *m* verhindert, dass ein zu grosser Theil der Elektrizität schon aus dem Platindrahte ausstrahlt und so für die Erwärmung der Kohle verloren geht. Die Evacuation mit der Quecksilberluftpumpe wurde so lange fortgesetzt, bis das Glühen in der unten beschriebenen Weise eintrat; dann wurde zugeschmolzen. Lag die Zuschmelzungsstelle am oberen Theile der Birne gegenüber *k*, so wurde dieselbe dort binnen kurzem durchgeschlagen; sie musste daher nach rückwärts verlegt werden. Besonders vorteilhaft ist es schliesslich, der Glasbirne eine fast ebene Endfläche zu geben und den Kohlefaden 1 bis 2 cm von derselben entfernt endigen zu lassen.

Wird nun *a* direct oder durch eine isolirt aufgestellte Person mit dem einen Pol verbunden, während der andere mit der Erde verbunden ist, und befindet sich, ähnlich wie bei Tesla, bei *F* eine leitende Oberfläche mit merklicher Capacität, so zeigt sich Folgendes. Infolge der hohen Spannung strömt die Elektrizität von *a* durch den Kohlefaden *k* nach der inneren Oberfläche der Glasbirne, während von *F* entgegengesetzte Elektrizität auf die äussere Oberfläche strömt; das Glas wird geladen. Nach einer Halbschwingung hat der Strom sein Zeichen gewechselt, die Ladungen des Glases kehren sich um, kurz der Hochfrequenz-Wechselstrom mit hoher Spannung ladet mit abwechselndem Vorzeichen die als Condensator aufzufassende Glasbirne und schwingt hierbei durch den Kohlefaden, der dadurch ins Glühen kommt. — Es ist nun eine Eigenschaft des Hochspannungswechselstromes, dass er an der Glaswand, gegenüber dem Kohlefadenende (oder überhaupt gegenüber jeder ihn ausstrahlenden Spitze), grosse Wärmewirkungen erzeugt. Es wird daher die Glasbirne rasch sehr heiss. Dies zu verhindern, wurde bei der Demonstration des Versuches mit Erfolg anstatt der Capacität *F* eine grosse Schale mit Wasser benutzt, in die der ebene Theil der Glasbirne getaucht wurde; noch besser ist der Erfolg, wenn eine zweite daneben stehende Person die Capacität der Wassermasse durch Eintauchen eines Fingers erhöht. Die Wärmewirkung (Brennen) bei kleiner Ein- und Austrittsstelle des Körpers ist die einzige unangenehme Empfindung beim Durchgange des hochgespannten Stromes. Bei der beschränkten Strommenge der 60plattigen Maschine war es freilich nur möglich, den Kohle-



Figur 3.

faden bei k auf etwas mehr als Rothgluth zu erwärmen*). Die Ergiebigkeit der angewandten Maschine scheint zum vollen Gelingen des Versuches nicht auszureichen. Dass die mit obigen Spiralen erhaltenen Wechselströme erhebliche Zündkraft besitzen, zeigte sich, indem ein zwischen die beiden Pole gehaltenes Stück Baumwolle sofort in Brand gerieth.

Eine noch erheblich höhere Spannung des Secundär-Wechselstromes liess sich durch folgende zu einer Reihe weiterer Versuche benutzten Combinationen erhalten. Als Primärspule dienten zwei parallel geschaltete Lagen von je drei dickdrahtigen Windungen auf einer Glasglocke von 26 cm Durchmesser, als Secundärspule die schon benutzte mit 64 einfachen Windungen etwas dünneren Drahtes. Die Spannung des secundären Stromes wurde hierbei so bedeutend, dass die ganze Secundärspule trotz der Guttapercha- und Paraffinumkleidung von Büschellicht wie mit leuchtendem Spinnweben umspunnen erschien, mehr noch die freien Enddrähte. Als die Primärschlagweite auf 1,5 cm erhöht wurde, versagte der Transformator den Dienst, indem auf der ganzen Länge der Paraffinhülle ein Funkenpiel überging**). Holz, über das die Transformatorfunken in der Faserichtung schlugen, wurde gesplittert; über eine benetzte Gypsplatte schlugen bis zu 15 cm lange Funken; zugleich zeigten die Polenden die bekannten Funkenverästelungen. Dass es hierbei trotz der grossen Feuchtigkeit, also Leitfähigkeit der Gypsplatte zu derartigen Funkenentladungen kommt, spricht wieder für den oscillatorischen Charakter der Funken. Der Versuch erklärt sich nämlich durch die Beschränkung der Leitung auf die Oberfläche. Durch Ueberführen über mit Graphitpulver ganz schwach bestäubtes Papier liessen sich Funkenströme von 30 cm Länge erhalten. Auch das Ueberschlagen der hochgespannten Funken unter Wasser wurde gezeigt.

Bekanntlich haben die Experimente mit Hochfrequenz-Wechselströmen auch zu merkwürdigen physiologischen Ergebnissen geführt, welche wohl noch näher zu untersuchen sind. Schon durch die Versuche von D'Arsonval ist bekannt, dass rasch schwingende Ströme auffallenderweise von dem menschlichen Körper beim Durchgange gar nicht (oder bei kleinen Ein- und Austrittsstellen nur an diesen) unangenehm empfunden werden. Vortragender zeigte dies, indem eine kleine Glühlampe mit sehr dünnem, 2 cm langem Kohlefaden in lebhaftes Glühen gerieth, falls sich zwei Personen in den Hochspannungsstromkreis parallel einschalteten. Dies geschah durch Eintauchen der Hände in mit Salzwasser gefüllte Tröge, in die der Strom durch grossplattige Elektroden eintrat; Erschütterungen wurden bei dem Experimente nicht empfunden. Selbst bei Einschaltung nur einer Person ist die physiologische Wirkung kaum merklich. Die Thatsache erscheint vom physikalischen Standpunkte auf den ersten Blick paradox. Man könnte nämlich die Transformation auf hohe Spannung mittelst des Influenzmaschinenstromes auch ohne Inductions-

*) Das Glühen ist von eigenthümlichen Erscheinungen begleitet, die auch Tesla beobachtet hat. Der Kohlefaden ist wie mit einer leuchtenden Gashaut überzogen, aus welcher zuweilen blendende Partikel des Fadens hervorsprühen.

***) Bei dem benutzten Spiralenpaar war das Transformationsverhältniss etwa 1:12 gefunden worden. Die obige maximale Beanspruchung der Secundärspirale entspricht daher etwa 500000 Volt; man sieht, zu welcher enormen Spannungen die Influenzmaschine mit genügend isolirtem Transformator führen würde, wenn das volle Maschinenpotential mit Flaschenfunken von 12 bis 15 cm Schlagweite hätte angewandt werden können.

spiralen ausführen, indem man entsprechend kleinere Condensatoren wählt, diese aber mit entsprechend grösserer Funkenlänge entladet. Man würde hierdurch sogar zu noch rascheren Schwingungen gelangen, sicherlich würden aber die Entladungen schmerzhaft empfunden werden. Der Widerspruch löst sich durch die Erwägung, dass die Transformation durch Inductionsspiralen dem in die Secundärleitung geschalteten Körper die Schwingungen des schwach gedämpften Primärstromes aufzwingt, während für den directen Entladungsprozess und dessen Wirkung die Dämpfung im eingeschalteten Körper entscheidet. Es handelt sich um zwei keineswegs analoge Prozesse.

Von Tesla's sämtlichen Versuchen haben, neben der Erscheinung an der einpoligen Glühlampe, auf das Laienpublikum wohl wenige solchen Eindruck gemacht, als die im Nachfolgenden beschriebenen. Es handelt sich hierbei um das selbständige Leuchten von Geissleröhren im Experimentirraume, welcher von den elektrischen Schwingungen durchheilt wird, die von den ausserhalb des Raumes angebrachten Endplatten der Transformatorleitung ausgehen. Tesla hat diese allerdings überraschenden Erscheinungen als Ausgangspunkt einer zukünftigen Zimmerbeleuchtung ins Auge gefasst; freilich muss der Erfolg erst abgewartet werden*).

Bei Anwendung der Influenzmaschine konnten diese von Tesla im grössten Massstabe ausgeführten Experimente in kleinerer Form wiedergegeben werden. Zwei quadratische, vom Transformator gespeiste Zinkplatten von 60 cm Seitenlänge, getrennt durch 4 Glasstäbe, bildeten ein würfelförmiges, seitlich offenes Gehäuse, welches isolirt aufgestellt war. In ihm stand ein hölzernes Tischchen und auf demselben mehrere Geisslerrohre mit und ohne Elektroden, deren Enden Kupferblechscheiben von 8 cm Durchmesser trugen. Standen die Röhren in dem Gehäuse, d. h. lief ihre Achse normal zu den Zinkflächen, so leuchteten sie beim Spiel der Oscillationen sofort sehr intensiv auf, obgleich sie mit den Zinkplatten in keinerlei Verbindung standen**). Wurden die Geisslerrohre jedoch auf das Tischchen im Gehäuse hingelegt, so erloschen sie sofort, da jetzt ihre Achsen parallel zu den Zinkplatten waren. Umgekehrt genügte ein einfaches Wiederaufstellen der Geissleröhren, um sie so zu sagen wieder anzuzünden. (Zu bemerken ist, dass Tesla zur Erhöhung der Leuchtkraft solcher Rohre dieselben mit allerlei stark phosphorescirender oder fluorescirender Substanzen in Verbindung brachte.) Doch auch ausserhalb des beschriebenen Hauses leuchteten empfindliche Jodröhren bis auf 2 Meter Abstand von demselben, obgleich in diesem Falle bei dem geringen Abstände der Zinkplatten nur die Differenz der Einwirkungen beider wirksam war. (Besonders empfindliche Jodröhren erhält man, falls man als Elektroden zwei lange Platindrähte wählt, die im Geisslerrohre auf 8 bis 10 cm Länge in etwa 1 cm Entfernung parallel nebeneinander laufen.)

*) Gerade diese Versuche bieten für den mit hohen Spannungen vertrauten Physiker wenig Neues. Der Vortragende erzählte z. B., dass elektrodenlose Vacuumröhren in der Nähe seiner i. J. 1870 in Graz aufgestellten Hochspannungs-Influenzmaschine, welche 70 cm lange Funken lieferte (vergl. T. über „Influenzmaschine und Inductorium“, Elektrotechn. Zeitschrift, Oktober 1882), auf mehrere Meter Entfernung stossweise aufleuchteten, wenn sie dem geladenen Conductor rasch genähert wurden. Tesla's Beobachtung, dass Vacuumröhren erst dann leicht ansprechen, wenn sie vorher schon erregt waren, ist bekannt und von E. Wiedemann ausführlich beschrieben worden.

***) Das Leuchten ist so intensiv, dass es bei Tageslicht gezeigt werden kann.

An einer Reihe schöner Geisslerrohre zeigte der Vortragende schliesslich, dass alle Erscheinungen in Crookes'schen Röhren, Kathodenstrahlen, Phosphorescenz, Fluorescenz etc. durch hochgespannte Wechselströme sich brillant zeigen lassen, wobei natürlich stets Kathodenlicht an beiden Polen sichtbar wird.

Zum Schlusse bemerkt der Vortragende, dass man in einer praktischen Frage Tesla's Ansichten wohl beistimmen müsse. Wenn die Technik jemals in die Lage kommen sollte, sehr hoch gespannte und zugleich sehr rasche elektrische Schwingungen in Anwendung zu bringen, so würden hierzu nicht Magneto- oder Dynamomaschinen die zweckmässigen Hilfsmittel sein, sondern man würde mit Vortheil elektrostatische Apparate (nach dem Princip der Influenzmaschine) einführen. Da aber für die Technik der ökonomische Standpunkt, d. h. die Erzielung möglichst hohen Nutzeffectes hinsichtlich der Arbeitsverwandlung massgebend sei, so werde man diese Maschinen voraussichtlich nicht in der gebräuchlichen, allerdings für physikalische Zwecke günstigen Weise mit Isolatoren und Spitzenkämmen construiren, noch weniger werde man letztere in comprimirter Luft arbeiten lassen, sondern man werde zu denjenigen typischen Formen greifen, welche von der Influenz auf gute Leiter Anwendung machen. Die geschichtliche Entwicklung der Influenzmaschine hat solche Formen bereits aufzuweisen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden](#)

Jahr/Year: 1894

Band/Volume: [1894](#)

Autor(en)/Author(s): Töpler August Josef Ignaz

Artikel/Article: [IV. Ueber die mit vielplattigen Influenzmaschinen erzeugten elektrischn Condensatorschwingungen in ihrer Anwendung auf die sogenannten Tesla'schen Versuche 1022-1032](#)