

oberhalb der Sprengkapsel mit der Zündschnur durch einen Bindfaden fest verbunden. Als Besatz wurde der auch bei anderer Zündschnur übliche Lettenbesatz verwendet. Die Zündung geschah wegen der geringeren Brenndauer, wie früher bei dem Schiessen mit Halm, mittelst eines auf die Zündseele geschobenen Stückchens Zunder.

Die Schiessmeister haben die 54 Ringe innerhalb 3 Wochen verbraucht und nicht einen einzigen Versager gehabt.

Wenn man dieses Resultat mit den Versuchsergebnissen bezüglich des Verhaltens der Zündschnur in Schlagwettern zusammenhält, so kann man sagen, wir sind jetzt in der Lage, dem Bergmanne als Sicherheitszünder das wieder in die Hand zu geben, was wir ihm seiner Zeit der Noth gehorchend genommen, die sich durch Einfachheit in der Handhabung vor allen anderen Sicherheitszündmitteln auszeichnende Zündschnur.

---

## Ueber elektrische Entladungen, besonders über solche in verdünnten Gasen \*).

Von Friedrich Herwig.

---

Wenn wir den zwischen 2 Conductoren überschlagenden Funken eines Inductoriums genau betrachten, so gewahren wir sehr bald, dass derselbe aus einer weissen Lichtlinie und einer violetten Lichthülle besteht. Dass wir es hier mit 2 von einander getrennten Erscheinungen zu thun haben, können wir leicht zeigen. Wir brauchen nur gegen die Lichthülle zu blasen, so entfernt sie sich von dem Lichtfaden, und während erstere leicht brennbare Gegenstände — z. B. ein mit Terpentinöl getränktes Stück Papier — schnell entzündet, ist der Lichtfaden dazu nicht im Stande; er schlägt durch das Papier hindurch, wie der Funke einer

---

\*) Die zahlreichen, den Vortrag erläuternden Versuche konnten im Rahmen dieses kurzen Referates nur angedeutet werden.

Leidener Flasche, sehr kleine Löcher mit aufgeworfenen Rändern hinterlassend. Nach der gegenwärtig wohl unbestritten geltenden Ansicht fassen wir den Lichtfaden — den eigentlichen Funken — auf als verursacht dadurch, dass kleine Stäubchen des Elektrodenmaterials ins Glühen gerathen und gewaltsam zur anderen Elektrode fortgeschleudert werden. Eine Bestätigung der Richtigkeit dieser Ansicht gibt der bekannte Versuch, dass man die Funken zwischen Conductoren von verschiedenen Metallen überspringen lässt und sich nachher überzeugt, dass der eine Conductor sich thatsächlich mit einer Schicht des Metalles des anderen überzogen hat. Der eigentliche Funken stellt sich demnach dar als ein von einer Glüherscheinung begleiteter Schleudervorgang, verursacht durch Entladung hoch gespannter Elektricität. Durch den Funken wird nun die zwischen den Elektroden befindliche Luftschicht theils mechanisch zur Seite geschleudert, theils durch Erwärmen verdünnt, der Isolationswiderstand also vermindert, so dass nunmehr auch Elektricität von geringerer Spannung ausströmen kann. Dieser sich in ruhiger Weise abspielende Vorgang wird dann die Lichthülle oder Aureole erzeugen. Wir haben es also mit 2 alternirenden Erscheinungen zu thun, bei welchen die Vorbedingungen der zweiten erst durch die erste geschaffen werden, und die wir nur deshalb neben einander sehen, weil unser Auge derart schnell aufeinanderfolgende Lichteindrücke nicht getrennt wahrzunehmen vermag. Während nun über die Deutung des Lichtfadens Einheitlichkeit herrscht, ist dies in Betreff der Aureole nicht der Fall. Auch heutzutage herrscht noch Streit darüber, ob wir dieselbe lediglich als durch Aetherschwingungen hervorgebracht ansehen dürfen, oder ob hier ebenfalls convectorische Vorgänge mitspielen.

Die Vorbedingung für die Erscheinung einer Glimmentladung, als welche wir die Aureole auffassen müssen, den luftverdünnten Raum, können wir uns auch mittelst der Luftpumpe herstellen, wenn wir die Entladungen in geschlossenen Gefäßen vor sich gehen lassen. Plücker in Bonn war der erste, der solche Gefäße mit verdünnter Luft herstellen liess, ihren Namen tragen dieselben be-

kanntermaassen jedoch nach dem Bonner Glastechniker Geissler, der sie allerdings zu grosser Berühmtheit brachte. Er gab ihnen alle erdenklichen Formen, schaltete fluorescirende Gläser und Substanzen ein und dergl. mehr. Solche Röhren zeigen meist ganz herrliche Farbenercheinungen; leider pflegen aber auch die brillanten Lichteffecte leicht von der Beobachtung des wesentlichen der Erscheinungen abzulenken. Eine einfache, cylindrische, nicht zu enge, etwa auf den 400sten Theil evacuirte Röhre zeigt uns die Entladung im luftverdünnten Raum am besten: das von der Anode ausgehende, geschichtete, röthliche, zitternde Licht, und das ruhige, violette, die Kathode umgebende Glimmlicht. Evacuirt man etwas stärker, so sieht man, wie das rothe positive Licht zurücktritt, während das negative an Umfang zunimmt. Man kann dann gleichzeitig in letzterem mehrere Partien von verschiedener Helligkeit beobachten und bemerkt hauptsächlich, dass die Kathode zunächst von einer dunkleren Schicht umgeben ist.

Welch' hohen Einfluss der Grad der Luftverdünnung auf die ganze Erscheinung ausübt, zeigte zuerst Professor Hittorf in Münster, der bereits im Jahre 1869 in zwei in Poggendorf's Annalen erschienenen Aufsätzen die Resultate seiner Forschungen niederlegte. Hittorf stellte schon damals Luftverdünnungen her bis auf den millionsten Theil einer Atmosphäre und benutzte auch nebenbei bemerkt als Elektrizitätsquelle nicht ein Inductorium, sondern eine primäre Batterie von vielen Tausend Elementen. Leider haben die Versuche Hittorf's damals nicht diejenige Beachtung gefunden, die sie wohl verdient hätten. 10 Jahre später, also im Jahre 1879, führte der durch seine Versuche mit dem Radiometer bekannte Engländer Crookes einer wissenschaftlichen Versammlung in Sheffield eine Reihe von Versuchen vor, die ohne Frage auf den Hittorf'schen fussten, ohne jedoch Hittorf's auch nur im geringsten Erwähnung zu thun; dabei knüpfte er an diese Versuche seine bekannte Theorie von einem vierten Aggregatzustand, der strahlenden Materie, an. Wie es so oft geht, was die subtilen, gewissenhaften und gründlichen Arbeiten des deutschen

Gelehrten nicht vermocht hatten, das bewirkten die theilweise doch recht oberflächlichen und unwissenschaftlichen, aber kühnen Deductionen des Engländers. Die neue Theorie machte grosses Aufsehen. Glaubte man doch damit dem allen vorschwebenden Problem der Erklärung der Elektrizität als eines besonderen Bewegungszustandes nahe gekommen zu sein und andererseits in der Theorie von der strahlenden Materie eine Bestätigung der modernen Gastheorie zu finden. Von all' den grossen Hoffnungen hat sich freilich nichts erfüllt. Die Crookes'sche Theorie nebst den dazu gehörigen Versuchen ist veröffentlicht in den Philosoph. Transact., eine deutsche Uebersetzung von Dr. H. Gretschel ist als besonderes Heft bei Quandt & Händel in Leipzig erschienen. Crookes legte besonderes Gewicht auf den die Kathode umgebenden dunkleren Raum, den er allerdings fälschlicher Weise als ganz lichtlos bezeichnete. Er zeigte wie bei zunehmender Luftverdünnung das rothe, positive Licht immer mehr zurücktritt, während das negative und namentlich der in demselben befindliche dunklere Raum an Umfang zunimmt, so dass bei Luftverdünnungen von dem millionsten Theil einer Atmosphäre weder das blaue Glimmlicht noch das rothe vibrirende Licht erscheint, sondern lediglich die sich durch Fluoreszenzen bemerkbar machenden dunklen Strahlen, die heutzutage allgemein als Kathodenstrahlen bezeichnet werden. Crookes demonstirte, wie diese im allgemeinen den Lichtgesetzen folgen, wie sie sich gradlinig fortpflanzen, wie sie reflectirt, gebrochen werden, dass sie aber auch in wesentlichen Punkten sich von den Lichtstrahlen unterscheiden, indem sie einerseits durch einen Magneten abgelenkt werden und andererseits sich direct — wie Crookes annimmt durch den mechanischen Stoss — in Bewegung umsetzen können.

Nun ist Crookes der Ansicht, dass bei den hochgradigen Verdünnungen von einem Millionstel der Atmosphäre und mehr das in der Röhre eingeschlossene Gas sich in so wesentlichen Punkten von dem gewöhnlichen, elastisch gasförmigen unterscheidet, dass er berechtigt sei, den Zustand als einen vierten Aggregatzustand zu bezeichnen.

Der Ausdruck „strahlende Materie“ stammt von Faraday, der ohne sich irgendwie auf Erscheinungen zu stützen, lediglich in speculativer Weise auf die Existenz eines vierten Aggregatzustandes gekommen war, der eben so weit über dem elastisch gasförmigen liege, wie dieser selbst über dem elastisch flüssigen. Faraday reflectirt ungefähr folgendermaassen: Bei jeder Aggregatzustandsänderung verringern sich die physicalischen Eigenschaften der Körper an Zahl und Mannigfaltigkeit. Werden feste Körper in flüssige verwandelt, so gehen nothwendiger Weise alle Verschiedenheiten der Härte verloren, krystallische und andere Formen werden zerstört. Beim Uebergang in den gasförmigen Zustand verringern sich die Verschiedenheiten des Gewichts; Durchsichtigkeit wird eine allgemeine Eigenschaft und alle Gase sind elastisch. Faraday hält es nun für unwahrscheinlich, dass diese Umwandlungen und die allmähliche Abnahme der speciellen Eigenschaften der Materie mit dem gasförmigen Zustand ein Ende habe. Er glaubt vielmehr, dass die Reihe der Umwandlungen erst zu Ende sei, wenn alle Verschiedenheiten der Stoffe verschwunden seien. Dass die Arbeiten Faraday's in diesem Punkte über das Stadium müssiger Speculation hinweggekommen seien, darüber fehlt uns jede Nachricht. Auf diese Idee Faraday's zurückgreifend nannte Crookes auch seinen neuen Aggregatzustand „strahlende Materie“. Die Strecke, die ein Gasmolekül durchschnittlich durchlaufen kann, ohne auf ein anderes aufzustossen, nennt er die mittlere freie Weglänge. Diese mittlere freie Weglänge ist der Anzahl der in einem Gefässe vorhandenen Moleküle umgekehrt proportional. Bei den vorliegenden Graden der Verdünnung ist nun nach Crookes Ansicht der mittlere freie Weg so gross geworden, dass wir es nicht mehr mit einem continuirlichen Theil der Materie zu thun hätten, sondern die Moleküle als individuell frei im Gefäss schwebend ansehen müssten. Damit sei aber eine wesentliche Eigenschaft des früheren Aggregatzustandes verloren gegangen die Elasticität.

Die Entladungserscheinungen erklärt er dann in der Weise, dass von der Kathode fortwährend elektrisch ge-

ladene Gastheilchen fortgeschleudert werden; diese Gastheilchen drängen die nicht geladenen Moleküle bis auf eine gewisse Distanz zurück. Eine Lichterscheinung kommt erst dadurch zu Stande, dass die geladenen Theilchen nach Durchlaufen des freien Wegs, auf die ihnen gegenüberstehende Wand ungeladener Theilchen aufschlagen; daher der dunkle Raum, welcher die Kathode umgibt. Mit der Evacuierung der Röhre nimmt dieser dunkle Raum zu und wird schliesslich grösser als das ganze Gefäss. Die Theilchen treffen bereits vor Zurücklegung der mittleren freien Weglänge auf die Wände des Gefässes auf und rufen hier Fluorescenzerscheinungen hervor, während das Gefäss selbst dunkel bleibt. Auch alle übrigen Erscheinungen erklärt Crookes einfach durch den mechanischen Stoss der auftreffenden Theilchen, wie er sich selbst so gern ausdrückt: durch das Bombardement der Moleküle.

Es ist eine eigenthümliche Erscheinung, dass es gerade Ausländer und insbesondere englische Gelehrten sind, die immer wieder Emissionstheorien an Stelle der von deutschen Gelehrten zur Geltung gebrachten Schwingungstheorien zu setzen versuchen. Ich will gern glauben, dass es der gewaltige Respect ist, den die Engländer vor ihrem grossen Landsmann Newton haben, der sie immer und immer wieder auf dessen Ideen zurückkommen lässt; und doch ist der 200jährige Streit zwischen Newton und Huyghens durch die Macht der Thatsachen ein für alle Mal zu Ungunsten Newton's entschieden. Auch die Crookes'sche Theorie hat vor der Kritik deutscher Forscher nicht Stand halten können. Die mittlere freie Weglänge derselben stimmt keineswegs mit der nach der kinetischen Gastheorie berechneten und eine Reihe seiner Versuche ist ihm als falsch aufgefasst nachgewiesen worden. Allein wenn auch die Theorie der strahlenden Materie als erledigt angesehen werden kann, so bleibt doch die Frage bestehen, ob wir es hier überhaupt mit convecturischen Vorgängen zu thun haben. Die Thatsache, dass man eine Reihe der Erscheinungen auch ohne den elektrischen Strom lediglich durch Erwärmen der Kathode erzeugen kann, haben manche Forscher, insbesondere Puluj in Prag, zu der An-

sicht geführt, dass diese Erscheinungen eine Folge der durch die Erwärmung verursachten Verdampfung des Kathodenmetalles seien; und in der That lässt sich in dem stark verdünnten Gas auf solche Weise eine lebhafte Strahlung erklären. In neuerer Zeit jedoch sind eine Reihe von Forschern, insbesondere E. Wiedemann in Erlangen für die Auffassung eingetreten, dass wenn bei den Entladungen in stark luftverdünnten Räumen überhaupt convectorische Vorgänge in Frage kommen, diese nur von untergeordneter Bedeutung sein können, während wir in Wirklichkeit die Erscheinungen der Hauptsache nach als eine Folge von Aetherschwingungen zu betrachten hätten.

Seit der unvergessliche, leider uns allzufrüh entrissene Hermann Hertz den Nachweis geliefert hat, dass man durch schnelle elektrische Entladungen Oscillationen hervorrufen kann, die sich durch die Luft und durch Drähte als Wellen fortpflanzen und hierbei vollständig den uns beim Licht, Schall und Wärme bekannten Gesetzen folgen, seitdem auf solche Weise die Maxwell'sche Theorie, die das Licht lediglich als eine Folge elektrischer und magnetischer Kräfte auffasst, wenn auch keinen absoluten Beweis, so doch eine gewichtige, experimentelle Stütze bekommen hat, wandte man auch den Beziehungen zwischen Licht, Magnetismus und Elektrizität eine erhöhte Aufmerksamkeit zu. Schon Hertz (Wied. Ann. 31, 983) fand, dass wenn man die kugelförmigen Conductoren eines Funkenziehers so weit auseinanderzog, bis eben keine Funken mehr übersprangen, diese sofort wieder einsetzen, sobald man die Conductoren beleuchtete. Es stellte sich bald heraus, dass es nur auf eine Belichtung der Kathode ankam und dass lediglich kurzwellige Strahlen sich als wirksam erwiesen. Man benutzt deshalb zu dem Versuche am besten elektrisches Bogenlicht, Magnesiumlicht oder auch das an ultravioletten Strahlen so reiche Licht des elektrischen Funkens; ja das winzige Fünkchen eines kleinen Inductoriums wirkt stärker als ein mächtiges Bogenlicht. Bestätigt und erweitert wurden diese Versuche durch E. Wiedemann und Ebert (Wied. Ann. 33, 241), und von Hallwachs (W. A. 33, 301) auch auf statische Ladungen ausge-

dehnt. Ganz besonderes Verdienst auf diesem Gebiete haben sich jedoch die beiden Wolfenbütteler Gelehrten Elster und Geitel erworben durch eine Reihe höchst interessanter Versuche über die Einwirkung des Lichts auf statische Elektrizität, indem es ihnen gelang, ausserordentlich lichtempfindliche Substanzen zu finden, bei denen die Versuche auch mit weniger starken Lichtquellen gelingen (Wied. Ann. 40, 41, 43).

Sie fanden dabei, dass das Licht negativ geladene Conductoren entladet, während es auf positive ohne Wirkung bleibt. Dabei ist einmal die Qualität und Quantität der Lichtquelle von Einfluss; das ist nicht wunderbar, merkwürdig dagegen, dass auch der Stoff, aus dem der Conductor besteht, eine bedeutsame Rolle spielt. Die Empfindlichkeit der Leiter ist ausserordentlich verschieden; Zink ist bereits ein lichtempfindliches Metall, noch stärkere Wirkungen sind dagegen wahrnehmbar bei Kalium und Natrium sowie bei deren Amalgamen. Das Quecksilber ist bei den letzteren ohne Wirkung, die Amalgame verdienen jedoch vor den Metallen selbst den Vorzug, weil es leichter ist, ihre Oberfläche metallisch blank zu erhalten. Verbindet man den negativen Pol einer Elektrizitätsquelle — etwa einer Zambonischen Säule, wie Elster und Geitel es thaten — einerseits mit einem in einer lichtdichten Kapsel eingeschlossenen Natriumconductor — einer Natriumzelle —, andererseits mit einem Blättchenelektroskop, so werden die divergirenden Blättchen zusammengehen, sobald man den Verschluss der Kapsel öffnet und Licht auf den Natriumconductor fallen lässt. Eine vorgeschobene blaue Glasplatte ändert die Wirkung nicht wesentlich, während bei einer rothen die Blättchen sofort wieder auseinandergehen. Die entladende Wirkung kommt demnach auch hier vorzugsweise den kurzwelligen Strahlen zu; dabei ist es bei der hohen Empfindlichkeit des Natriums für diesen Versuch keineswegs nothwendig, eine an ultravioletten Strahlen besonders reiche Lichtquelle zu wählen, es genügt sogar schon zum Gelingen das Licht einer Petroleumflamme.

Auch die Einwirkung des Lichts auf die Entladung im luftverdünnten Raume zeigten Elster und Geitel in sehr

schöner Weise (W. A. 46. 52. 55). Die Kathode einer Crookes'schen Röhre, die soweit evacuirt ist, dass auch bei einem kleinen Inductor von 2 mm Funkenweite — ein grösserer lässt sich nicht benutzen, weil durch das starke Verdampfen des Natriumamalgams die Glaswände beschlagen werden und das Gefäss zerstört wird — die Kathodenstrahlen erscheinen, wird umspült von flüssigem Natriumamalgam. Die beiden Electroden sind nun ausser mit dem Inductorium noch mit einer Funkenstrecke verbunden, so dass bei gehöriger Annäherung der Spitze an die Platte der Strom den Weg hierdurch wählt und ein winziges Fünkchen erscheint. Man kann nun die Funkenstrecke so empfindlich einstellen, dass bei einer Belichtung der Kathode auch durch eine nicht so übermässig starke Lichtquelle das Fünkchen verschwindet, zum Zeichen, dass die Belichtung den Austritt der Elektrizität aus der Kathode erleichtert und damit den Widerstand in der Röhre vermindert. Das Auftreten der Kathodenstrahlen in der Röhre ist der Belichtung wegen nicht wahrzunehmen, und da das winzige Fünkchen auf weitere Strecken ebenfalls schwer zu sehen ist, so eignet sich der Versuch leider nicht besonders zur Vorführung vor einem grossen Auditorium. Am besten geht es noch, wenn man zur Belichtung Bogenlicht nimmt, welches man durch tiefdunkelblaue Gläser hindurchgehen lässt, da neben diesem das hellgrüne Fluorescenzlicht ziemlich weit sichtbar ist.

Die umgekehrte Wirkung wie das Licht übt nun der Magnetismus aus. Stelle ich die Röhre im Felde eines kräftigen Elektromagneten auf, so dass bei ungeschlossenem Strom eben noch das Fluorescenzlicht und kein Fünkchen sichtbar ist, und schicke ich nun den Strom durch den Elektromagneten, so verschwindet das Licht in der Röhre sofort, während das Fünkchen erscheint. Der Magnetismus hat somit den Uebergangswiderstand in der Röhre vergrössert. Die Wirkung der Magneten ist beeinflusst durch die Stellung der Pole. Sie ist am grössten, wenn die beiden Pole in der Ebene der Amalgamoberfläche stehen, am geringsten, wenn die beiden Pole senkrecht zu dieser Ebene stehen. Der Strom findet also den grössten Widerstand,

wenn er senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien verläuft. Besonders interessant — und meines Wissens noch nirgendwo beschrieben — ist es, dass man hier genau beobachten kann, wie je nach der Stellung der Pole ein geringerer oder grösserer Theil der Röhre das Fluorescenzlicht zeigt, wobei die Grenze zwischen dem hellen und dunklen Theil der Röhre eine verhältnissmässig scharfe ist.

Die hier in Frage kommende Wirkung des Magneten will mir wie eine Parallele zur Dämpfung erscheinen, denn auch hier ist der Magnetismus im Stande, Oscillationen zu vernichten. Dass in der That der oscillatorische Charakter der Entladung einen wesentlichen Antheil an der Ausbildung der in Entladungsröhren zu beobachtenden Erscheinungen haben muss, daran konnte nach den eingehenden Untersuchungen, die insbesondere die schon mehrfach erwähnten Gelehrten Ebert und E. Wiedemann (W. A. 48, 549. 49, 1 und 32) angestellt haben, kaum ein Zweifel noch obwalten. Dieselben dehnten aber ihre Untersuchung noch weiter aus, wie sie selbst sagen, um eine Probe auf ihre Anschauung — sie fassen, wie bereits oben erwähnt, die Entladungserscheinungen in der Hauptsache als eine Folge von Aetherschwingung auf — dadurch zu machen, dass sie ein verdünntes Gas solchen elektrischen Oscillationen direct aussetzten. Sie benutzten dazu die Hertz'sche Resonanzwellen in Verbindung mit einer Lecher'schen Leitercombination. Die elektrodenlosen, das verdünnte Gas einschliessenden Gefässe wurden einfach in dem elektrischen Felde des Endcondensators des Leitersystems aufgestellt. Auf diese Weise war das Spannungsgefälle, welches sich durch das Gas hindurch ausglich, von vornherein ein für allemal fest bestimmt und wurde nicht von der Natur des Gases und dem Gasdrucke abhängig gemacht, wie es bei einer Versuchsanordnung der Fall ist, wo Elektroden bis zu solchen Potenzialen geladen werden, dass ein Durchbrechen des Gases eintritt. Bei Auflegen von nur einer Brücke auf die Lecher'schen Drähte an geeigneter Stelle (Ueberbrückung des Hauptknotens) werden zwei vollkommen aufeinander resonirende Leiterkreise und maximale

Potentialschwankungen an den Platten des Endcondensators erhalten. Man erhält dann infolge der sehr geringen Dämpfung eine grosse Anzahl wechselnder Ladungen von nahezu derselben Stärke und ist im Stande, durch derartige in Perioden von 1 hundert-millionstel Secunde wechselnde Feldspannungen die Gase zum Leuchten anzuregen.

Waren die genannten deutschen Gelehrten von rein theoretischen Gesichtspunkten aus an die Prüfung der Frage herangetreten, so wurde fast gleichzeitig der Amerikaner Tesla aus praktischen Gründen auf dieselbe Bahn geführt. Er, der Praktiker, suchte nach dem Lichte der Zukunft (Experimente mit Strömen hoher Wechselzahl und Frequenz, zusammengestellt von Etienne de Fodor, rev. und mit Anm. versehen v. Nicolas Tesla, Wien, Pest, Leipzig. A. Hartlebens Verlag 1897).

Er sagt: Nachdem wir wissen, dass elektromagnetische Wellen ebenso Aetherwellen sind wie die Lichtwellen, dass ferner Licht eine elektrische Vibration ist, so drängt sich uns die Frage auf: Warum sollen wir das Licht der Zukunft nicht ohne Zuhilfenahme der Wärme dadurch erreichen können, dass wir elektromagnetische Wellen direct in Lichtwellen verwandeln; denn unsere gewöhnliche Glühlampe giebt kaum 5% Nutzeffect von der von dem Kohlenfaden ausgestrahlten Energie, während der Rest als Wärme verloren geht. Der Nutzeffect kann erst dann in besonderem Maasse erhöht werden, wenn wir es zu Wege gebracht haben, die Wärme gebenden, langen Wellenlängen zu unterdrücken und die Gesamtvibration unserer Lichtquelle zu jener Kürze der Welle herabzumindern, für welche unser Sehorgan empfindlich ist.

Auch Tesla dachte zunächst daran, Hertz'sche Resonanzwellen zu benutzen. Man kann auf solche Weise Vibrationen herstellen, die nur den tausendmillionsten Theil einer Sekunde dauern, die also Wellenlängen von 30 cm besitzen. Solche Wellen sind aber immer noch 600 000 mal grösser als mittlere Lichtwellen, die 400—800 Billionen Schwingungen in der Sekunde ausführen. Er schlug deshalb einen anderen Weg ein. In den beiden Metallbekleidungen einer Leydener Flasche ist Energie aufgespeichert,

welche sich in elektrische Ströme umsetzt, sobald die Flasche entladen wird. Diese Ströme werden Wechselströme sein, also Oscillationen darstellen, sobald der Ausladedraht nicht allzulang und sein Widerstand nicht allzugross ist. Die in dem Draht erzeugte Wärme bietet keine genügende Verausgabung der in der Flasche aufgespeicherten Energie. Die Elektrizität wird deshalb von einem Beleg auf das andere überströmen. Dass in der That der einzelne Funke einer Leydener Flasche nicht eine einmalige Entladung vorstellt, sondern dass er selbst wieder aus einer grossen Reihe von Partialentladungen besteht, ist auf vielfache Weise, zuerst wohl und am eclatantesten durch den Dänen Feddersen gezeigt worden. Er zog durch einen rotirenden Spiegel das Funkenbild in die Länge, so dass die einzelnen auf- und abschwellenden Theile desselben deutlich erkennbar waren. Bedenkt man also, dass die ganze Funkenentladung einer Leydener Flasche noch nicht den 25 millionsten Theil einer Sekunde für sich beansprucht und dass dieselbe wieder in eine grosse Reihe von Oscillationen zerfällt, so wird die Dauer der einzelnen Schwingung eine enorm geringe sein.

Tesla verbindet also die Entladungsdrähte eines Inductoriums mit den beiden Belägen einer Leydener Flasche und lässt sich dieselbe durch eine Funkenstrecke entladen. Nun wird durch die Entladung die Energie in diesem Stromkreise vernichtet; man schaltet deshalb in denselben hinein die primäre Spule eines zweiten Inductors oder — wie man auch sagt — eines Transformators. Da diese primäre Spule nur aus sehr wenig Windungen dicken Drahtes, die sekundäre dagegen aus vielen Windungen eines besonders dünnen besteht, so besitzen die in dieser letzteren auftretenden oscillirenden Inductionsströme eine hohe Spannung, so hoch, dass man dieselbe in Volts kaum noch ausdrücken kann. Zur besseren Isolirung versenkt Tesla diesen Transformator vollständig in einem Oelbade. Heutzutage sind aber von anderer Seite (z. B. dem Mechaniker Müller-Unkel in Braunschweig) ebenso gut functionirende Transformatoren ohne Oelisolation konstruirt.

Wenn auch Tesla von der Verwirklichung seiner Idee, auf solche Weise eine neue praktische und vor-

theilhafte Lichtquelle zu finden, ziemlich weit entfernt geblieben ist, so hat er doch namentlich in dem grossen Maassstabe, in dem er seine Versuche ausführte, ganz überraschende Resultate erzielt. Durch Drähte, die er durch einen Saal spannte, gelang es ihm, denselben derart mit elektrischen Oscillationen zu füllen, dass eine Geissler'sche Röhre — ob ohne oder mit Elektroden ist gleichgültig — leuchtete, man mochte sie hinhalten, wohin man wollte. Auch Glühlampen, deren Stromkreis durch einen kurzen Kupferdraht geschlossen war, brachte er lediglich durch Annäherung an einen von Oscillationen durchflossenen spiraligen Stromleiter zum Leuchten. Wir können heutzutage die Tesla'schen Versuche, allerdings nur in kleinem Maassstabe, mit verhältnissmässig beschränkten Mitteln ausführen, es genügt bereits ein Inductorium von 5—6 cm Schlagweite. Jedenfalls ergibt sich aus ihnen wie aus den von Wiedemann und Ebert ausgeführten, dass convectorische Vorgänge bei den Entladungen in luftverdünnten Räumen eine entscheidende Rolle nicht spielen können. Hier kann weder von elektrisch-geladenen Lufttheilchen, die von der Kathode fortgeschleudert in den strahlenden Zustand gerathen, noch gar von strahlender Elektrodenmaterie die Rede sein.

Auch eine andere Erscheinung weist ganz entschieden auf den oscillatorischen Charakter der ganzen Entladungserscheinung hin. Wenn man in den Schliessungsdraht der Leydener Flasche einen dicken Kupferbügel von sehr geringem Widerstand und zwischen diesen eine Glühlampe von erheblich höherem Widerstand, stellt, so leuchtet trotz des Kurzschlusses die Lampe. Diese Erscheinung, mit dem Namen „Impedanz oder Oberflächenwiderstand“ bezeichnet, wird dadurch erklärt, dass die so ausserordentlich schnellen Schwingungen nicht im Stande sind, in das Innere des Kupferbügels einzudringen.

Damit hängt eng zusammen die merkwürdige Thatsache, dass entgegen unseren sonstigen Erfahrungen die Teslaströme trotz ihrer so enorm hohen Spannung eine nur geringe physiologische Wirkung ausüben. Während ein mässiger Inductor schon sehr empfindliche Schläge er-

theilt, ein solcher von mittlerer Grösse ohne Gefahr für Leben und Gesundheit schon nicht mehr berührt werden darf, können wir die von dem Oeltransformator ausgehenden Stromleitungen ganz getrost anfassen. Das können wir nur der enorm hohen Frequenz zuschreiben, unser Körper ist eben einerseits nicht fähig diese, so fabelhaft schnellen Vibrationen aufzunehmen und andererseits sind diese letzteren auch nicht mehr im Stande, auf unseren Gefühlssinn zu wirken. Das ist so wunderbar nicht. Gerade wie unser Ohr die Vibrationen der Luft nicht mehr vernehmen kann, wenn die Schwingungszahl eine gewisse Grenze übersteigt, wie es dem Auge mit den Lichtschwingungen ergeht, wenn sie über eine gewisse Zahl hinausgehen, so ist auch unser Gefühl für elektrische Schwingungen unempfindlich, wenn dieselben zu rasch erfolgen.

Nun giebt es allerdings eine Erscheinung, die der Auffassung der gesammten Entladungserscheinungen in verdünnten Gasen als eine Folge von Aetherschwingungen widerspricht; das ist die Nicht-Leitungsfähigkeit des Vacuums. Ueber diese Frage ist viel hin und her gestritten worden, dieselbe muss aber trotzdem heutzutage als eine offene betrachtet werden. Thatsache ist, dass, wenn ein gewisser Grad der Evacuirung überschritten wird, bei allmähliger Annäherung an das absolute Vacuum die Leitungsfähigkeit nicht grösser, sondern geringer wird. Und wenn auch Tesla meint, dass wir im Stande sind, jedes für uns erreichbare Vacuum durch genügend starke Ströme zu überwinden, so ist damit doch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass wenn wir das absolute Vacuum wirklich erreichen könnten, kein auch noch so starker Strom dies überspringen würde. Nun hat aber bereits Hittorf aufmerksam gemacht auf einen merkwürdigen, an der Kathode auftretenden Leitungswiderstand. Derselbe ist von Goldstein, Wiedemann u. a. näher untersucht worden; dabei ist festgestellt worden, dass derselbe sich mit wachsendem Vacuum vergrössert. Es würde also dieser, im Uebrigen noch nicht aufgeklärte Kathodenwiderstand der Grund sein, der die Entladungen in dem sonst gut leitenden Vacuum verhindert. Die Einwirkung des Lichtes käme dann darauf

hinaus, diesen Widerstand herabzumindern, die des Magneten, ihn zu verstärken.

Das kann man behaupten, dass weitaus die grosse Mehrzahl der Gelehrten von Bedeutung heutzutage darin einig ist, die behandelten Erscheinungen, besonders auch die der Kathodenstrahlen als Aethervibrationen aufzufassen. Ueber den Platz, der ihnen aber unter diesen anzuweisen ist, gehen die Meinungen sehr auseinander. Im allgemeinen herrscht wohl die Ansicht vor, dass wir es mit Strahlen zu thun haben, die dem stärker brechbaren Theile des Spectrums angehören, deren Wellenlänge freilich noch wesentlich geringer ist als die der uns bis jetzt bekannten äussersten ultravioletten Strahlen, und die auch theilweise anderen Gesetzen folgen müssen als diese. Jaumann (W. A. 57, 147) ist dabei der Ansicht, dass wir es überhaupt nicht mehr mit transversalen, sondern mit longitudinalen Lichtschwingungen zu thun haben.

Erhöhte Bedeutung haben alle diese Untersuchungen wieder gewonnen durch die grossartigen Entdeckungen der neueren Zeit. Ohne Frage sind die Erscheinungen viel complicirter als man es sich bis dahin vorgestellt. Wir haben es schon in einer Geissler'schen Röhre gar nicht mit einer einfachen Strahlengattung zu thun, sondern mit verschiedenen Arten. Goldstein fand (W. A. 51, 622), dass der sog. dunkle Raum bei einer Entladung in einer weniger evacuirten Röhre erfüllt sei von Strahlen, die an der Grenze der hellen Glimmlichtschicht keineswegs ihr Ende erreichten, sondern diese hellere Strahlenparthie gradlinig durchsetzten; wir hätten es also schon hier mindestens mit 2 verschiedenen Strahlengattungen zu thun, den dunkleren sich gradlinig ausbreitenden und den violetten diffus verlaufenden Glimmstrahlen. Lenard zeigte (W. A. 51, 225), dass die Kathodenstrahlen in beschränktem Maasse die Fähigkeit besitzten, undurchsichtige Gegenstände zu durchdringen, wobei sie anscheinend aus gradlinig verlaufenden zu diffusiven wurden. Auch war es ihm bereits bekannt, dass diese Strahlen die Fähigkeit besitzen, auf lichtempfindliche Platten chemisch einzuwirken. Dann kam die staunenerregende Entdeckung Röntgens. Es thut

meiner Ansicht nach dem Verdienste Röntgens keinen Abbruch, wenn man es ausspricht, dass ohne Frage Lenard bereits mit X-Strahlen operirt hat, denn Röntgen hat einerseits ihre Verschiedenheit von den Kathodenstrahlen und andererseits ihre hohe praktische Bedeutung erkannt. Nach vielfachen Untersuchungen (bes. Z o t h W. A. 59, 344) müssen wir annehmen, dass der Ausgangspunkt der X-Strahlen dort ist, wo die Kathodenstrahlen auf eine feste Wand auftreffen. Die Thatsache, dass in anderen nicht fluorescirenden Stoffen mehr X-Strahlen entstehen als im Glas, hat zur Construction der neueren sog. Focusröhren geführt mit Platinantikathode. Die Wellenlänge der Röntgenstrahlen ist bestimmt von F o m m (W. A. 59, 350).

$$\lambda = \frac{2 \pi}{11} \cdot \frac{400}{40000} \cdot 0,05^2 = 0,000014 \text{ mm.}$$

Danach würde dieselbe ungefähr 15 mal kleiner sein als die bisher untersuchte kleinste Wellenlänge im Ultraviolett.

Beim Auftreffen auf Flussspath rufen die Röntgenstrahlen eine neue Strahlenart hervor, die von ihren Entdeckern Winkelmann und Straubel (W. A. 59, 324) Flussspathstrahlen genannt worden und die im Stande sind, die chemische Wirksamkeit der Röntgenstrahlen bedeutend zu erhöhen.

Ich möchte zum Schluss noch aufmerksam machen auf eine weitere hierhergehörige Strahlengattung, die von E. Wiedemann und Schmidt, um ihre Natur noch ganz unbestimmt zu lassen, nach ihrem Ursprung als „Entladungsstrahlen“ bezeichnet worden sind, Strahlen, die ebenfalls im Gefolge der Kathodenstrahlen auftreten und die Fähigkeit besitzen, Luminiscenz hervorzurufen d. h. Lichterscheinungen, die intensiver sind, als es der Temperatur des Körpers entspricht (E. Wiedemann 40, 488, E. Wiedemann und G. Schmidt 54, 604, ebendieselben W. A. 56, 18 u. 201, ferner Willibald Hoffmann, Inauguraldissertation).

Es ergibt sich daraus, dass die gesammten Entladungserscheinungen ausserordentlich mannigfach sind und dass wir in der nächsten Zeit noch vielfache, vielleicht überraschende Aufschlüsse erwarten dürfen.

St. Johann-Saarbrücken i. Juni 1897.

Zum 54. Jahrgang der Verhandlungen des naturhistorischen Vereins 1897.

### Druckfehler.

---

Seite	40	Zeile	14	von oben	statt Hermann	lies	Heinrich.
"	176	"	8	von unten	"	MO	" MnO.
"	176	"	7	"	"	CO <sub>n</sub>	" CaO.

---

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande](#)

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: [54](#)

Autor(en)/Author(s): Herwig Friedrich

Artikel/Article: [Ueber elektrische Entladungen, besonders über solche in verdünnten Gasen 34-49](#)

