

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Gesammelte Werke

Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft

Hertz, Heinrich

Vaduz/Liechtenstein, 1984

11. Ueber Strahlen elektrischer Kraft

[urn:nbn:de:bsz:31-269600](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-269600)

11. Ueber Strahlen elektrischer Kraft.

(Sitzungsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. v. 13. Dec. 1888. Wiedemanns Ann. 36, p. 769.)

Unmittelbar nachdem es mir geglückt war zu erweisen, dass sich die Wirkung einer elektrischen Schwingung als Welle in den Raum ausbreitet, habe ich Versuche angestellt, diese Wirkung dadurch zusammenzuhalten und auf grössere Entfernungen bemerkbar zu machen, dass ich den erregenden Leiter in die Brennpunktlinie eines grösseren parabolischen Hohlspiegels aufstellte. Diese Versuche führten nicht zum Ziel, und ich konnte mir auch klar machen, dass der Misserfolg nothwendig bedingt war durch das Missverhältniss, welches zwischen der Länge der benutzten Wellen, 4—5 m, und den Dimensionen bestand, welche ich dem Hohlspiegel im besten Falle zu geben im Stande war. Neuerdings habe ich nun bemerkt, dass sich die von mir beschriebenen Versuche noch ganz wohl mit Schwingungen anstellen lassen, welche mehr als zehnmal schneller, und mit Wellen, welche mehr als zehnmal kürzer sind, als die zuerst aufgefundenen. Ich bin deshalb auf die Benutzung von Hohlspiegeln zurückgekommen und habe nunmehr besseren Erfolg gehabt, als ich zu hoffen wagte. Es gelang mir, deutliche Strahlen elektrischer Kraft zu erzeugen und mit denselben die elementaren Versuche anzustellen, welche man mit dem Lichte und der strahlenden Wärme auszuführen gewohnt ist. Ueber diese Versuche soll in Folgendem berichtet werden.

Die Apparate.

Die Methode, nach welcher kurze Wellen erregt werden, ist die gleiche, nach welcher wir auch längere erregten. Der

benutzte primäre Leiter wird am einfachsten beschrieben in folgender Weise: Man denke sich einen cylindrischen Messingkörper¹⁾ von 3 cm Durchmesser und 26 cm Länge in der Mitte seiner Länge unterbrochen durch eine Funkenstrecke, deren Pole beiderseits durch Kugelflächen von 2 cm Radius gebildet werden. Die Länge des Leiters wird nahezu der halben Wellenlänge gleich sein, welche der zugehörigen Schwingung in geraden Drähten entspricht; schon hieraus kann man ein angenähertes Urtheil über die Schwingungsdauer gewinnen. Es ist wesentlich, dass die Polflächen der Funkenstrecke häufig neu polirt und während der Versuche vor der Belichtung durch gleichzeitige Seitenentladungen sorgfältig geschützt werden, es versagen sonst die Schwingungen. Der Anblick und der Klang der Funken lässt stets erkennen, ob die Funkenstrecke in genügendem Zustande ist. Die Entladung wird den beiden Hälften des Leiters zugeführt durch zwei dick mit Guttapercha überzogene Drähte, welche nahe der Funkenstrecke zu beiden Seiten derselben münden. Als Inductorium verwandte ich nicht mehr den grossen Ruhmkorff'schen Apparat, sondern mit Vortheil einen kleinen Funkengeber von Keiser und Schmidt, dessen stärkste Leistung Funken von 4,5 cm Länge zwischen Spitzen war. Er wurde durch drei Accumulatoren getrieben und konnte dabei zwischen den Kugelflächen des primären Leiters Funken von 1—2 cm Länge geben. Zu den Versuchen wurde dann die Funkenstrecke auf eine Länge von 3 mm zusammengeschoben.

Der Nachweis der elektrischen Kräfte im Raum geschah auch hier mit Hülfe der feinen Funken, welche dieselben in einem secundären Leiter auftreten lassen. Zum Theil diente wie früher ein in sich selber drehbarer Kreis, welcher mit dem primären Leiter ungefähr gleiche Schwingungsdauer hatte. Derselbe hatte jetzt nur 7,5 cm Durchmesser und war aus einem Kupferdraht von 1 mm Dicke gebildet. Das eine Ende des Drahtes trug eine polirte Messingkugel von einigen Millimetern Durchmesser, das andere Ende war zugespitzt und wurde durch eine von dem Drahte isolirte feine Schraube auf äusserst kleine Abstände von der Messingkugel eingestellt. Es

¹⁾ Vgl. die Abbildungen, Fig. 35 und 36 und deren Erläuterung am Schlusse der Arbeit.

handelt sich begrifflicherweise stets nur um Fünkchen von einigen Hundertstel Millimetern Länge, und man urtheilt bei einiger Uebung mehr nach der Helligkeit der Funken, als nach ihrer Länge.

Der kreisförmige Leiter giebt nur eine Differenzwirkung und ist ungeeignet, in der Brennlinie eines Hohlspiegels angebracht zu werden, es wurde deshalb hauptsächlich gearbeitet mit einem anderen secundären Leiter von folgender Einrichtung: Zwei gerade Drahtstücke von 50 cm Länge und 5 mm Durchmesser waren in einer und derselben Geraden so angeordnet, dass die einander zugekehrten Endpunkte einen Abstand von 5 cm hatten. Von diesen Endpunkten führten zwei 15 cm lange, 1 mm starke Drähte parallel miteinander und senkrecht zu den erstgenannten Drähten zu einer Funkenstrecke, welche ähnlich eingerichtet war, wie die des kreisförmigen Leiters. In diesem Leiter war auf die Wirkung der hier überhaupt wenig hervortretenden Resonanz verzichtet. Es wäre einfacher gewesen, die Funkenstrecke unmittelbar in der Mitte des geraden Drahtes anzubringen, aber die Funkenstrecke hätte alsdann nicht im Brennpunkt des Hohlspiegels gehandhabt und beobachtet werden können, ohne dass der Beobachter die Oeffnung des Spiegels verdeckt hätte. Aus diesem Grunde war die beschriebene Anordnung einer an sich vortheilhafteren vorgezogen.

Die Erzeugung des Strahles.

Stellt man nun die primäre Schwingung in einem grösseren freien Raume auf, so kann man mit Hülfe des kreisförmigen Leiters in ihrer Nachbarschaft alle diejenigen Erscheinungen in verkleinertem Maassstabe wahrnehmen, welche ich früher in der Nachbarschaft einer grösseren Schwingung beobachtet und beschrieben habe.¹⁾ Die grösste Entfernung, bis zu welcher sich in den secundären Leitern noch Funken wahrnehmen lassen, beträgt 1,5 m, bei günstigem Zustand der primären Funkenstrecke auch wohl 2 m. Die Wirkung nach einer Seite wird verstärkt, wenn auf der entgegengesetzten Seite der primären Schwingung eine ebene leitende Wand parallel der Schwingung in passendem

¹⁾ Siehe No. 5. 7. 8.

Abstände aufgestellt wird. Wird allerdings der Abstand sehr klein oder etwas grösser als 30 cm gewählt, so wirkt die Wand schädlich, sie wirkt kräftig fördernd bei 8—15 cm Abstand, schwach fördernd bei 45 cm Abstand und ist einflusslos bei grösseren Abständen. Wir haben diese Erscheinung bereits früher gedeutet und schliessen aus derselben, dass die der primären Schwingung entsprechende Welle in der Luft eine halbe Wellenlänge von etwa 30 cm hat. Eine weitergehende Verstärkung dürfen wir erwarten, wenn wir die ebene Wand ersetzen durch einen Hohlspiegel von der Gestalt eines parabolischen Cylinders, in dessen Brennlinie die Längsaxe der primären Schwingung fällt. Soll der Hohlspiegel die Fernwirkung recht concentriren, so ist es vortheilhaft, seine Brennweite so klein als möglich zu wählen. Soll aber nicht die directe Welle die Wirkung der reflectirten sogleich wieder aufheben, so darf die Brennweite auch nicht viel weniger als ein Viertel Wellenlänge betragen. Ich wählte deshalb als Brennweite $12\frac{1}{2}$ cm und stellte den Hohlspiegel her, indem ich ein Zinklech von 2 m Länge, 2 m Breite und $\frac{1}{2}$ mm Dicke über einem Holzgestell von genauer Krümmung in die gewünschte Gestalt bog. Die Höhe des Spiegels ergab sich so zu 2 m, die Breite seiner Oeffnung zu 1,2 m, seine Tiefe zu 0,7 m. Die primäre Schwingung wurde im Mittelpunkt der Brennlinie befestigt. Die Drähte, welche die Entladung zuführten, liess ich den Spiegel durchsetzen; das Inductorium und die Elemente befanden sich demnach hinter dem Spiegel und störten nicht. Untersuchen wir nun wieder die Nachbarschaft der Schwingung mit unseren Leitern, so finden wir hinter dem Spiegel und seitwärts desselben überhaupt keine Wirkung, in der Richtung der optischen Axe des Spiegels aber bleiben die Funken wahrnehmbar bis zu Abständen von 5—6 m. Bis auf weitere Abstände, nämlich bis etwa 9—10 m, können die Funken wahrgenommen werden in der Nähe einer ebenen leitenden Wand, welche wir senkrecht den fortschreitenden Wellen entgegenstellen. Es verstärken nämlich die von der Wand zurückgeworfenen Wellen die ankommenden in gewissen Punkten. In anderen Punkten wiederum schwächen die beiden Wellen einander. Man nimmt vor der ebenen Wand mit dem geradlinigen Leiter sehr deutliche Maxima und Minima und in dem kreisförmigen Leiter die für stehende

Wellen charakteristischen Interferenzerscheinungen wahr, welche ich früher beschrieben habe. Ich war im Stande, vier Knotenpunkte zu unterscheiden, welche in der Wand, in 33, in 65 und in 98 cm Abstand von derselben fielen. Mit grosser Annäherung beträgt also die halbe Wellenlänge der benutzten Wellen 33 cm und ihre Schwingungsdauer 1,1 Tausendmilliontel der Secunde, unter Voraussetzung der Lichtgeschwindigkeit für die Geschwindigkeit der Ausbreitung. In Drähten ergab die Schwingung eine Wellenlänge von 29 cm. Es erscheint also auch bei diesen kurzen Wellen die Geschwindigkeit in Drähten ein Weniges geringer als die Geschwindigkeit im Luftraum, aber das Verhältniss beider Geschwindigkeiten kommt dem theoretischen Werthe Eins äusserst nahe und weicht davon nicht entfernt so stark ab, als unsere Versuche es für längere Wellen wahrscheinlich machten. Diese auffallende Erscheinung bedarf noch der Aufklärung. Da sich die Erscheinungen lediglich in der Nähe der optischen Axe des Spiegels zeigen, so bezeichnen wir das erzeugte Gebilde als einen aus dem Hohlspiegel austretenden elektrischen Strahl.

Ich stellte nun einen zweiten, dem ersten genau gleichen Hohlspiegel her und brachte den geradlinigen secundären Leiter so in demselben an, dass die beiden 50 cm langen Drähte in die Brennpunktlinie fielen, die beiden zur Funkenstrecke führenden Drähte aber auf dem kürzesten Wege die Wandung des Spiegels isolirt durchsetzten. Die Funkenstrecke befand sich alsdann unmittelbar hinter dem Spiegel, und der Beobachter konnte sie einstellen und betrachten, ohne den Lauf der Wellen zu stören. Ich vermuthete, dass, wenn ich mit dieser Vorrichtung den Strahl auffinge, ich denselben noch auf grössere Entfernungen würde wahrnehmen können, und ich fand, dass ich mich nicht getäuscht hatte. In den Räumen, welche mir zu Gebote standen, konnte ich nunmehr die Funken von einem Ende zum anderen wahrnehmen. Die grösste Entfernung, bis zu welcher ich unter Benutzung einer Thüröffnung den Strahl verfolgte, betrug 16 m; nach den Ergebnissen der sogleich zu besprechenden Reflexionsversuche unterliegt es aber keinem Zweifel, dass in offenen Räumen sich mindestens bis zu 20 m müssen Funken erhalten lassen. Für die weiteren Versuche sind so grosse Entfernungen nicht nöthig, und es ist angenehm, wenn der secundäre Funkenstrom nicht allzu schwach ausfällt; eine Entfernung von 6–10 m

ist für die meisten Versuche die vortheilhafteste. Wir wollen jetzt die einfachen Erscheinungen durchgehen, welche sich ohne Schwierigkeit an dem Strahl vorweisen lassen. Wo nicht das Gegentheil ausdrücklich bemerkt ist, werden stets die Brennlilien beider Spiegel als vertical gestellt angenommen.

Geradlinige Ausbreitung.

Stellt man in die gerade Verbindungslinie der Spiegel senkrecht zur Richtung des Strahles einen Schirm von Zinkblech von 2 m Höhe und 1 m Breite, so verlöschen die secundären Funken vollständig. Einen ebenso vollkommenen Schatten giebt ein Schirm von Stanniol oder von Goldpapier. Ein Gehülfe, welcher den Strahl kreuzt, lässt die secundäre Funkenstrecke dunkel werden, sobald er in den Raum des Strahles eintritt, und lässt dieselbe wieder aufleuchten, sobald er den Raum des Strahles verlässt. Isolatoren halten den Strahl nicht auf, durch eine Holzwand oder eine hölzerne Thür geht er hindurch, man sieht nicht ohne Verwunderung im Innern geschlossener Zimmer die Funken auftreten. Stellt man zwei leitende Schirme von 2 m Höhe und 1 m Breite symmetrisch rechts und links neben den Strahl senkrecht zu dessen Richtung auf, so beeinträchtigen dieselben die secundären Funken durchaus nicht, solange die Breite des Spaltes, welchen sie zwischen sich lassen, nicht kleiner wird, als die Oeffnung der Spiegel, nämlich als 1,2 m. Wird der Spalt enger gemacht, so nehmen die Funken ab und verlöschen, wenn die Breite des Spaltes unter 0,5 m sinkt. Wird die Breite des Spaltes auf 1,2 m belassen, aber derselbe seitlich aus der geraden Verbindungslinie der Spiegel verschoben, so erlöschen die Funken ebenfalls. Dreht man die optische Axe des gebenden Spiegels nach rechts oder links um etwa 10° aus der richtigen Lage, so werden die secundären Funken schwach, bei einer Drehung um etwa 15° verlöschen sie.

Eine geometrisch scharfe Grenze hat der Strahl, und haben die Schatten nicht, leicht kann man Erscheinungen hervorrufen, welche einer Beugung entsprechen.¹⁾ Maxima und Minima am

¹⁾ [Siehe Anmerkung 25 am Schluss des Buches.]

Rande der Schatten zu beobachten, ist mir indessen bisher nicht gelungen.

Polarisation.

Dass unser Strahl durch Transversalschwingungen gebildet wird und geradlinig polarisirt im Sinne der Optik ist, daran haben wir freilich schon nach der Art, in welcher wir ihn erzeugen, keinen Zweifel. Wir können die Thatsache aber auch durch den Versuch erweisen. Drehen wir unseren empfangenden Spiegel um den Strahl als Axe, bis seine Brennlinie und somit auch der secundäre Leiter in die horizontale Lage gelangt, so verschwinden die secundären Funken mehr und mehr, und wir erhalten bei gekreuzter Lage der beiden Brennlinien keine Funken, selbst wenn wir die Spiegel auf geringe Entfernung zusammerrücken. Die beiden Spiegel verhalten sich wie Polarisator und Analysator eines Polarisationsapparates. Ich liess nun einen achteckigen Holzrahmen von 2 m Höhe und 2 m Breite herstellen und denselben mit Kupferdrähten von 1 mm Dicke bespannen, alle Drähte waren einander parallel, und jeder stand von seinen Nachbarn um 3 cm ab. Wurden jetzt die beiden Spiegel mit parallelen Brennlinien aufgestellt und der Drahtschirm senkrecht zum Strahl so in denselben eingeschoben, dass die Richtung der Drähte die Richtung der Brennlinien senkrecht krouzte, so beeinträchtigte der Schirm die secundären Funken so gut wie gar nicht. Wurde aber der Schirm dem Strahl in solcher Weise entgegengestellt, dass seine Drähte den Brennlinien parallel waren, so fing er den Strahl vollständig ab. In Hinsicht der hindurchgehenden Energie verhält sich also der Schirm gegen unseren Strahl genau wie eine Turmalinplatte gegen einen geradlinig polarisirten optischen Strahl. Es wurde nun wieder die Brennlinie des empfangenden Spiegels horizontal gelegt, Funken traten dann, wie erwähnt, nicht auf. Solche Funken wurden auch durch das Einschieben des Schirmes in den Strahl nicht hervorgerufen, sobald die Drähte desselben horizontal oder vertical gerichtet waren. Wurde aber der Holzrahmen so aufgestellt, dass die Drähte in einer der beiden möglichen Lagen unter 45° gegen die Horizontale geneigt waren, so wurde durch Einschlebung des Schirmes die secundäre Funkenstrecke sogleich erhellt. Offenbar zerlegt der Schirm die an-

kommende Schwingung in zwei Componenten und lässt nur diejenige Componente hindurch, welche auf der Richtung seiner Drähte senkrecht steht. Diese Componente ist unter 45° gegen die Brennlinie des zweiten Spiegels geneigt und vermag, nochmals durch den Spiegel zerlegt, auf den secundären Leiter zu wirken. Die Erscheinung ist vollkommen gleichartig der Aufhellung des dunklen Feldes zweier gekreuzten Nicols durch eine in passender Lage eingeschobene Turmalinplatte.

Es sei in Hinsicht der Polarisation noch die folgende Bemerkung gestattet: Mit den in der gegenwärtigen Untersuchung benutzten Mitteln vermögen wir nur die elektrische Kraft wahrzunehmen. Die Schwingungen derselben erfolgen bei verticaler Stellung der primären Schwingung unzweifelhaft in der durch den Strahl gelegten Verticalebene und fehlen in der Horizontalebene. Nach den Erfahrungen, welche wir an langsam veränderlichen Strömen machen, können wir aber nicht zweifeln, dass die elektrischen Schwingungen begleitet sind von Schwingungen magnetischer Kraft, welche in der durch den Strahl gelegten Horizontalebene stattfinden und Null werden in der Verticalebene. Die Polarisation des Strahles besteht also nicht sowohl darin, dass nur in der Verticalebene Schwingungen stattfinden, als vielmehr darin, dass die Schwingungen in der Verticalebene elektrischer, in der Horizontalebene magnetischer Natur sind. Die Frage schlechthin, in welcher von beiden Ebenen in unserem Strahl die Schwingung erfolge, ohne Angabe, ob man nach der elektrischen oder der magnetischen Schwingung frage, lässt eine Antwort nicht zu. Dass in dieser Ueberlegung auch die Resultatlosigkeit einer alten optischen Streitfrage begründet sei, ist wohl zuerst klar von Hrn. Kolaček¹⁾ ausgesprochen worden.

Reflexion.

Wir haben die Reflexion der Wellen von leitenden Flächen bereits durch die Interferenz der zurückgeworfenen Wellen mit den ankommenden nachgewiesen und auch in der Construction unserer Hohlspiegel bereits angewandt. Jetzt ist es uns aber

¹⁾ F. Kolaček, Wied. Ann. 34. p. 676. 1888.

auch möglich, die beiden Wellensysteme voneinander zu trennen. Ich stellte zunächst in einem grösseren Raume die beiden Hohlspiegel so nebeneinander, dass ihre Oeffnungen nach derselben Seite blickten, und dass ihre Axen auf einen etwa 3 m vor ihnen liegenden Punkt convergirten. Die Funkenstrecke des empfangenden Spiegels blieb selbstredend dunkel. Nunmehr stellte ich eine ebene verticale Wand aus dünnem Zinkblech von 2 m Höhe und 2 m Breite im Kreuzungspunkt der Axen so auf, dass sie senkrecht auf der Mittellinie der Axen stand. Ich erhielt einen lebhaften Funkenstrom, herrührend von dem von der Wand reflectirten Strahle. Der Funkenstrom erlosch, sobald die Wand um eine verticale Axe um etwa 15° nach der einen oder anderen Seite aus der richtigen Lage herausgedreht wurde, die Reflexion ist also eine regelmässige, nicht eine diffuse. Wurde die Wand von den Spiegeln entfernt, indem die Axen der letzteren auf die Wand convergent gehalten wurden, so nahmen die Funken sehr langsam ab. Ich vermochte noch Funken wahrzunehmen, als die Wand 10 m von den Spiegeln abstand, die Wellen also einen Weg von 20 m zu durchlaufen hatten. Diese Anordnung dürfte mit Vortheil verwandt werden, wenn es gilt, die Ausbreitungsgeschwindigkeit durch die Luft mit anderen langsameren Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, z. B. solchen durch Kabel, zu vergleichen.

Um eine Reflexion des Strahles unter einem von Null verschiedenen Einfallswinkel herzustellen, führte ich den Strahl in einem Saale parallel einer Seitenwand, welche durch eine Flügelthür durchbrochen war. In dem benachbarten Zimmer, zu welchem die Thür führte, stellte ich den empfangenden Hohlspiegel so auf, dass seine optische Axe die Mitte der Thür durchsetzte und senkrecht die Richtung des Strahles kreuzte. Wurde nun im Kreuzungspunkte die ebene leitende Wand vertical so aufgestellt, dass sie sowohl mit dem Strahl, als mit der Axe des empfangenden Spiegels einen Winkel von 45° bildete, so trat im secundären Leiter ein Funkenstrom auf, welcher auch durch das Schliessen der Thüre nicht unterbrochen wurde. Drehte ich die spiegelnde Wand um etwa 10° aus der richtigen Lage, so erloschen die Funken. Die Reflexion ist also eine regelmässige, und Einfalls- und Reflexionswinkel sind einander gleich. Dass der Weg der Wirkung von der Quelle der Er-

regung zum ebenen Spiegel und von dort zum secundären Leiter führt, konnte auch dadurch erwiesen werden, dass man auf die verschiedenen Punkte dieses Weges schattengebende Schirme stellte. Die secundären Funken erloschen alsdann stets, während eine beliebige Aufstellung der Schirme im übrigen Raume sie nicht schädigte. Mit Hülfe des kreisförmigen secundären Leiters ist es möglich, im Strahl die Lage der Wellenebene zu bestimmen, dieselbe fand sich vor und nach der Reflexion senkrecht zum Strahl, hatte also in der Reflexion eine Schwenkung um 90° ausgeführt.

Bisher standen die Brennlinien der Hohlspiegel vertical, und die Schwingungsebene war also senkrecht auf der Einfallsebene. Um auch eine Reflexion zu erzeugen, bei welcher die Schwingungen in der Einfallsebene erfolgen, legte ich die Brennlinien beider Hohlspiegel horizontal. Ich beobachtete die gleichen Erscheinungen wie in der bisherigen Lage und vermochte auch nicht einen Unterschied in der Intensität des reflectirten Strahles in beiden Fällen wahrzunehmen. Ist hingegen die Brennlinie des einen der Spiegel vertical, die des anderen horizontal, so beobachtet man keine secundären Funken. Die Neigung der Schwingungsebene gegen die Einfallsebene wird also durch die Reflexion nicht geändert, sobald diese Neigung einen der beiden erwähnten bevorzugten Werthe hat; allgemein aber wird diese Behauptung nicht zutreffen. Es darf selbst als fraglich bezeichnet werden, ob der Strahl nach der Reflexion im allgemeinen noch geradlinig polarisirt sei. Die Interferenzen, welche die sich kreuzenden Wellensysteme vor dem Spiegel bilden, und welche, wie ich bemerkte, in dem kreisförmigen Leiter zu charakteristischen Erscheinungen Anlass geben, können vielleicht am ehesten auf die dem Optiker geläufigen Fragen nach Aenderung der Phase und der Amplitude durch die Reflexion Aufschluss geben.

Wir erwähnen noch eines Versuches über die Reflexion von elektrisch anisotropen Flächen. Die beiden Hohlspiegel wurden wieder nebeneinander aufgestellt, wie in dem zuerst beschriebenen Versuch über die Reflexion; ihnen gegenüber aber wurde jetzt als reflectirende Wand der erwähnte Schirm aus parallelen Kupferdrähten aufgestellt. Es zeigte sich, dass die secundäre Funkenstrecke dunkel blieb, wenn die Drähte die Richtung der

Schwingungen senkrecht durchschnitten, sich aber erhellte, sobald die Drähte in die Richtung der Schwingungen fielen. Die Analogie zwischen unserer einseitig leitenden Fläche und der Turmalinplatte beschränkt sich also auf den durchgelassenen Theil des Strahles.¹⁾ Der nicht hindurchgelassene Theil wird von der Turmalinplatte absorbiert, von unserer Fläche aber reflectirt. Kreuzt man in dem letztbeschriebenen Versuch die Brennlinien der beiden Spiegel, so kann man durch Reflexion an einer isotropen Wand keine Funken im secundären Leiter hervorrufen; ich überzeugte mich aber, dass dies gelingt durch Reflexion an dem anisotropen Drahtgitter, wenn man nämlich dasselbe so aufstellt, dass die Richtung seiner Drähte gegen beide Brennlinien unter 45° geneigt ist. Der Versuch findet nach dem Vorausgegangenen leicht seine Erklärung.

Brechung.

Um zu versuchen, ob eine Brechung des Strahles beim Uebertritt aus Luft in ein anderes isolirendes Medium nachzuweisen wäre, liess ich ein grösseres Prisma aus sogenanntem Hartpech, einer asphaltartigen Masse, herstellen. Die Grundfläche war ein gleichschenkliges Dreieck von 1,2 m Schenkellänge und einem brechenden Winkel von nahezu 30° . Die Höhe des ganzen Prismas, dessen brechende Kante vertical gestellt wurde, betrug 1,5 m. Da das Prisma aber ungefähr 12 Centner wog und als Ganzes zu schwer beweglich gewesen wäre, so war es aus drei übereinander gestellten Theilen von je 0,5 m Höhe zusammengesetzt. Die Masse war in Holzkisten eingegossen, welche, da sie sich nicht als schädlich erwiesen, um die Masse belassen wurden. Das Prisma wurde auf einer Unterlage in solcher Höhe aufgestellt, dass die Mitte seiner brechenden Kante in gleicher Höhe mit der primären und der secundären Funkenstrecke lag. Nachdem ich mich überzeugt, dass eine Brechung stattfindet und eine Schätzung über die Grösse derselben gewonnen hatte, stellte ich die Versuche in folgender Weise an: Der gebende Hohlspiegel wurde in 2,6 m Abstand vom Prisma gegen die eine brechende Fläche gewandt, so aufgestellt, dass die Mittellinie des Strahles möglichst genau auf den Schwer-

¹⁾ [Siehe Anmerkung 26 am Schluss des Buches.]

punkt des Prismas hinzielte und die brechende Fläche von der Seite der Hinterfläche her unter einem Winkel von 65° traf. Neben die brechende Kante des Prismas und neben die gegenüberliegende Seite wurden zwei leitende Schirme aufgestellt, welche dem Strahl jeden anderen Weg, als den durch das Prisma, abschnitten. Auf der Seite des durchgetretenen Strahles wurde auf den Boden um den Schwerpunkt der Prismenbasis als Mittelpunkt ein Kreis von 2,5 m Radius gezeichnet. In diesem wurde nun der empfangende Spiegel so herumbewegt, dass seine Oeffnung beständig gegen den Mittelpunkt des Kreises gerichtet blieb. Wurde der Spiegel zunächst in der Verlängerung des einfallenden Strahles aufgestellt, so waren in ihm Funken nicht zu erhalten, nach dieser Richtung warf das Prisma einen vollkommenen Schatten. Es traten aber Funken auf, wenn der Spiegel gegen die Hinterfläche des Prismas hin verschoben wurde, und zwar zuerst, wenn die im Kreise gemessene Winkelverschiebung aus der Anfangslage etwa 11° betrug. Der Funkenstrom nahm an Intensität zu bis zu einer Ablenkung von etwa 22° , um dann wieder abzunehmen. Die letzten Funken waren bemerklich bei einer Ablenkung von etwa 34° . Wurde der Spiegel in der Richtung der stärksten Wirkung aufgestellt und nun auf dem Radius des Kreises vom Prisma entfernt, so konnten die Funken auf einen Abstand von 5—6 m verfolgt werden. Ein Gehülfe, welcher sich vor oder hinter das Prisma stellte, liess die Funken unfehlbar verlöschen, ein Beweis, dass die Wirkung thatsächlich durch das Prisma, nicht auf anderem Wege zu dem secundären Leiter gelangte. Die Versuche wurden wiederholt, nachdem, ohne die Stellung des Prismas zu ändern, die Brennlinien beider Spiegel horizontal gelegt worden waren. Eine Abweichung von den bisher beschriebenen Erscheinungen wurde dabei nicht bemerkt. Einem brechenden Winkel von 30° und einer Ablenkung von 22° in der Nähe des Minimums der Ablenkung entspricht der Brechungsexponent 1,69. Der optische Brechungsexponent wird für pechartige Körper zwischen 1,5 und 1,6 angegeben. Die Ungenauigkeit unserer Bestimmung und die Unreinheit des benutzten Stoffes lässt nicht zu, dass man der Grösse oder dem Sinn der Abweichung weitergehende Bedeutung beilege.¹⁾

¹⁾ [Siehe Anmerkung 27 am Schluss des Buches.]

Wir haben die von uns untersuchten Gebilde als Strahlen elektrischer Kraft eingeführt. Nachträglich dürfen wir dieselben vielleicht auch als Lichtstrahlen von sehr grosser Wellenlänge bezeichnen. Mir wenigstens erschienen die beschriebenen Versuche in hohem Grade geeignet, Zweifel an der Identität von Licht, strahlender Wärme und elektrodynamischer Wellenbewegung zu beseitigen. Ich glaube, dass man nunmehr getrost die Vortheile wird ausnutzen dürfen, welche sich aus der Annahme dieser Identität sowohl für das Gebiet der Optik, als das der Elektrizitätslehre ziehen lassen.

Erläuterung der Abbildungen. — Um die Wiederholung und Erweiterung dieser Versuche zu erleichtern, füge ich in Fig. 35, 36_a und 36_b

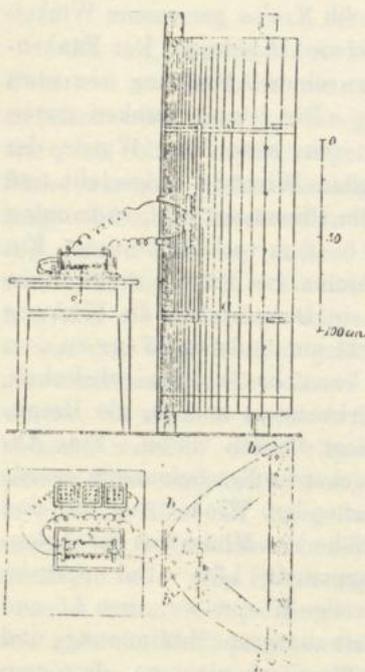


Fig. 35.

ich in Fig. 35, 36_a und 36_b Abbildungen der von mir benutzten Apparate bei, obwohl dieselben ohne Rücksicht auf Dauerhaftigkeit nur für den augenblicklichen Versuch zusammengestellt waren. Fig 35 stellt in Grundriss und Aufriss (Durchschnitt) den gebenden Spiegel dar. Man erkennt, dass das Gerüst desselben aus zwei horizontalen Rahmen von parabolischer Gestalt (*a, a*) und vier senkrechten Stützen (*b, b*) besteht, welche mit jenen Rahmen verschraubt sind und dieselben zugleich zusammenhalten und tragen. Das spiegelnde Blech ist zwischen die Rahmen und Stützen eingeklemmt und durch zahlreiche Schrauben gegen beide befestigt. Die Stützen stehen oben und unten über das Blech vor, um bei der Handhabung des Spiegels als Griffe benutzt zu werden. Fig. 36_a stellt die

Einrichtung des primären Leiters in etwas grösserem Messstabe dar. Die beiden Metalltheile gleiten mit Reibung in zwei Hülsen von starkem Papier, welche durch zwei Kautschukbänder geschlossen gehalten werden. Ihrerseits sind diese Hülsen durch vier Stützen von Siegellack auf einem Brettchen befestigt, welches wiederum durch Kautschukbänder gegen

eine auch in Fig. 35 sichtbare Holzleiste des Gerüsts gepresst wird. Die mit Gutta-percha überzogenen

Zuleitungsdrähte münden in zwei Löchern, welche in die Kugeln des primären Leiters gebohrt sind. Die Vorrichtung gestattet den

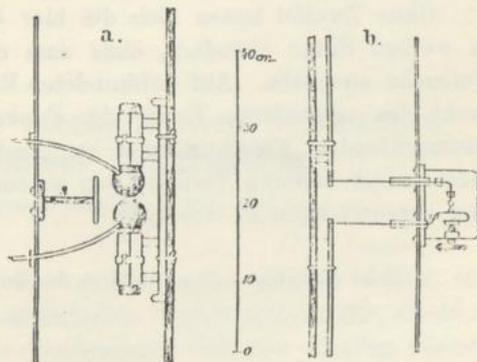


Fig. 36.

Theilen des Leiters die nothwendige Beweglichkeit gegeneinander und kann in wenigen Minuten auseinander genommen und wieder zusammengesetzt werden, was wegen des häufigen Aufpolirens der Polflächen nothwendig ist. Dort, wo die Zuleitungsdrähte den Spiegel durchsetzen, umkleiden sie sich während der Entladungen mit bläulichem Lichte. Um dasselbe von der Funkenstrecke, deren Erregungsfähigkeit es merklich schädigt, fern zu halten, ist der Schirm *s*, bestehend aus glattem Holze, angebracht. Fig. 36_b endlich stellt die secundäre Funkenstrecke dar. Die beiden Theile des secundären Leiters sind wiederum durch Siegellackstützen und Kautschukbänder an einer Leiste des Gerüsts befestigt. Von den inneren Enden dieser Theile aus sieht man die Zuleitungsdrähte, von Glasröhren umgeben, den Spiegel durchsetzen und sich einander zuwenden. Der obere Draht trägt als Pol eine kleine Kugel von Messing. An den unteren Draht ist ein Stück einer Uhrfeder gelöthet, welches den zweiten Pol, eine feine Spitze von Kupfer, trägt. Es ist absichtlich die Spitze aus weicherem Metall als die Kugel gewählt; ohne diese Vorsicht drückt sich leicht die Spitze in die Kugel ein, und die winzigen Fünkchen entziehen sich in dem entstehenden Grübchen

der Betrachtung. Man erkennt aus der Figur, in welcher Weise die Spitze durch eine Schraube bewegt wird, welche auf die Feder drückt, jedoch durch ein Glasplättchen von derselben isolirt ist. Die eigenthümliche Krümmung der Feder hat den Zweck, die Bewegung der Spitze noch feiner zu machen, als es die Benutzung der Schraube allein gestatten würde.

Ohne Zweifel lassen sich die hier beschriebenen Apparate in weitem Sinne abändern, ohne dass deshalb der Erfolg der Versuche ausbliebe. Auf befreundeten Rath habe ich auch versucht, im secundären Leiter die Funkenstrecke durch einen stromprüfenden Froschschenkel zu ersetzen; es scheint aber dieses unter anderen Verhältnissen so empfindliche Mittel unter den gegenwärtigen zu versagen.¹⁾

¹⁾ [Siehe Anmerkung 28 am Schluss des Buches.]