



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

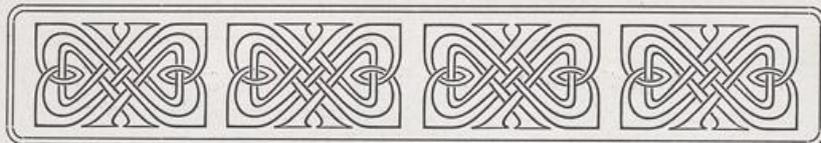
Glückliche Stunden

Slaby, Adolf

Berlin, 1908

8. Die Technik der elektrischen Wellen

[urn:nbn:de:hbz:466:1-73872](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73872)



8.

Die Technik der elektrischen Wellen.

(1901.)

Jede unvermittelte Wechselwirkung zwischen räumlich getrennten lebenden Wesen hat etwas merkwürdig Bestrickendes, und die Befreiung von den Schranken des Raumes auch in dieser Beziehung war von jeher ein Lieblingstraum der Menschheit. Einzelnen Naturen, so lautet der Glaube im Volke, soll die Fähigkeit innewohnen, Dinge zu wissen, die weit entfernt sich ereignen, und besonders aus dem Orient werden merkwürdige Vorkommnisse berichtet. Wenn während der englisch-afghanischen Kriege die schnellsten Reiter entsendet wurden, um Truppenkörpern, 50 Meilen entfernt, Befehle zu überbringen, so kamen sie häufig zu spät: die Eingeborenen hatten bereits davon erfahren und Gegenmaßregeln ergriffen. Der Tod des Generals Gordon war in den Straßen von Kairo am selben Tage bekannt, obwohl die Telegraphenlinie zerstört war. Weniger wunderbar, aber nicht minder interessant klingt, was ein Reisender von einem Indianerstamm des Amazonasflusses berichtet. Er fand dort in der Hütte des Häuptlings, zur Hälfte in Erde vergraben, ein Instrument, das, mit einem Hammer berührt, Signale nach einer anderen weit entfernten Hütte übertrug. Eine ver-

bindende Erzader oder ein unterirdischer Wasserlauf könnte uns dieses Phänomen erklären.

Ratloser standen aber die meisten den ersten Versuchen Marconi's gegenüber, obwohl die Telegraphie ohne verbindenden Draht an sich nicht neu war. Tesla, Edison und Preece hatten bereits vor Jahren Einrichtungen hierfür erdacht, Edison sogar das Problem gelöst, von einem fahrenden Eisenbahnzuge aus zu telegraphieren. Auch die von Marconi zuerst benutzte fernwirkende Kraft des Funkens war an sich durchaus nicht neu, ja schon vor mehr als hundert Jahren hatte sie sich der Forschung gleichsam aufgedrängt, sie war nur nicht beachtet und in ihrer wahren Bedeutung erkannt worden. Der Beobachtung einer Frau verdanken wir nach den Überlieferungen die erste Wahrnehmung des Phänomens. Die Gattin Galvani's half ihrem Manne mit geschickten Händen die feinen Nerven eines Froschschenkels für physiologische Untersuchungen präparieren. Er selbst arbeitete in einiger Entfernung davon an einer Elektrisiermaschine und zog Funken aus derselben. Da beobachtete sie mit Staunen jedesmal, wenn dort an entfernter Stelle ein Funke übersprang und sie selbst zugleich mit dem Messer den Nerv des Frosches berührte, eine Zuckung des Schenkels. Zwischen dem funken-erzeugenden Gatten und ihr selbst bestand also ein geheimnisvoller elektrischer Zusammenhang, der seine Wirkungen durch den Raum übertrug, — eine drahtlose Telegraphie.

Die damalige Beobachtung blieb fruchtlos; der eigensinnige Gelehrte wollte sie durchaus auf geheimnisvolle animalische Kräfte zurückführen. Es wurde eine berühmte wissenschaftliche Streitfrage daraus, welche bald hinüberspielte auf ein anderes Gebiet, dasjenige der Berührungselektrizität, und ein größerer als Galvani: Alessandro Volta, beendete den Kampf durch die glänzendste Entdeckung des

naturwissenschaftlichen Zeitalters, den elektrischen Gleichstrom. Nach fast hundert Jahren kehrt die Wissenschaft zu jenem ersten Phänomen zurück, ein deutscher Forscher: Heinrich Hertz, deutet uns den Zusammenhang durch das Spiel elektrischer Wellen, und ein jugendlicher Landsmann Galvani's: Guglielmo Marconi, zieht in wenigen Jahren rastloser Arbeit daraus die wichtigsten technischen Folgen, indem er Telegramme durch die Luft entsendet auf hundert Kilometer und mehr.

Die Sensation, welche diese Versuche hervorriefen, ließ sich in dem Kursrückgange der englischen Telegraphengesellschaften ziffernmäßig erkennen. Doch die Gewöhnung des Menschen an die Verwertung früher unbekannter Naturkräfte ist eine erstaunlich schnelle. Was uns vor wenig Jahren fast wie ein Wunder berührte, erscheint uns heute als selbstverständlich und naheliegend. Ich spreche mit Absicht von „Gewöhnung“, denn von eigentlichem Verstehen ist auf dem ganzen Gebiet der Elektrizität leider noch wenig die Rede. Je schneller wir eine neue Tatsache in den Kreis unserer gewohnten Vorstellungen einordnen können, desto leichter vollzieht sich der geistige Assimilierungsvorgang, den wir „Verstehen“ nennen. Bei der Funkentelegraphie hatten diejenigen, welche mit ihren physikalischen Vorstellungen an die Tatsachen anknüpfen mußten, die sie vor dreißig und mehr Jahren auf der Schulbank erfahren, allerdings mit etwas größeren Schwierigkeiten zu kämpfen. Sie hatten sich zunächst in der für sie neuen Welt der elektrischen Wellen zurechtzufinden. Denn es schien anfangs unmöglich, die Fernwirkung des Funkens anders als durch den Begriff einer wellenartigen elektrischen Strahlung, wie ihn Maxwell eingeführt hatte, zu erklären. Und doch ist dieser Begriff nur eine Hypothese, wie so viele andere Grundvorstellungen der

Physik. Heute, wo wir die Gesetze der Funkentelegraphie besser übersehen, können wir ihre Erklärung ganz gut auch auf ältere Vorstellungen zurückführen. Es sind die wohlbekanntesten Erscheinungen der elektrischen Induktion, die ich dazu heranziehen will.

Wenn ein stromführender Leiter auf längerer Strecke einem zweiten an sich stromlosen Leiter parallel geführt ist, so kann in diesem unter gewissen Umständen ein Strom hervorgerufen werden, ohne daß direkte elektrische Kräfte dabei mitwirken. Wir brauchen nur den Strom in dem ersten Leiter, den wir „Primärstrom“ nennen wollen, in seiner Stärke zu ändern, sofort entsteht in dem zweiten Leiter ein allerdings schnell vorübergehender „Sekundärstrom“. Und zwar entspricht jeder Zunahme des Primärstromes ein entgegengesetzt gerichteter, jeder Abnahme desselben ein gleichgerichteter Sekundärstrom. Da beide Stromleiter metallisch völlig getrennt sind, so kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die elektrische Erscheinung von dem Primärdraht durch die Luft auf den Sekundärdraht übertragen wird. Besonders auffallend und regelmäßig wird das Phänomen bei einem periodisch unterbrochenen oder wechselnden Primärstrom. Dann wird der Sekundärdraht zum Träger eines andauernden Wechselstromes, dessen Periodenzahl oder Frequenz mit der des Primärstromes übereinstimmt. Von dem Primärstrom gehen die Wirkungen aus, der Sekundärdraht ist gewissermaßen nur ein elektrischer Fühler, der uns von dem Vorgang in dem Primärdraht Kenntnis gibt.

Der elektrische Gleichstrom hat diese merkwürdige Eigenschaft nicht. Mag er tausende von Pferdestärken durch einen Draht dahintragen, kein sichtbar oder fühlbar nach außen dringendes Zeichen verrät uns die Herkulesarbeit der elektrischen Kräfte. Es ist ähnlich wie mit dem Wasser, das

durch eine Rohrleitung dahinbraust — kein Merkmal an der Außenwand des Rohres läßt auf den Vorgang im Innern schließen. Und doch können wir mit dem Druckwasser gewaltige Kräfte übertragen. Wie ändert sich aber das Bild, wenn der Wasserstrom plötzlich gehemmt wird, etwa durch Schließen eines Ventiles! Ein heftiger Stoß erschüttert das Rohr, nicht selten so stark, daß die Wandung zerreißt. Nehmen wir an, daß das Wasser sogar seine Bewegungsrichtung ändert, viele male in einer Sekunde, so würden die Erschütterungen des Rohres in gesetzmäßiger Wiederholung sich der umgebenden Luft mitteilen und Schallwellen von bestimmter Tonhöhe in unser Ohr senden. Die Erschütterungen unseres Trommelfelles geben uns jetzt Kunde von dem inneren Vorgang im Wasserrohr. Wir wissen, sie werden übertragen durch die gesetzmäßigen Schwingungen der in Mitleidenschaft gezogenen Luft.

Ganz ähnlich können wir uns den Vorgang bei der Übertragung einer elektrischen Erschütterung denken. Nur die Luft ist entbehrlich, denn die Übertragung erfolgt ebenso gut auch durch den luftleeren Raum. Nun ist aber die heutige mechanische Naturauffassung ein geschworener Feind aller Erklärungen, welche die Möglichkeit einer Übertragung von Kräften ohne die Mitwirkung stofflicher Materie zur Voraussetzung haben; man hat darum einen Stoff erfunden, den Weltäther, welcher, den menschlichen Sinnen zwar nicht wahrnehmbar, dennoch elektrische Impulse ebenso weiterzutragen imstande sein soll, wie der Wasserspiegel die Wellenringe eines Steinwurfes, oder wie die Luft, wenn sie das leise Erzittern der Violine durch rhythmische Schwingungen auf unser Ohr überträgt.

Wir dürfen aber in diesen Erklärungen nichts weiter suchen, als ein Mittel, um die verschleierte Äußerungen der

Natur dem beschränkten Fassungsvermögen des menschlichen Geistes greifbarer zu gestalten und ihre Einschachtelung in die verschiedenen Fächer und Kasten unseres Gehirns zu erleichtern. Wir gleichen hierin den Kindern, die bunte Muscheln am Strande des Ozeans sammeln und nach Größe und Farbe ordnen. Ein herrliches Geschenk hat uns aber die Allmacht verliehen: das ist die Fähigkeit, die Gesetze zu erkennen, nach denen das Walten der Natur sich ordnet, und diese Gesetze wiederum zum Wohle der Menschheit schöpferisch zu verwerten. In dieser Tätigkeit reichen sich Forscher und Ingenieur zu ersprießlichem Bunde die Hände.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt aus die neue Naturerscheinung, welche an der Wende des Jahrhunderts der Menschheit gleichsam als eine reife Frucht zuteil geworden ist. Die Ermittlung der Gesetze der elektrischen Induktion verdanken wir dem größten naturwissenschaftlichen Forscher des vergangenen Jahrhunderts: Michael Faraday. Er und seine Nachfolger zeigten uns, daß die Kräfte, welche ein elektrischer Strom in einem von diesem völlig getrennten Drahte hervorruft, am stärksten sind, wenn die Drähte eine parallele Lage haben, wenn sie tunlichst lang sind, wenn der Mittelwert des Primärstromes und die Schnelligkeit der Änderung möglichst groß sind. Unter sonst gleichen Verhältnissen nimmt die übertragene Wirkung mit der Entfernung ab, aber nicht wie bei den von einem elektrischen Zentrum ausstrahlenden Kräften mit dem Quadrat, sondern mit der einfachen Entfernung. Bezeichnet l die Länge der parallelen Leitungen, a ihren Abstand, J die mittlere primäre Stromstärke und T die Zeitdauer der periodischen Schwankungen, also $\frac{1}{T}$ die Anzahl derselben in einer Sekunde oder ihre Frequenz, so ist die elektrische Erregung in dem Sekundärdräht proportional dem Ausdruck $\frac{l J}{a T}$, die Übertragungs-

weite also proportional $\frac{l^2 J}{T}$. Ein einfaches Experiment wird uns von der Richtigkeit dieses Gesetzes überzeugen. Hier sind, Fig. 102, in der Länge des Saales zwei parallele Leitungen übereinander ausgespannt; die obere ist Teil eines Kreises, in welchem ich mittels einer Batterie B und eines

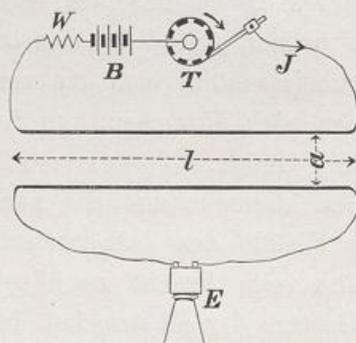


Fig. 102.

regulierbaren Widerstandes W durch einen rotierenden Unterbrecher T absetzende, also veränderliche Ströme J erzeuge. Der zweite, darunter befindliche Draht ist gleichfalls durch eine Leitung geschlossen und enthält zum Nachweis der darin erzeugten Sekundärströme ein Telefon E ; dieser Kreis ist von dem ersten völlig isoliert. Lasse

ich nun den Unterbrecher spielen, so liefert das Telephon weithin hörbare Töne. Eine schnellere Unterbrechung erzeugt einen lautereren und höheren Ton; eine Vergrößerung der Entfernung der parallelen Leitungen verringert die Tonstärke. Kürze ich die parallel geführten Drähte, so geht der Ton gleichfalls merklich zurück. Eine Verstärkung des Stromes durch Ausschaltung des Widerstandes W läßt ihn von neuem anschwellen.

Das sind die einfachen Grundgesetze, welche auch die heutige drahtlose Telegraphie befolgt. Man könnte die Frage aufwerfen, warum die Nutzenanwendung auf große Entfernungen, die das Überraschende der neuen Erfindung ausmacht, nicht schon zu Faraday's Zeiten versucht wurde. Der Grund liegt heute klar zutage. Daß bei Verlängerung der Paralleldrähte die Übertragungsweite zunimmt, wurde zwar erkannt, zunächst indessen nur als Störung empfunden in langen Telephon-

leitungen, welche vorhandenen Telegraphenleitungen auf weite Strecken hin parallel liefen. Sir William Preece verdanken wir ein näheres Studium dieser Erscheinung. Zwischen Durham und Darlington liefen auf 26 km zwei parallele Telegraphenleitungen, 16 km von einander entfernt; Preece stellte fest, daß mit Hilfe eines Telephons in der einen Leitung Morse-Telegramme, die auf der andern Leitung gesandt wurden, gehört werden konnten. Er gründete darauf ein System der drahtlosen Telegraphie und richtete auf verschiedenen Inseln in der Nähe des Festlandes mit Hilfe von parallelen Leitungen Telegraphenstationen ein, die zum Teil noch heute im Betriebe sind. Die kilometerlangen Drahtführungen, welche dieses System benötigt, beschränken indessen seine Verwendbarkeit auf einzelne besonders geeignete Fälle und genügen nur für geringe Entfernungen. Für telegraphischen Verkehr von Schiff zu Schiff oder von Schiff zu Land ist das System ungeeignet.

Abgesehen von der Stromstärke, die bis jetzt nur einer geringen Steigerung fähig ist, bleibt sonach, wie unsere Formel zeigt, die Frequenz der Stromschwankungen $= \frac{1}{T}$ der einzige Faktor, von dessen Zunahme sich ein nennenswerter Erfolg hoffen läßt. Daß dies nun in einem alle Erwartungen weit übersteigendem Maße möglich geworden ist, verdanken wir den glanzvollen Entdeckungen der letzten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts, die mit dem Namen Heinrich Hertz ruhmvoll verbunden sind. Um den gewaltigen Unterschied, um den es sich handelt, gleich vorweg zu betonen, will ich erwähnen, daß die Zahl der Unterbrechungen oder Stromschwankungen, welche wir mit den früher allein bekannten rein mechanischen Mitteln erzeugen konnten, wenige hundert in der Sekunde nicht überschreitet, daß die neuen Hilfsmittel dagegen uns Wechselströme liefern, deren Frequenz

sich nach Millionen in der Sekunde beziffert. Die Übertragbarkeit von elektrischen Impulsen wird also dadurch auf 10 000 mal größere Entfernungen gesteigert.

Mit welcher kunstvollen Einrichtungen muß die Maschine versehen sein, welche die Wechselzahl der Ströme in so erstaunlicher Weise vermehrt, daß schon ihr bloßes Zählen die Fähigkeit unserer Sinne weit übersteigt!

Als Faraday am Ende seines Lebens von einer Dame gefragt wurde, was die Elektrizität denn eigentlich sei, antwortete er: „Vor vierzig Jahren hätte ich geglaubt, die Frage beantworten zu können, heute vermag ich es nicht.“ Was würde er geantwortet haben, wäre ihm die Leistungsfähigkeit jener wunderbaren Maschine in ihrem vollen Umfange bekannt gewesen, jener Maschine, welche aus der Werkstatt der Natur unmittelbar ohne menschliches Zutun hervorgeht und die schon in den Kindheitstagen der Elektrizität den unbeholfenen Händen und Sinnen der Menschen zum ahnungslosen Spiel und unverstandenen Gebrauch sich auslieferte? Es ist der elektrische Funke, der diesen kunstvollen Mechanismus in sich birgt und seine erstaunliche Wirkung in dem rätselvollen Experiment der Frau Galvani's der Menschheit zum ersten Male offenbarte.

Der elektrische Funke ist nach der üblichen Ausdrucksweise der plötzliche Ausgleich entgegengesetzt gespannter Elektrizitäten. Dieser Ausgleich vollzieht sich zwar in der Form eines elektrischen Stromes, ist aber durchaus nicht etwa als ein einmaliger Austausch zu betrachten. Vergleichen wir die übertretenden Elektrizitätsmengen mit einer ungeheuren Anzahl elastischer Bälle, die hinübergeworfen werden und wieder zurückprallen und dieses Spiel in unermüdlicher Folge wiederholen, so kommen wir zu einem treffenden Bilde. Unfaßbar unseren Sinnen und durch mechanische Analogien

nicht zu erläutern bleibt aber die ungeheure Geschwindigkeit, mit der dieser pendelnde Ausgleich sich vollzieht. Die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel wäre ein kindlicher Vergleich mit dem oszillierenden Sturm der elektrischen Partikel, die in einer Sekunde viele Millionen Mal in dem Funken ricochettieren.

Und doch, wenn ich alle Mittel in Anwendung bringe, die geeignet sind, die Geschwindigkeit herabzusetzen, kann ich dieses absetzende Ballspiel in seine einzelnen Phasen zerlegen. Wir wollen den von einem Funken F erzeugten Wechselstrom durch eine evakuierte Röhre G leiten, welche in bekannter Weise dadurch zum Leuchten kommt, und den Lichtstreifen in einem rotierenden Spiegel S betrachten, Fig. 103. Das Bild wird dadurch zu einem breiten leuchtenden Bande auseinandergezogen. Bei näherer Betrachtung aber löst sich dieses Band in eine Reihe von parallelen Streifen mit abnehmender Breite und Helligkeit auf. Hierbei erkennen wir die absetzenden, hin- und herschwingenden Entladungen, welche der Funke hervorruft.

Wir können den Vorgang vergleichen mit der schwingenden Saite der Violine oder mit der vibrierenden Bewegung, in welche die entspannte Sehne einer Armbrust versetzt wird. Nach Auslösung der Spannung dauert es geraume Zeit, ehe diese zitternde Bewegung zur Ruhe kommt. Ganz ähnlich ist die schwingende oszillierende Entladung, wenn

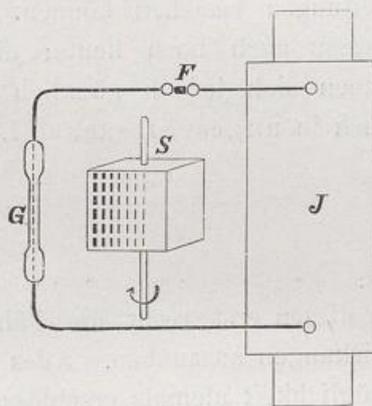


Fig. 103.

die elektrisch gespannten Kugeln durch den springenden Funken in Verbindung gesetzt werden.

Die schnell oszillierenden Funkenströme haben nun aber weiter eine merkwürdige Eigenschaft, die wir noch vor dreißig Jahren als ganz unmöglich und allen Grundlehren der Elektrizität widersprechend bestritten hätten. Wir haben damals gelernt, daß elektrische Ströme nur in geschlossenen Leitungen bestehen können. Für Gleichströme gilt dieses Gesetz auch noch heute; die oszillierenden Funkenströme haben sich jedoch gänzlich davon freigemacht; sie können auch in ungeschlossenen Leitern bestehen, ja sie entwickeln

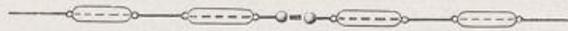


Fig. 104.

in diesen erst recht die Fähigkeit, weittragende Induktionswirkungen auszuüben. Alles Philosophieren würde uns diese Möglichkeit niemals erschlossen haben; ein einfacher Versuch führt es uns aber unmittelbar vor Augen. Mithilfe des bekannten Ruhmkorff'schen Induktoriums erzeuge ich zwischen zwei kleinen Metallkugeln ein dauerndes Funkenspiel — eine Reibungselektroskopmaschine oder eine Influenzmaschine könnte ebenso gut dazu dienen. Mit beiden Kugeln habe ich nach rechts und links gradlinig ausgespannte Drähte verbunden, die isoliert an den Wänden des Saales befestigt sind, Fig. 104. Eingeschaltet in diese Drähte sind ein Paar gewöhnliche Glühlampen mit linearem Faden. Das Aufleuchten derselben zeigt uns unwiderleglich, daß sie von einem Strom durchflossen werden. Von den sich entladenden Kugeln stürzen sich die elektrischen Ströme gleichsam nach beiden Seiten in die offenen Leitungen, werden am Ende reflektiert und wiederholen dieses Spiel einige Millionen mal in der Sekunde.

Sie haben bemerkt, daß die beiden Glühlampen in der Nähe der Funkenstrecke stärker leuchten als die anderen. Schalteten wir Meßinstrumente an verschiedenen Stellen in die Leitungen, so würden wir die Ströme sogar messen können. Eine auffallende Tatsache würde sich dabei enthüllen: die Stärke der elektrischen Strömung ist nicht an allen Stellen die gleiche. Hier in der Mitte des Saales, in

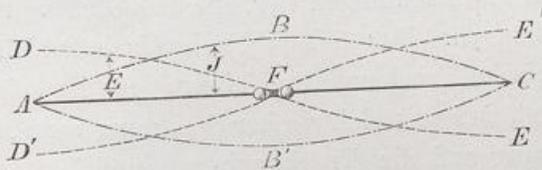


Fig. 105.

der Nähe der Funkenstrecke, würden die Amperemesser wesentlich größere Ausschläge zeigen als dort in der Nähe der freien Drahtenden. Tragen wir die größten Stromstärken als positive und negative Ordinaten an den verschiedenen Stellen der Drähte auf, so erhalten wir den gesetzmäßig gerundeten Bauch einer Sinuslinie, $A B C$, Fig. 105. An den Drahtenden, den Reflexstellen, sinkt die Strömung auf null. In der Funkenstrecke, wo die hochohitzten Gase und Metalldämpfe die beiden Drähte leitend verbinden, erreicht die pendelnde Strömung ihren größten Wert.

Noch an einer anderen Eigenschaft können wir die Eigentümlichkeit der Erscheinung erkennen. Jedes Teilchen der Drähte nimmt eine elektrische Spannung an, welche aber eine Wechsellspannung ist und ähnlich wie der Strom an jeder Stelle millionenmal in einer Sekunde zwischen einem positiven und negativen Größtwert schwankt. Diese Wechsellspannungen befolgen nun das entgegengesetzte Verhalten wie die Ströme: sie erreichen ihre höchsten Schwankungen an den freien

Enden, *DD'* und *EE'*, Fig. 105, und zeigen in der Nähe der Funkenstrecke nur geringe Werte.

Der experimentelle Nachweis dieser Erscheinungen ist nicht so einfach wie bei den Strömen. Könnten wir diesen Saal völlig verdunkeln, so würden wir allerdings wahrnehmen, daß die Enden der Drähte leuchten. Das rührt nicht von einem Stromdurchgang wie bei den Glühlampen, sondern von elektrischen Ausstrahlungen her, die lediglich von den Spannungen abhängen. Der sichere Nachweis läßt sich durch die photographische Trockenplatte führen. Es ist schon längere Zeit bekannt, daß mit elektrischer Spannung versehene Körper bei Berührung auf die Trockenplatte einwirken. Beim Entwickeln derselben erhält man strahlenartige Figuren mit feinen und scharfen Verästelungen. Vor einigen Jahren erregte ein Russe namens Jodko die allgemeine Aufmerksamkeit durch Veröffentlichung von strahlenartigen Photographien, die er erhalten hatte durch Auflegung von menschlichen Händen auf die geschützte Trockenplatte. Man konnte die Form der Hände deutlich erkennen und sah besonders von den Fingerspitzen merkwürdige fiederartige Gebilde ausgehen. Die Spiritisten vermuteten darin sofort übernatürliche Kräfte, wurden aber bald durch den geistvollen und witzigen Dr. Jacobsen ad absurdum geführt. Dieser zeigte Handbilder mit den merkwürdigsten Strahlungserscheinungen und verriet das Geheimnis ihrer Herstellung erst, nachdem die Begeisterung ihren Gipfelpunkt erreicht hatte: er hatte warme Jauersche Würste kunstvoll zu einer Hand vereinigt und auf die Platte gelegt. Die Jodko'schen Figuren waren also lediglich eine Folge der menschlichen Wärme. Die Einwirkung elektrisierter Körper auf die Trockenplatte bleibt indessen unbestreitbar. Die kurze Bestrahlung eines lichtempfindlichen Bandes, das ich mit dem Draht in seiner ganzen Länge zur Berührung

brachte, zeigte deutlich eine Zunahme der elektrischen Spannung nach dem freien Ende hin, und weitere eingehende Versuche ergaben sogar ein einwandfreies Sinusgesetz für diese Zunahme, Fig. 106.

Nach dem, was ich vorhin über die Fernwirkung durch Induktion pulsierender Ströme ausgeführt habe, kann es nun



Fig. 106.

nicht wundernehmen, daß die hohe Frequenz der pulsierenden Funkenströme in offenen Leitern besonders kräftige Fernwirkungen liefert. Und in der Tat läßt sich der Nachweis mit Leichtigkeit führen. Ich habe hier parallel zu den von dem Funkenstrom gespeisten Drähten einen zweiten völlig isolierten Draht durch die ganze Länge des Saales gezogen. Sobald wir die Funkenstrecke des Primärdrahtes in Tätigkeit setzen, wird der Sekundärdraht von ganz ähnlich verlaufenden Induktionsströmen durchzuckt. Sie sind zwar so schwach, daß ich sie mit den rohen und einfachen Hilfsmitteln, die mir hier zur Verfügung stehen, nicht dem ganzen Auditorium zeigen kann. Wohl aber kann ich die ebenso erzeugten entsprechenden Wechselspannungen an diesem Draht zur Wahrnehmung bringen. Ich wähle dazu die bekannten luftentleerten Geißler'schen Röhren; setze ich sie einer Wechselspannung aus, so leuchten sie auf. Hier am Ende des Drahtes geben sie ihr volles Licht, in der Mitte desselben leuchten sie nicht. Der Verlauf der Spannungen an diesem Sekundärdraht ist nun, wie Untersuchungen gezeigt haben, genau dem Schwingungszustand des Primärdrahtes entsprechend. Sogar das Gesetz der Sinuslinie wird diesen Spannungen aufgeprägt. Ebenso läßt sich zeigen, daß die elektrische Strömung in der

Mitte des Drahtes ihren Größtwert erreicht und nach den Enden hin abnimmt; vergl. Fig. 107 b.

Besonders merkwürdig ist aber das Folgende: Schneide ich den Sekundärdrabt in der Mitte durch, so bildet sich in jeder Hälfte des Drahtes eine eigene Schwingung aus, die

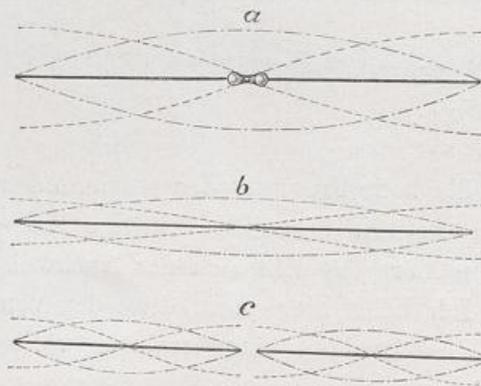


Fig. 107.

durch die Länge des Drahtes bestimmt ist, Fig. 107 c. Wem fällt hier nicht der Vergleich mit einer Klaviersaite ein, die in einem tiefen Grundton schwingt und zwei halb so lange Saiten durch Resonanz zum Mitschwingen in dem eine Oktave höher liegenden Oberton veranlaßt? In der Tat,

die Analogie mit dem Tönen schwingender Saiten ist eine völlige und wird uns bei den weiteren Betrachtungen wertvolle Fingerzeige für das elektrische Mittönen von Drähten bieten können.

Die einander zugekehrten Enden der halblangen Drähte nehmen Spannungen an, deren Polaritäten entgegengesetzt sind. Nähern wir die Enden, so nehmen wir deshalb ein Funkensprühen wahr. Es ist, als ob die Stromwelle, die in den Drähten induziert ist, hier an der Unterbrechungsstelle zwischen den Drähten hinüberspritzt, ähnlich wie die Wasserwelle über ein Hindernis in Millionen von glitzernden Tropfen. Sie können von Ihren Plätzen aus diese Funken nicht sehen; ich will aber eine Wirkung damit hervorrufen, die allen sichtbar wird. Ich schalte zwischen die freien Enden der Drähte

die Kohlenstäbe einer Bogenlampe, welche an die hier vorhandene elektrische Leitung angeschlossen ist. So lange die Stäbe sich nicht berühren, kann der Gleichstrom aus der Leitung von Kohle zu Kohle nicht übertreten. Lasse ich nun aber die primäre Funkenstrecke spielen, so spritzen an den Kohlen feine Funken über, bilden eine Brücke für den Gleichstrom, und die Lampe leuchtet auf.

Wie sollen wir nun die eigentümliche Wirkung erklären, deren Zeugen wir soeben gewesen sind? Es sind dieselben Kräfte, welche den Froschschenkel zum Zucken brachten; sie breiten sich aus durch den Raum, sie durchdringen unsere Körper, durchbrechen die dicken Steinwände dieses Hauses und pflanzen sich fort durch das grenzenlose Weltall. Man hat die Geschwindigkeit der Ausbreitung gemessen; sie stimmt überein mit der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/sk. Befände sich etwa auf dem Mars zu dieser Stunde ein Berufsgenosse, vertieft in das Studium der gleichen Erscheinung, und ständen, der vorgeschrittenen Kultur der Marsbewohner entsprechend, unendlich viel feinere Hilfsmittel zum Erkennen dieser Kräfte zu seiner Verfügung, genau nach 3 Minuten würde das Leuchten einer Röhre, das Licht einer Bogenlampe oder das Zucken einer höher organisierten frischen Tierleiche ihm Kunde geben von unserem Tun. Sie sehen, bis auf diese kleinen Voraussetzungen ist Tesla durchaus im Recht, wenn er mit dichterischer Phantasie von einer Mars-Telegraphie der Zukunft träumt.

Es ist aber eigentlich auch nicht viel mehr als dichterische Phantasie, wenn wir uns nach der üblichen Anschauung den Weltraum als ein unendliches Äthermeer vorstellen, dessen Wellenschlag die elektrischen Kräfte weiterleitet. Es ist bekannt, daß die Fortpflanzung des Lichtes in ähnlicher Weise erklärt wird, und daß man in dem Licht selbst eine elek-

trische Erscheinung vermutet, deren Wellenfrequenz noch millionenmal größer ist. Ich muß es mir versagen, auf diesen interessanten Zusammenhang hier näher einzugehen, möchte aber daran erinnern, wie schnell die Vorstellung des Lichtes als Wellenbewegung in unsere Denk- und Ausdrucksweise

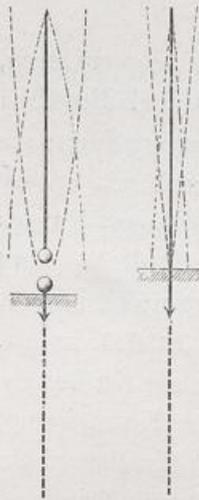


Fig. 108.

übergegangen ist. Wir reden von den „Fluten des Lichts“, Goethe läßt Faust „die irdische Brust im Morgenrot baden“ und schildert das All als „ein ewiges Meer, ein wechselndes Weben“. Die Ätherstürme der Sonne tragen ihre Wellenschläge zu uns, sie brechen sich an der Netzhaut unseres Auges und verschaffen uns die Empfindung des Lichtes. Schallwellen überträgt der Äther nicht — zu unserem Glück, denn mit den Strahlen des Lichtes würde uns sonst auch der ungeheure Spektakel auf der Sonne zugetragen. Die „Sphärenmusik“ ist nur eine dichterische Lizenz.

Kehren wir nach dieser kleinen Abschweifung wieder zu unserem elektrisch schwingenden Draht zurück. Bisher haben wir mit den Kugeln oder sogenannten Polen der Funkenstrecke nach beiden Seiten hin Drähte verbunden. Eine neue wertvolle Eigenschaft derselben erkennen wir, wenn wir den einen Pol mit der Erde verbinden und den Draht vom andern Pol senkrecht in die Höhe führen, Fig. 108. Die Verteilung der elektrischen Spannung an diesem Draht verändert sich dadurch nicht, ebensowenig die Ströme. Es ist genau so, als nähme in der Erde ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes die auf- und niederzuckenden Ströme auf. Stellen wir ebenso die eine Hälfte des Sekundärdrahtes senkrecht und legen das

untere Ende an Erde, so vollzieht sich die Induktion in unveränderter Weise, auch hier können wir die Erde durch ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes ersetzt denken, Fig. 108. Die Tragweite der Wirkung, die Entfernung, auf welche wir die elektrischen Impulse senden können, nimmt dabei zu. Es scheint so, als ob in der Erde eine zweite Bahn für die Weiterleitung der elektrischen Stöße oder Schwingungen sich darböte; Tesla hat sogar eine Telegraphie, lediglich durch die Erde, darauf gegründet. Daß dies in gleicher Weise wie bei den Drähten auf Induktion durch Ströme zurückgeführt werden könne, muß bezweifelt werden. Ich möchte vielmehr vermuten, daß es sich um Spannungserschütterungen handelt. Zweifellos hat die Erde eine bestimmte elektrische Spannung, deren wahre Größe uns unbekannt ist; da sie sich als ein unendlich großer Behälter darstellt, so ist ihre mittlere Gesamtspannung sicherlich als eine nur wenig veränderliche Größe aufzufassen, etwa wie die mittlere Tiefe der Weltmeere. Man nimmt sie deshalb auch als willkürlichen Nullpunkt der Spannung an und zählt elektrische Spannungen, die größer sind, als positiv, solche die kleiner sind, als negativ.

Nun ist uns bekannt, daß lokale Erschütterungen der Erdspannung sich auf weite Entfernungen bemerkbar machen, wie der Sturm in der Mitte des Ozeans nach einiger Zeit seine Wellen bis an die Küste sendet. Die große Wechselstrom-Zentrale in Deptford bei London erhielt eines Tages Erdschluß, und die dadurch hervorgerufenen Störungen des Erdpotentials machten sich in Paris an den feinen Meßinstrumenten des Observatoriums, die mit der Erde in Verbindung standen, deutlich bemerkbar.

Die wesentliche Steigerung der Induktionserscheinung durch Erdverbindung soll uns wieder ein Experiment zeigen. Wir legen den einen Pol des Induktoriums an Erde und ver-

binden mit dem andern einen mit feinen Kupferdrähten besponnenen Bindfaden. Eine zweite Schnur aus gleichem Material spannen wir 1 m entfernt parallel dazu aus und legen das eine Ende derselben gleichfalls an Erde. Wenn wir nun den Saal verdunkeln, können Sie deutlich die mehrere Zentimeter langen Funken sehen, die ich aus dem Sekundärdrabt ziehe. Jetzt werden Sie auch ein Leuchten beider Drähte bemerken. Hätte ich die Drähte nicht parallel, sondern senkrecht zu einander angeordnet, würden Sie ein solches Leuchten nicht wahrnehmen.

Die durch Erdverbindung eines Poles der Funkenstrecke am ausgespannten Draht des andern Poles hervorgerufene Erscheinung ist dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Wechselspannungen von der Funkenstrecke aus nach dem freien Ende des Drahtes hin stetig zunehmen, während die hin- und herzuckenden Wechselströme in der Nähe der Funkenstrecke ihre größten Werte erreichen und nach dem freien Ende des Drahtes hin abnehmen. Die Zunahme des Leuchtens nach dem freien Ende des Drahtes hin haben Sie bei dem Experiment nicht wahrnehmen können. Dies rührt daher, daß ich durch einen Kunstgriff, dessen Erörterung mich hier zu weit führen würde, die Drähte künstlich verlängert habe, um das Phänomen zu verstärken. Was Sie gesehen haben, waren tatsächlich nur die äußersten Enden wesentlich längerer Drähte. Die Stellen der größten Schwankung nennt man in der Theorie der schwingenden Saiten die Schwingungsbäuche, die Orte der Ruhe, an denen eine Schwingung nicht bemerkbar ist, dagegen Schwingungsknoten. Übertragen wir diese Bezeichnung auf den elektrisch schwingenden Draht, so müssen wir sagen: die elektrischen Wechselspannungen besitzen an der Spitze einen Bauch, an der Funkenstrecke einen Knotenpunkt, die Wechsel-

ströme dagegen haben an der Funkenstrecke den Bauch und an der Spitze den Knotenpunkt.

Dies führt uns dazu, ein ganz ähnliches mechanisches Beispiel zu betrachten. Ich habe hier ein federndes Stück Bandeisen von 1 m Länge mit einem Ende in einem Schraubstock festgespannt. Schlage ich an irgend einer Stelle mit dem Hammer dagegen, so versetze ich das Eisen in Schwingungen von gesetzmäßiger Frequenz, die ich aus den Abmessungen und der Elastizitätskonstanten des Eisens berechnen kann. Der Schwingungsfrequenz, die sich der Luft mitteilt, entspricht die Tonhöhe, die wir hören. Sie bleibt unverändert, an welcher Stelle ich das Eisen auch berühre. Wir erkennen also eine dem Eisen eigentümliche Schwingungsfrequenz, seine Eigenfrequenz, die, wie ein Versuch sofort ergibt, nur von der Länge des schwingenden Bandes abhängt. Die seitlichen Ausbiegungen, welche der Stab erfährt, seine Amplituden, sind am freien Ende am größten, an der Befestigungsstelle am geringsten. Umgekehrt sind aber die Biegungsspannungen, die Beanspruchungen des Eisens, an der Spitze am kleinsten, hier unten dagegen am größten. Wir erkennen also an der Spitze einen Bauch für die Bewegungsamplituden, am Schraubstock einen Bauch für die Biegungsspannungen, und umgekehrt ihre Knotenpunkte. Es bestehen also ganz analoge Verhältnisse wie bei dem elektrisch schwingenden Draht.

Nun gestattet uns aber das mechanische Beispiel, die Übertragung der Schwingung auf einen zweiten oder Sekundärdrabt durch eine Wellenbewegung zu veranschaulichen. Ich spanne einen Winkel aus Bandeisen mit gleich langen Schenkeln am Winkelpunkt fest und erschüttere durch einen Schlag mit dem Hammer den einen dieser Schenkel. Sie sehen, daß auch der zweite Schenkel sofort in Schwingung versetzt wird;

die Schwingung hat sich von dem ersten Schenkel durch den Knotenpunkt auf den zweiten übertragen. Dies geschieht aber nur dann, wenn die Schenkel gleich lang sind, wenn also die Eigenfrequenz des zweiten Schenkels mit der durch den Knotenpunkt auf ihn übertragenen völlig übereinstimmt. Wiederhole ich das Experiment mit ungleichen Schenkeln, so bleibt die Bewegungsübertragung aus. Zum guten Gelingen des Experimentes ist aber erforderlich, daß der Knotenpunkt

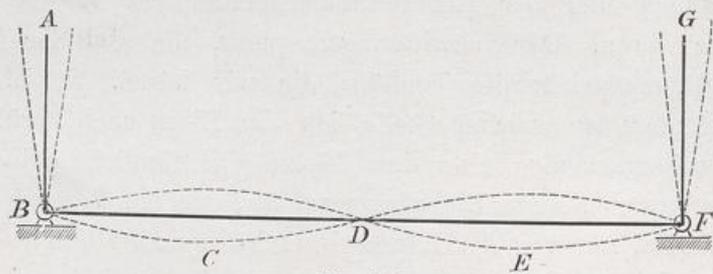


Fig. 109.

eine geringe Erschütterung erfährt; würde er völlig festgehalten sein, könnte die Bewegungsübertragung nur durch Molekularkräfte im Eisen erfolgen: die Erschütterung würde nicht sichtbar werden, vorhanden ist sie aber trotzdem.

Die weitere Betrachtung geschieht am besten anhand einer Skizze, Fig. 109. $ABFG$ sei ein elastischer Stab von der sechsfachen Länge des freien Schenkels AB . Jede Erschütterung desselben pflanzt sich durch den Knotenpunkt B nach C fort und erzeugt dort einen Schwingungsbauch von gleicher Frequenz. Dieser überträgt sich durch den freien Knotenpunkt D nach E und von hier durch den Knotenpunkt F auf den Sekundärstab FG , welcher wie der Primärdraht AB wieder senkrecht angeordnet sein mag. Jede Erschütterung des Primärdrahtes bewirkt eine synchrone Schwingung des Sekundärdrahtes, die Übertragung der Bewegung erfolgt

doppelte Frequenz des Primärdrahtes, wenn der Draht an beiden Enden isoliert ist; in der Mitte entsteht ein Knotenpunkt für die Spannung, an beiden Enden ein Bauch. Der Draht schwingt gewissermaßen nur in einem Oberton. Um den starken Grundton, d. h. Sekundärschwingungen gleicher Frequenz zu erhalten, müssen wir dem Sekundärdraht entweder die doppelte Länge geben oder ihm am unteren Ende die Spannung null aufdrücken, indem wir ihn erden; vergl. *FG*, Fig. 110.

Im letzteren Falle können wir annehmen, daß die Übertragung sich in ganz entsprechender Weise vollzieht wie bei dem mechanisch schwingenden Eisenstab. Die Schwingungen teilen sich einem elastischen Mittel mit, dem Äther innerhalb und außerhalb der Erde, und tragen den elektrischen Impuls in der Form von stehenden Wellen bis an den Sekundärdraht. Die beste Wirkung ergibt sich hiernach, wenn beide Drähte auf gleiche Frequenz gestimmt, d. h. von gleicher Länge sind. Der Primärdraht entspricht einem Viertel dieser Wellenlänge. Sind die Längen der Drähte nicht in Übereinstimmung, so wird der Sekundärdraht zwar auch durch den ersten Anstoß in Eigenschwingung versetzt, aber mit wesentlich geringerer Intensität. Ist seine Länge dagegen ein ungerades Vielfaches des Primärdrahtes, so unterstützen die einzelnen Impulse die eingeleitete Eigenschwingung und verstärken sie.

Die Natur zeigt uns ähnliche Erscheinungen in großer Fülle. Es ist bekannt, daß die Schwingungen eines Schiffes für ganz bestimmte Umlaufzahlen der Maschine, die den Eigenschwingungen des Schiffskörpers entsprechen, am fühlbarsten sind. Verhängnisvoll für eine eiserne Brücke kann der Gleichschritt marschierender Soldaten werden. Das angenehme Fahren in den langen D-Wagen der Eisenbahn rührt

nicht zum wenigsten davon her, daß ihre Eigenschwingungen gegenüber der Frequenz der Schienenstöße verringert sind.

Wir kommen nun zu den Mitteln, welche angewendet werden müssen, um die elektrischen Induktionserscheinungen am Sekundärdrabt zur Wahrnehmung zu bringen. Wir wollen diese Einrichtungen als Indikatoren bezeichnen. Es ist ohne weiteres klar, daß sich hierfür zwei Wege darbieten, je nachdem wir den Strom oder die Spannung dazu heranziehen. Beide müssen aber, zur Aufnahme der größten Wirkung, in die ihnen entsprechenden Schwingungsbäuche eingeschaltet werden. Diejenigen Einrichtungen, welche auf Wechselströme ansprechen, sind in dem unteren Teil des Fangedrahtes, dicht über der Erdungsstelle, anzubringen, denn dort ist der Schwingungsbauch für die Ströme. Spannungsindikatoren wären dagegen, wenn möglich, an der Spitze des Fangdrahtes anzuordnen. Daß beide Mittel außerordentlich empfindlich und präzise wirkend sein müssen, ist selbstverständlich.

Ich will zunächst mit wenigen Worten die Stromindikatoren behandeln. Das durch hohe Empfindlichkeit ausgezeichnete Telephon ist für sich allein nicht verwendbar; seine Spule würde, in den Fangedraht unmittelbar eingeschaltet, durch ihre hohe Selbstinduktion die herangeführten schnellen Schwingungen gleichsam abdrosseln und wirkungslos bleiben. Vorzüglich geeignet ist aber das Telephon in Verbindung mit einem Mikrophon, Fig. 111. Der Mikrophonkontakt *M* hat an sich nur einen geringen Widerstand und kann in die Erdleitung des Fangedrahtes eingeschaltet werden, ohne die elektrischen Schwingungen zu stören. Die ganz schwachen Wechselströme, welche durch den Kontakt hindurchgeführt werden, lagern sich über den Gleichstrom, den eine Batterie *B* ständig durch den Mikrophonkreis sendet, und versetzen ihn in geringe Schwingung, ähnlich wie die leise Berührung

einer Libelle oder die Flaumfeder eines Vogels die stille Fläche eines Weihers kräuselt. Werden diese Schwingungen durch eine Induktionsspule in bekannter Weise transformiert, so können wir sie mit dem Telephone wahrnehmen. Allerdings

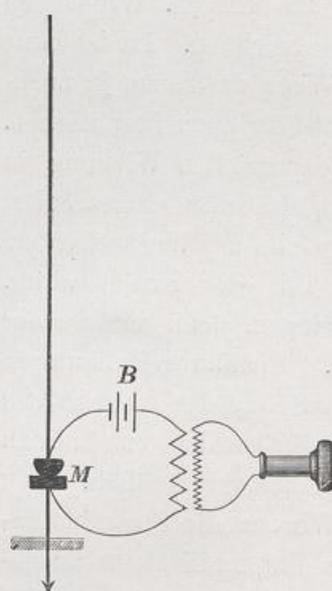


Fig 111.

entspricht der Ton nicht den schnellen Schwingungen, welche die Funkenstrecke aussendet — denn unser Ohr vermag nur Schwingungen bis zu 40 000 in der Sekunde wahrzunehmen, hier aber handelt es sich um Millionen —, wohl aber den ersten Stößen des Wogenschwalles, den das Einsetzen des Funkens auslöst; mithin entspricht der gehörte Ton den Unterbrechungen der Primärrolle des Induktoriums.

Der Mikrophon-Empfänger ist das bei weitem empfindlichste Mittel, welches wir zur Aufnahme funkentelegraphischer Signale verwenden können. Zwischen der

Zentrale Schiffbauerdamm in Berlin und dem Kabelwerk Oberspree, 15 km in der Luftlinie entfernt und getrennt durch Berlin in seiner größten Ausdehnung von Nordwest nach Südost, konnte eine vollkommen sichere Verständigung mit 12 m langem Auffangedraht erzielt werden, der noch dazu völlig im Schatten großer Gebäude lag.

Wunderbarerweise ist aber der Mikrophon-Empfänger nicht nur der allerempfindlichste, sondern auch der älteste, und zwar war es der geniale Erfinder des Mikrophons selber, Professor Hughes, der Ende der siebziger Jahre diese Eigen-

schaft entdeckte. Er erzählt, wie er mit seinem Mikrophon ausgerüstet die lange Straße in der er wohnte, hinunterschreitend deutlich das absetzende Funkenspiel des in seiner Wohnung befindlichen Induktoriums hören konnte. Eine eigene Fügung des Schicksals hielt ihn davon ab, die Entdeckung weiter zu verfolgen. Einige gelehrte Freunde, die er einlud, dem Experimente beizuwohnen, überzeugten sich zwar von der Richtigkeit desselben, fanden aber die Erklärung des Erfinders, der die Wirkung auf elektrische Ausstrahlungen der Funkenstrecke zurückführen wollte, so absurd, daß sie ihm ernstlich abrieten, einen Vortrag darüber in der Royal Society zu halten, weil sie fürchteten, sein wohlgegründeter wissenschaftlicher Ruf könnte dabei Schaden leiden. Die Zunftgelehrsamkeit erwies sich hierbei nicht zum ersten Mal als ärgster Feind der Wissenschaft.

Leider ist die Verwendung des Mikrophon-Empfängers auf einzelne Fälle beschränkt. Die schwachen Wellenströme, welche er aufnimmt, lassen sich zwar im Telephon hörbar machen, gestatten aber nicht die Benutzung eines Relais mit Schreibvorrichtung, um die Zeichen in Morse-Schrift festzulegen. Für viele Zwecke ist dies aber eine nicht zu umgehende Forderung.

Dieser Bedingung läßt sich nun aber in weitestgehendem Maße genügen, wenn wir zur Aufnahme der elektrischen Schwingungen Spannungsindikatoren benutzen. Einen solchen haben wir bereits vorhin beim Anzünden der Bogenlampe kennen gelernt. Im Spannungsbauch der schwingenden Drähte stellten wir durch Funkensprühen den Kurzschluß eines Gleichstromkreises her und lösten dadurch bereitstehende elektrische Kräfte aus, welche die Signalgebung in beliebig verstärkter Form gestatten. Hier bei der geringen Entfernung erhielten wir millimeterlange Funken und konnten

durch verhältnismäßig einfache und rohe Mittel die Wirkung verstärken und die Signale weithin sichtbar machen. Bei Entfernungen von 100 km und mehr sind die am Spannungsbauch der Drähte zu erhaltenden Funken millionenmal kleiner, es sind deshalb entsprechend feinere Mittel zu wählen.

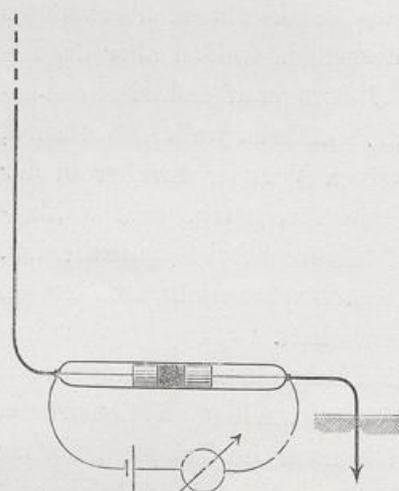


Fig. 112.

Die moderne Funkentelegraphie ist erst möglich geworden durch die Erfindung eines hochempfindlichen Spannungsindikators, nach seinem Erfinder die Branly'sche Röhre oder Fritter genannt. Ich darf in dieser Versammlung die Wirkungsweise des Fritters im allgemeinen wohl als bekannt voraussetzen und kann mich kurz fassen. In einer evakuierten Glasröhre, Fig. 112, befinden sich zwei eingeschliffene Silberkolben, zwischen denen ein feines Metallpulver in loser Schichtung einen fast unendlich großen Übergangswiderstand bildet. Mit den Silberkolben sind Platindrähte verbunden, die, in die Glaswand eingeschmolzen, einerseits dazu dienen, die elektrischen Schwingungen des Fangedrahtes an das Pulver heranzuführen, andererseits einen Stromkreis zu schließen, in dem sich außer einem kleinen Trockenelement noch ein Relais befindet. Wird die Röhre einer pulsierenden Wechselspannung ausgesetzt, so schließen die unendlich feinen Funken, die in dem Metallpulver auftreten, den Relaiskreis und geben durch den Schluß

einer stärkeren Lokalbatterie ein niederschreibbares Zeichen. Dabei bilden sich aus kondensierten Metallteilen lose Brücken. Die geringe Erschütterung eines gegen die Röhre schlagenden Klöppels bringt die Brücken zum Zerfall und stellt den unendlich großen Widerstand der Röhre wieder her. Durch kürzere oder längere Zeichengebung kann man somit Punkte und Striche des Morsealphabets erzeugen.

Wie mehrfach erwähnt, muß der Fritter, da er nur auf Spannungen anspricht, tunlichst in einem Spannungsbauche angeschlossen werden. Vergegenwärtigen wir uns nun die Verhältnisse am Fangedraht. Wollen wir den starken Grundton der Schwingung ausnutzen, müssen wir den Fangedraht unten erden; dann bildet sich aber der Spannungsbauch an der Spitze aus, die für uns unzugänglich ist. Es hat langer Überlegungen und eingehender Studien bedurft, ehe das überaus einfache Mittel gefunden wurde, den zündenden Funken des Spannungsbauches aus luftiger Höhe in erreichbare irdische Nähe zu bringen. Das Experiment mit den schwingenden Eisenbändern gibt uns jetzt einen deutlichen Fingerzeig. Schließen wir in der Nähe der Erdungsstelle an den Fangedraht einen gleichgestimmten Verlängerungsdraht, so pflanzen sich die Schwingungen durch den Knotenpunkt fort und bilden am Ende dieses Drahtes einen Spannungsbauch in ähnlicher Größe wie an der Spitze. Der Verlängerungsdraht braucht nicht geradlinig geführt zu werden; wir können ihn auch aufrollen zu einer elektrisch äquivalenten Spule Fig. 113.

Jedes richtige Mittel pflegt aber eine Reihe von günstigen Nebenwirkungen mit sich zu führen. So auch hier. Die Erdverbindung des Fangedrahtes schützt den Fritter vor unbefugten elektrischen Störenfriede. Zu den unerträglichsten gehörten früher die elektrischen Entladungen der Atmosphäre.

Es ist bekannt, daß in den höheren Schichten der Luft andere elektrische Spannungen herrschen als in der Nähe der Erdoberfläche; zudem wechseln diese Spannungen besonders an schwülen Tagen. Es war früher keine Freude für den Funkentelegraphisten, wenn die geschwätzige Atmosphäre mit un-

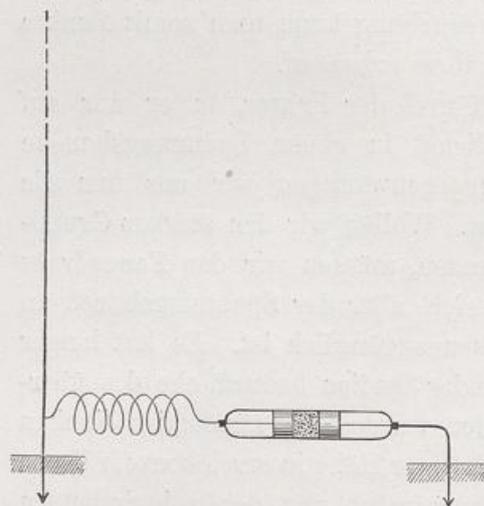


Fig. 113.

aufhörlichem Geplapper seine Morsezeichen verwirrte. Dieser Störenfried ist jetzt endgültig beseitigt, und zwar so nachdrücklich, daß eine fehlerfreie Zeichengebung mitten im stärksten Gewitter möglich ist, wie dies mehrfache Versuche in Berlin gezeigt haben. Das herannahende Gewitter, dessen Donner wir soeben hören, gibt mir

erwünschte Gelegenheit, die Störungsfreiheit an den hier aufgestellten Vorrichtungen zu zeigen.

Die besprochene Schaltung sichert aber auch gegen das Eindringen nicht abgestimmter Zeichen eines fremden Funkengebers; allerdings darf er nicht allzu nah aufgestellt und allzu wirksam sein. Dann tritt der Fall ein, daß der Empfänger durch den ersten Stoß des Funkens in geringe Eigenschwingungen versetzt wird. Bei größeren Entfernungen reichen diese einmaligen Stöße nicht aus, sondern das Ansprechen erfolgt erst, wenn die zahlreichen Pulsationen des einzelnen Funkens in ihrem Zeitmaß mit den Perioden der Eigenschwingung zusammentreffen und dadurch die Wirkung

allmählich verstärken. Was ich allmählich nenne, vollzieht sich allerdings in Bruchteilen von zehntausendstel Sekunden.

Die Sicherheit der Zeichengebung ist durch Anwendung dieser Schaltungen nicht nur wesentlich erhöht, sondern die Übertragungsweite auch beträchtlich vergrößert worden. Von hoher praktischer Bedeutung ist der Umstand, daß vorhandene Erdleiter, wie Blitzableiter und eiserne Schiffsmaste, ohne weiteres zum Geben und Empfangen der Funkentelegramme benutzt werden können. Die Abstimmung korrespondierender Apparate sowie das gleichzeitige Empfangen verschiedener Telegramme mit einem Fangedraht ist, wie ich bei einer früheren Gelegenheit durch Versuche beweisen konnte, als eine nunmehr gelöste Aufgabe zu betrachten.

Die Mittel zur Vervollkommnung der Funkentelegraphie sind aber damit nicht erschöpft. Legen wir uns zunächst die Frage vor, wie ein Empfangsapparat bei gleicher Sicherheit der Wirkung empfindlicher gestaltet werden kann, so werden wir in erster Linie an den wesentlichsten Teil des Apparates, den Fritter, denken. Jahrelange Bemühungen haben mir gezeigt, daß alle Bestrebungen, den Fritter empfindlicher zu machen, aussichtslos sind. Es ist dies zwar durchaus möglich durch Benutzung feineren Pulvers bei vermehrter Beimischung von Silber — doch nur auf Kosten der Präzision der Auslösung. Wenn aber ein Fritter durch den leisen Schlag des Klopfers nicht sofort seinen unendlich großen Widerstand annimmt, ist er für praktische Verwendung unbrauchbar. Die Sicherheit des Betriebes der Funkentelegraphie ist zur Zeit noch von erheblich größerer Bedeutung als die Übertragungsweite, denn sie hat zunächst den Nachweis der völligen Zuverlässigkeit zu erbringen. Man wird deshalb gut tun, sich vorläufig mit einer geringeren Empfindlichkeit des Fritters zu begnügen.

Ein anderer Gesichtspunkt ist aussichtsvoller. Die Funkentelegraphie ist eine Energieübertragung, und nur ein bestimmtes Maß von Energie gelangt am Fangedraht zur Aufnahme. Die Energie setzt sich aus Strom und Spannung zusammen; da nun der Fritter ausschließlich auf Spannung anspricht, so wird man darauf Bedacht nehmen müssen, die Spannung des verfügbaren Energiebetrages auf Kosten des Stromes tunlichst zu erhöhen. Marconi hat in neuerer Zeit nach dem Vorgange von Lodge mit Erfolg das Prinzip des Transformators für diesen Zweck in Anwendung gebracht. Ein anderes Mittel ist aber noch wesentlich wirkungsvoller. Ein akustisches Analogon soll uns dieses erläutern. Ich habe hier eine Stimmgabel, welche ich mit einem Hammer berühre und dadurch in Schwingungen versetze. Der Ton ist nur leise — setze ich die Stimmgabel aber auf einen geeigneten Resonanzboden, so schwillt er sofort an zu beträchtlicher Stärke. Eine ähnliche Resonanzwirkung können wir auch bei elektrischen Schwingungen erzielen. Jedem Elektrotechniker ist der sogen. Ferranti-Effekt bekannt. Wenn man die Klemmen einer Wechselstrommaschine mit den beiden Leitern eines offenen Kabels verbindet, kann man die elektrischen Verhältnisse so wählen, daß die Spannung an den Enden des Kabels zu beträchtlicher Größe anschwillt, welche die Spannung der Maschine um ein Vielfaches überschreitet. Es ist dazu nur erforderlich, die elektrischen Dimensionen des Kabels, d. i. Widerstand, Kapazität und Selbstinduktion so zu wählen, daß seine Eigenfrequenz mit der von der Maschine erzeugten Frequenz nahezu übereinstimmt. Das Kabel muß also auf die Frequenz des eingeleiteten Wechselstromes abgestimmt sein.

Verbinden wir nun mit einem von schnell pulsierenden Strömen durchzuckten Drahte eine auf die Frequenz der

Schwingungen abgestimmte Spule mit großer Selbstinduktion bei geringer Kapazität, so erhalten wir an dem freien Ende der Spule eine wesentlich größere Spannung. Die übertragene Energie wird gewissermaßen auf einen stärker schwingenden Resonanzboden übersetzt; die eingeleitete Spannung wird auf Kosten des Stromes gleichsam multipliziert; ich habe darum für diese Einrichtung den Namen Multiplikator vorgeschlagen. Mit einem Transformator hat er nichts gemein, denn bei diesem, wie auch bei dem bekannten Autotransformator oder dem sogen. Spartransformator, haben wir stets mit zwei für sich bestehenden Schwingungskreisen zu tun. Bei dem Multiplikator dagegen wird in eine einzelne Spule niedrig gespannte Energie eingeleitet und am Ende als hochgespannte Energie abgeleitet. Die folgenden Versuche werden Ihnen die merkwürdige Wirkung, die man damit erzielen kann, schneller begreiflich machen, als meine Worte es vermöchten.

(Eine Reihe von abgestimmten Multiplikationsspulen, die alle zugleich an einen Schwingungskreis angeschlossen sind, kommen bei Einstellung verschiedener Frequenzen mit Hülfe einer veränderlichen Selbstinduktion nach einander zur Wirkung und zeigen weithin leuchtende elektrische Strahlungserscheinungen.)

Die vorgetragenen wissenschaftlichen Grundgesetze der Funkentelegraphie, welche aus längeren Untersuchungen hervorgegangen und seit einem halben Jahre Gemeingut geworden sind, wurden von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft unter Leitung des Grafen von Arco zur Ausbildung zahlreicher erfolgreicher Schaltungen für die Funkentelegraphie benutzt, die alle zu beschreiben hier zu weit führen würde, deren neueste Form aber die hier im Saal befindlichen Vorrichtungen darstellen. Ihre Wirkungsweise ist nach dem Gesagten sofort verständlich.

Der Sender, Fig. 114, besteht aus einem an der Fahnenstange des Gebäudes befestigten Draht, der bis hinunter zur Erde geführt und dort mit der Wasserleitung verbunden ist. Eine Schlinge dieses Drahtes ist durch das Fenster hier in den Saal geleitet und wird bei F durch ein Induktorium mit

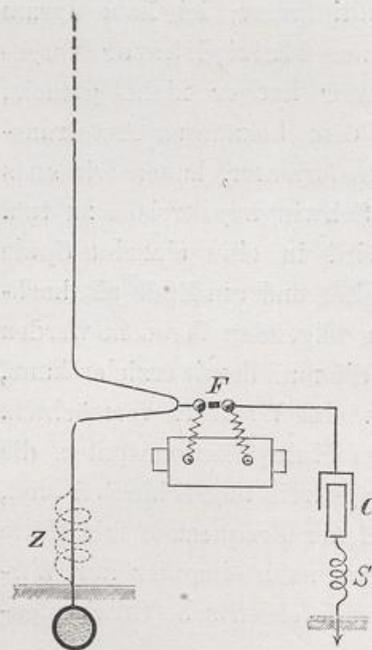


Fig. 114.

Funkensstrom gespeist. Um dies zu ermöglichen, ist der andere Pol der Funkenstrecke durch einen abgestimmten Kondensator C an Erde gelegt. Ähnlich wie das angeschlagene Eisenband des früheren Versuches wird der Draht hier durch elektrische Funken angestoßen und gerät in Schwingungen, deren Wellenlänge der vierfachen Drahtlänge entspricht. Wollen wir mit einer größeren Wellenlänge telegraphieren, so haben wir nur nötig, in die Erdleitung eine Zusatzspule Z zu schalten, die ich durch Punktierung angedeutet habe. Sie entspricht einer be-

stimmten äquivalenten Drahtlänge, um welche wir somit die Viertelwellenlänge vergrößern. Ein ganzer Satz von solchen Ergänzungsspulen steht für diese Verwendung bereit. In jedem Fall ist aber die Schwingung in dem durch die Erdverbindungen geschlossenen Kreise auf die Schwingung des Drahtes abzustimmen, um die größte Wirkung zu erhalten. Dies geschieht in einfachster Weise durch Verstellen einer regulierbaren Selbstinduktion S oder des Kondensators C ,

die zu diesem Zweck mit bestimmten Marken gezeichnet sind.

Als Empfänger, Fig. 115, dient der gleiche Draht, an welchen ebenfalls mittelst der Schlinge ein Verlängerungsdraht in Form einer äquivalenten Spule V befestigt ist. Der Spannungsbauch am Ende derselben wird verstärkt durch eine abgestimmte Multiplikationsspule M und diese unmittelbar mit dem Fritter verbunden. Es ist auch möglich, die Wirkung beider Spulen durch eine einzige von entsprechender Wicklung zu ersetzen. Die Erdleitung des Fritters enthält das Trockenelement und das Relais, welche, um die Schwingungen nicht zu stören, durch einen Kondensator überbrückt sind.

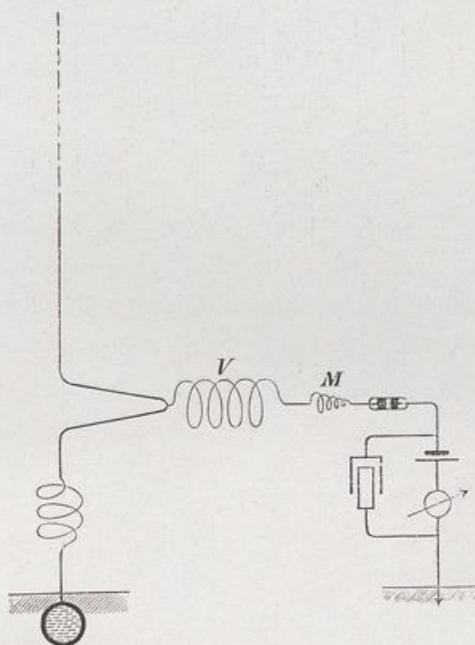


Fig. 115.

ren, durch einen Kondensator überbrückt sind. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft garantiert bei diesen Einrichtungen Abstimmung auf bestimmte Wellenlängen innerhalb der gebotenen Grenzen und sichere Verständigung auf 100 km über See bei 50 m Masthöhe. In letzter Zeit ist es der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gelungen, die Leistungsfähigkeit ihrer Apparate noch wesentlich zu steigern. Zwischen der von der Hamburg-Amerika-Linie in

Duhnen bei Kuxhaven errichteten Landstation und dem Schnelldampfer „Deutschland“ wurden Telegramme bei 150 km Entfernung gewechselt trotz der mäßigen Masthöhe von 32 m an Bord der „Deutschland“.

Fig. 116 zeigt ein solches Telegramm in Autotypie. Man ersieht aus der Klarheit der einzelnen Zeichen, daß die äußerste Grenze der Signalentfernung noch lange nicht erreicht war.

Der Text lautet:

„Zweimal Anruf. Hundert v(!)unzig Kilometer, Zweimal Schlußzeichen.“

„Anfangszeichen. Leben Sie wohl. Zweimal Schlußzeichen.“

„Zweimal Anfangszeichen und Anruf. Auf Wiedersehn. Schlußzeichen.“

Die Funktelegraphie hat, wie Sie hieraus ersehen, das Stadium der tastenden Versuche verlassen, sie ist jetzt einer zielbewußten Ingenieur Tätigkeit erschlossen, und die regsamen Kräfte der Industrie werden schon das ihrige tun, das Anwendungsgebiet in schnellem Tempo zu erweitern. Zunächst wird dort, wo Leben und Gut der Menschen noch am meisten gefährdet ist, an der Küste und auf offener See, die Funktelegraphie bald ein unentbehrliches Verkehrsmittel sein, und ich schätze die Zeit nicht fern, wo jedes größere Schiff mit dem so einfachen und nützlichen Apparate ausgerüstet sein wird.

Aber auch als überseeisches Verkehrsmittel wird der Funktelegraph in Zukunft in vielen Fällen das Kabel entbehrlich machen, wemgleich wir in dieser Beziehung die Erwartungen nicht allzu hoch spannen dürfen.

Auch der Weg, der für weiteren Fortschritt sich öffnet, liegt klar zu Tage. Die zum Beginn meines Vortrages erörterten Gesetze zeigten uns, daß die Übertragungsweite im wesentlichen von 3 Umständen abhängt: von der Länge der parallelen Drähte, der Frequenz der Pulsationen und dem Mittelwert der benutzten Ströme. Die ersten beiden sind kaum noch einer Steigerung fähig; auch bedingt die Verlängerung der Drähte größere Wellenlängen und damit verringerte Frequenzen, es sei denn, ein völlig neues Mittel werde gefunden, welches die Wellenlänge unabhängig von der benutzten Drahtlänge zu machen gestattet. Es bleibt also nur eine Verstärkung der induzierenden Ströme. Dies hängt von zwei Größen ab: von der Kapazität oder Aufnahmefähigkeit der Drähte und von der wirksamen Funkenspannung. Je höher wir die Drähte führen, desto geringer wird die Kapazität der von der Erdoberfläche entfernten Teile; je umfangreicher wir sie gestalten, desto schwieriger ihre Befestigung in Sturm und Wetter. Auch hier ist also dafür gesorgt, daß die Bäume nicht bis in den Himmel wachsen.

Aber angesichts der wunderbaren Erscheinungen, welche uns die Natur in dem geheimnisvollen Spiel des elektrischen Funkens offenbart, wird man unwillkürlich zum Dichter, ja selbst ein so ernster Gelehrter wie Prof. Ayrton kann es sich nicht versagen, ein Zukunftsbild wachend zu träumen: „Einst wird kommen der Tag, wenn wir alle vergessen sind, wenn Kupferdrähte, Guttaperchahüllen und Eisenband nur noch im Museum ruhen, dann wird das Menschenkind, das mit dem Freunde zu sprechen wünscht, und nicht weiß, wo er sich befindet, mit elektrischer Stimme rufen, welche allein jener hört, der das gleichgestimmte elektrische Ohr besitzt. Er wird rufen: Wo bist du? und die Antwort wird klingen in sein Ohr: Ich bin in der Tiefe des Bergwerkes,

auf dem Gipfel der Anden oder auf dem weiten Ozean. Oder vielleicht wird keine Stimme antworten und er weiß dann, sein Freund ist tot.“ Ewig aber und jugendfrisch — so wollen wir hinzufügen — lebt die Wissenschaft und schöpft Jahrhundert um Jahrhundert neue wertvolle Schätze aus dem unversiegliehen Born der Natur.

(1911)

