

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300692

Die
Funkentelegraphie.

Gemeinverständliche Vorträge

von

A. Slaby,

Professor an der Technischen Hochschule zu Berlin.

17/1
Zweite Auflage.

Mit 30 Abbildungen und 2 Tafeln.

F. Nr. 24303.



BERLIN.

Verlag von Leonhard Simion.

1901.



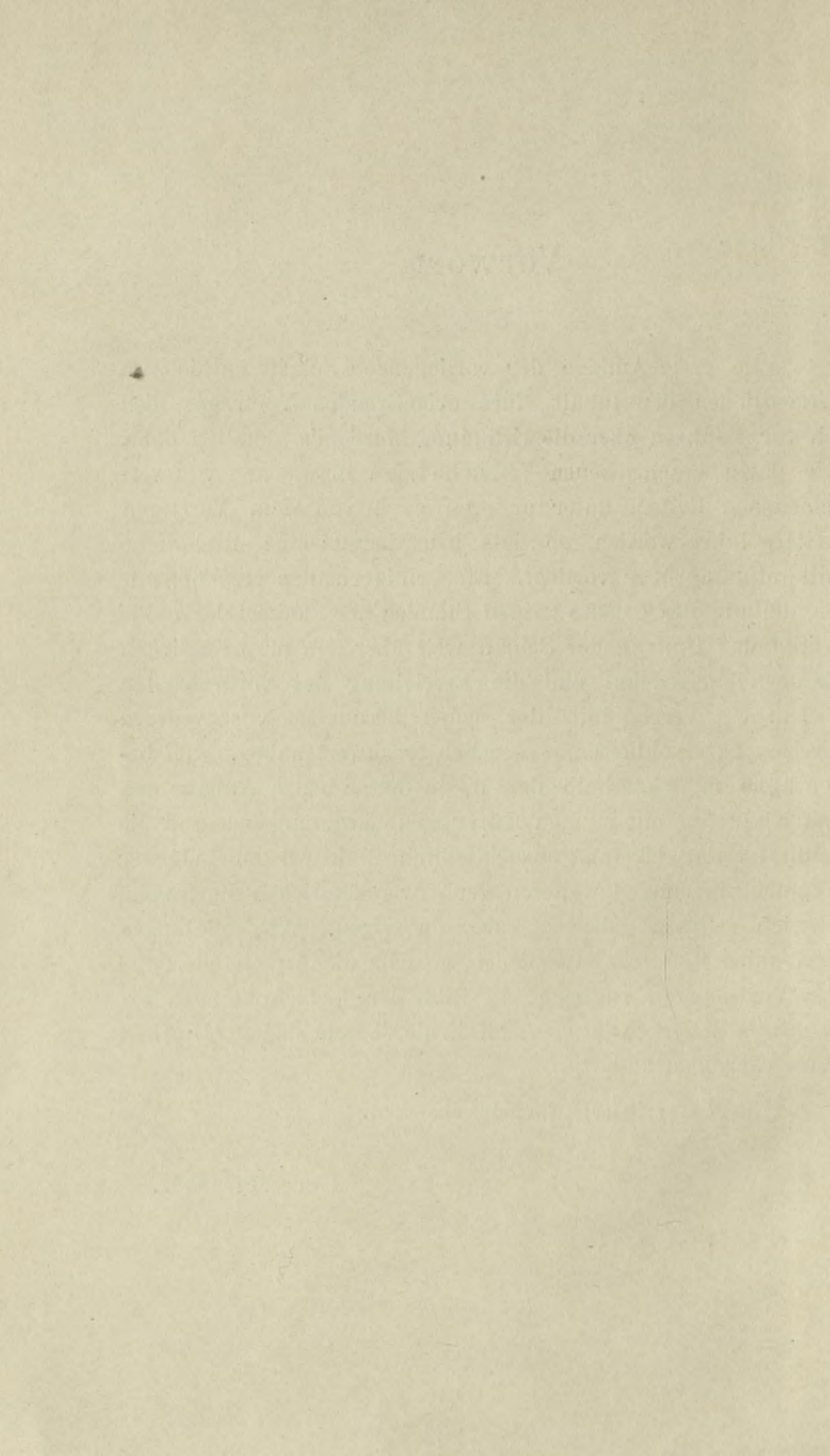
III 17928

Vorwort.

Die erste Auflage der vorliegenden Schrift enthielt im Wesentlichen den Inhalt eines orientirenden Vortrages, den ich vor 4 Jahren über die Erfindung Marconi's gehalten habe. Die darin beschriebenen Versuche sind inzwischen von verschiedenen Seiten, unter anderen auch von dem Verfasser, weitergeführt worden, so daß heut bereits eine ansehnliche Litteratur darüber vorliegt. Eine einigermaßen erschöpfende Darstellung des gegenwärtigen Standes der Funkentelegraphie würde den Umfang der Schrift weit über den ursprünglichen Rahmen ausgedehnt und die Erreichung des vorgesteckten Zieles: ein Verständniß der neuen Errungenschaft weiteren Kreisen zu erschließen, wesentlich erschwert haben. Ich beschränke mich deshalb darauf, in dieser neuen Auflage den ersten Vortrag mit einigen Kürzungen wiederzugeben und die seitherige Entwicklung ausschließlich an dem Beispiel eigener Versuche in einigen weiteren gemeinverständlichen Vorträgen, die ich seitdem gehalten habe, zu zeigen. Wiederholungen sind dabei thunlichst vermieden, so daß die Aufeinanderfolge der Vorlesungen zugleich ein Bild der fortschreitenden Erkenntniß liefert, wie sie sich in der bescheidenen Mitarbeit eines Einzelnen äußert.

Charlottenburg, im November 1901.

Der Verfasser.



Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Die Funkentelegraphie. Vortrag im Verein zur Beförderung des Gewerbleißes am 1. November 1897	1
2. Die Anwendung der Funkentelegraphie in der Marine. Vortrag in der Schiffbautechnischen Gesellschaft am 5. Dezember 1899 .	50
3. Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie. Vortrag im Conferenzsaal der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft am 22. Dezember 1900	71
4. Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Funkentelegraphie. Vortrag auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher In- genieure in Kiel am 10. Juni 1901	86

Die Funkentelegraphie.

(Vortrag im Verein zur Beförderung des Gewerbflusses
am 1. November 1897.)

Als der Breslauer Astronom Galle im Jahre 1846 den Planeten Neptun entdeckte, dessen Vorhandensein kurze Zeit zuvor Leverrier in Paris aus den Uranus-Störungen berechnet hatte, feierte man diese Thatsache als einen Sieg der Wissenschaft. Aehnliche nicht minder glänzende Erfolge hat die Lehre von der Elektrizität in den letzten 50 Jahren aufzuweisen.

Aus rein wissenschaftlichen Erwägungen leitete William Thomson die Gesetze ab, nach denen die Entladung einer Leydener Flasche, sowie überhaupt zweier mit Elektrizität geladener Körper vor sich geht. Bis dahin hatte man in solcher Entladung einen einfachen Uebergang der Elektrizität von einem Körper zum anderen erblickt und die von einem knallenden, glänzenden Funken begleitete Erscheinung kaum für merkwürdiger gehalten, als alle übrigen elektrischen Vorgänge. Von den damals üblichen Vorstellungen ausgehend, bewies nun Thomson durch Rechnung, daß unter gewissen Bedingungen diese Entladung eine schwingende sein muß, derart, daß dem ersten Uebergang von Elektrizität zahllose andere folgen in wechselnder Richtung und mit abnehmender Stärke. Die ganze Erscheinung spielt sich mit einer so ungeheuren Geschwindigkeit ab, daß dem Auge das Hin- und Herwogen der elektrischen Kräfte verborgen bleibt, dieses vielmehr nur den Eindruck eines einzigen Funkens als Ge-

sammtergebnis aufzunehmen vermag. Kurze Zeit darauf konnte Feddersen durch den berühmten Versuch mit rotirenden Spiegeln den bestimmten Nachweis liefern, daß die rechnerischen Folgerungen Thomson's der Wirklichkeit entsprachen.

Von nicht geringerer Bedeutung wurden Betrachtungen, welche ein anderer Physiker, Maxwell, bald darauf anstellte. Zurückgehend auf die eigenartige Deutung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen durch Faraday zeigte er, daß dieselbe bei mathematischer Entwicklung und Vertiefung zu einer überraschenden Erklärung des Wesens und der Ausbreitung elektrischer Erscheinungen führt. Er gelangte zu der Vorstellung, daß von einem elektrischen Funken Kräfte ausgehen, welche sich mit den Kennzeichen von Wellenbewegungen und mit der Geschwindigkeit des Lichts nach allen Richtungen in den Raum verbreiten. Als Träger der Wellenbewegung vermuthete er denselben Stoff, den man bereits zur Erklärung der Fortpflanzung des Lichts herangezogen hatte, den Aether, und seine Lehre gipfelte in der Behauptung, daß das Licht selbst eine elektromagnetische Erscheinung sei, daß Licht und elektrische Strahlen dieselben Grundgesetze befolgen. Es ist bekannt, wie unser großer Landsmann Heinrich Hertz am Ende der 80er Jahre durch entscheidende Versuche die Richtigkeit dieser bis dahin nur rechnerisch begründeten Folgerungen nachwies.

Während William Thomson, jetzt Lord Kelvin, noch heut als gefeiertes Haupt der Gelehrtenwelt unter den Lebenden weilt und die erstaunliche Entwicklung der von ihm geweckten Keime vor sich sieht, hat dem Leben von Maxwell und Hertz das Schicksal ein leider allzufrühes Ziel gesetzt.

Es ist nicht Aufgabe dieses Vortrages, auf die rein wissenschaftliche Bedeutung dieser Thatsachen näher einzugehen, es ist vielmehr die erste technische Verwendung der neuen Erkenntnis, welche ich Ihnen theils durch Bericht, theils durch Versuch vorführen möchte.

Mit dem Eintreten der Technik in dieses für sie durchaus neue Gebiet wiederholt sich eine Erscheinung, die wir schon häufig beobachtet haben. Ohne die streng wissenschaftliche Grundlage wäre sie nicht im Stande gewesen, die werthvolle Nutzenanwendung zu machen, die uns heute beschäftigen soll. Andererseits hat sie aber sofort mit ihren größeren Mitteln so durchaus neue Erscheinungen hervorgerufen, daß der Wissenschaft ein weites Arbeitsfeld sich öffnet. Ich habe als Techniker nicht die Absicht, eine vorzeitige Erklärung zu versuchen; desto mehr werde ich aber bestrebt sein, die Erscheinungen selbst und die Mittel zur Hervorrufung derselben möglichst eingehend zu beschreiben.

Heinrich Hertz hat zuerst die Einrichtungen angegeben, mit denen man die von einer Funkenstrecke ausgehenden Strahlen elektrischer Kraft nachweisen kann. Er bediente sich dazu der sogenannten Resonatoren (Fig. 1). Das sind offene Drahtkreise, deren Enden mit kleinen polirten Messingkugeln versehen sind; durch eine isolirte Stellvorrichtung läßt sich der Luftraum zwischen den Kugeln auf geringe Bruchtheile eines Millimeters genau einstellen. Bringt man nun einen solchen Resonator in den Weg der elektrischen Strahlen, so wird darin ein elektrisches Mitklingen geweckt, das sich durch Ueberspringen von Funken an der Unterbrechungsstelle kundgiebt, in ähnlicher Art, wie etwa durch Schallwellen eine Stimmgabel zum Mittönen gebracht wird. Ich muß darauf verzichten, Ihnen den Versuch vorzuführen. Die Funken, welche man am elektrischen Mittöner erzielt, sind zu winzig, als daß sie von Allen gesehen werden könnten.

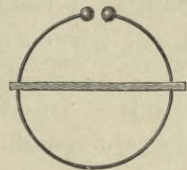


Fig. 1.

Ich wähle ein stärkeres Mittel, um Sie von der Ausbreitung der elektrischen Kräfte durch den Raum zu überzeugen.

Die Natur, als Funkenerzeugerin, zeigt uns nur weit auseinanderliegende Grenzen. Von dem leisen Knistern, daß Sie

an kalten Wintertagen vernehmen, wenn Sie im geheizten Zimmer mit einem Gummikamm durch die Haare fahren, bis zu dem Zucken gewaltiger Blitze ist ein ungeheurer Sprung — und doch ist beides die gleiche Erscheinung, von beiden gehen die gleichen unsichtbaren Kräfte aus. Für unsere Zwecke bedienen wir uns einer künstlichen Funkenerzeugung, deren Stärke eine maßvolle Mitte hält zwischen den Aeußerungen der Natur. Die Klemmen eines Induktionsapparates von der Ihnen wohlbekannten Bauart verbinden wir mit vollen Messingkugeln, die durch kräftige Ebonitplatten in geeignetem Abstand gehalten werden. Bei Ingangsetzung des Induktoriums erhalten wir eine ununterbrochene Folge von dicken weißglänzenden Funken, deren Ausstrahlungskraft wir vergrößern, wenn wir den Funkenraum mit Oel anfüllen. Bei dem vorliegenden Apparat (Fig. 2) geschieht dies mit Hülfe eines Cylinders aus Pergamentpapier, der die inneren Kugelhälften umspannt. Nach einem zuerst von Righi befolgten Verfahren verbinden wir ferner die Kugeln nicht direkt mit den Klemmen des Induktoriums, sondern laden sie vermittelst kleinerer Kugeln, die den äußeren Kugelhälften in passendem Abstand gegenübergestellt sind. Die Pergamenthülle verdeckt Ihnen den wirksamen Funken, doch hören Sie deutlich das eigenthümliche Geräusch beim Durchbrechen des Oeles. Wir wollen dieses Geräth einen Strahlapparat nennen, denn von ihm gehen die Strahlen elektrischer Kraft aus. Wir alle werden davon getroffen; wir merken es nur nicht, weil unserem Körper die Fähigkeit des Mittönens fehlt. Hätten wir metallische Glieder, so wäre das wohl anders.

Ich bediene mich nun eines einfachen Mittels, um die Ausbreitungsfähigkeit der elektrischen Kräfte wesentlich zu verstärken. Dies Mittel wird uns heut Abend noch häufig beschäftigen, es bildet das eigentlich Neue der vorzuführenden Versuche. Dünne Drähte sind es, einige Meter lang, die ich von den Speisekugeln des Strahlapparates, Pole wollen wir sie nennen, nach beiden Seiten isolirt ausspanne. Sie wirken

wie das durchlöchertere Rohr eines Sprengwagens, aus ihnen spritzen gleichsam die Strahlen elektrischer Kraft nach allen

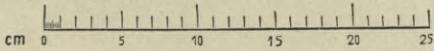
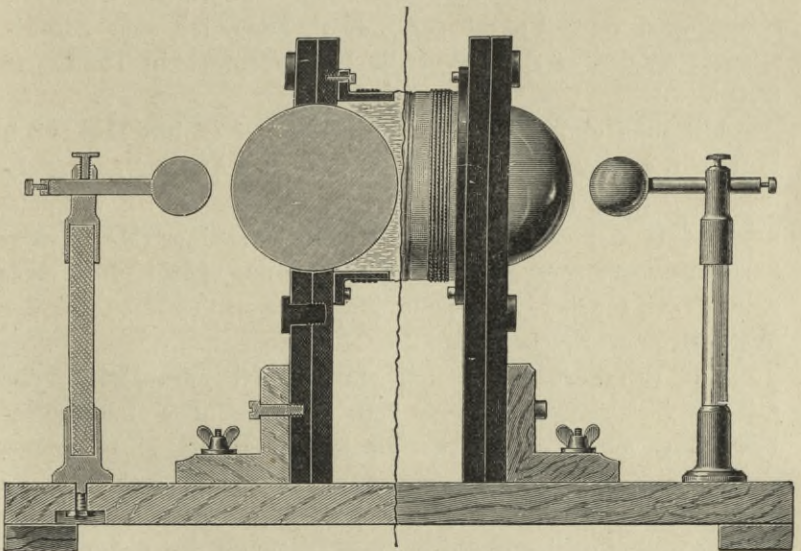
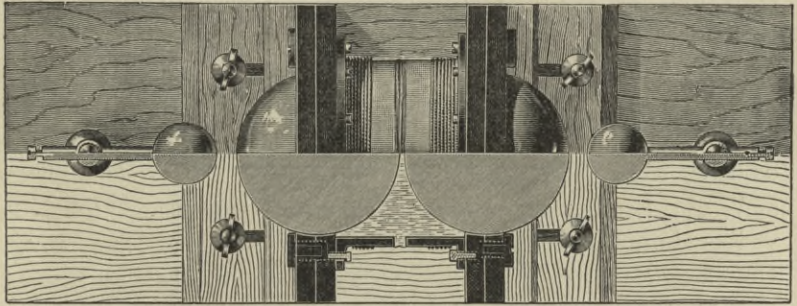


Fig. 2.

Seiten senkrecht zum Draht, sie ziehen einen größeren Theil des Raumes in Mitleidenschaft.

Zum Nachweis der Ausbreitung der elektrischen Kräfte benutze ich eine Bogenlampe dort hinten im Saal; ich will sie von hier aus entzünden. Die Bogenlampe selbst ist ihrer regelnden Einrichtung entkleidet. Die gegenüberstehenden Kohlen sind mit den Polen einer Akkumulatorenbatterie verbunden; so lange sie sich nicht berühren, ist der Stromkreis unterbrochen. Im vorliegenden Fall bilden sie einen Mittöner für die elektrischen Strahlen, sie werden zum Mitklingen oder richtiger zum Mitsprühen veranlaßt. Dadurch schließt sich die Brücke für den elektrischen Gleichstrom und die weißerglühenden Kohlenspitzen spenden ihr herrliches Licht. Um den Erfolg zu sichern, verbinde ich die beiden Kohlen mit ähnlichen dünnen Drähten, wie den Strahlapparat. Ich bilde gleichsam Fangarme für die elektrischen Strahlen, Saugerüssel oder Fühlhörner. Jetzt lasse ich den Strahlapparat spielen — Sie sehen die Lampe sofort in Thätigkeit treten.

Mit dem einfachen Mittel des Resonators hat Heinrich Hertz die Gesetze erforscht, welche die Ausbreitung elektrischer Kräfte befolgt. Der merkwürdigste seiner Versuche zeigt, daß die elektrischen Strahlen von einer Metallwand zurückgeworfen werden, ähnlich wie das Licht von einer spiegelnden Fläche. Es gelang ihm dadurch der Nachweis der Wellenart der Erscheinung.

Zur Erläuterung will ich ein Beispiel heranziehen, das mit der Elektrizität nichts zu thun hat, das aber eine Wellenbewegung sichtbar macht. Denken wir uns eine endlose dehnbare Schnur geradlinig ausgespannt und ertheilen wir dem einen Ende etwa durch Schlag eine Erschütterung, so pflanzt sich dieselbe in Form einer Welle an der Schnur fort. Eine ähnliche Erscheinung beobachten wir, wenn eine ruhende Wasserfläche durch einen Steinwurf in Wallung geräth. In ringförmigen Wellen verbreitet sich die Bewegung nach allen Richtungen vom Ausgangspunkt der Störung. Die Beobachtung eines auf dem Wasser schwimmenden Korkes lehrt uns, daß die einzelnen Wassertheilchen selbst an der nach

außen strebenden Bewegung nicht Theil nehmen, sondern nur auf- und niedersteigen. Bald sind sie auf einem Wellenberg, bald in einem Wellenthal. Die gleiche Bezeichnung hat man hinübergenommen auf die Ausbreitung der Störungskraft in einem geradlinigen Mittel, wie beispielsweise unserer Schnur. Auch hier ist deutlich zu erkennen, daß die einzelnen Theile derselben sich nicht in der Richtung der fortschreitenden Welle bewegen, sondern senkrecht dazu nur auf- und niedersteigen. Man bezeichnet solche Wellen darum als Querwellen im Gegensatz zu den Längswellen, wie sie z. B. bei dem Schall auftreten, der seine Wirkungen weiterpflanzt durch Verdichtungen und Verdünnungen des schalltragenden Mittels. Hierbei bewegen sich also die einzelnen Theile des Mittels, etwa der Luft, in Richtung der fortschreitenden Wellenbewegung hin und her.

Durch überzeugende Versuche hat man bekanntlich nachgewiesen, daß das Licht durch Querschwingungen eines unbekanntes Mittels, Aether genannt, sich weiterpflanzt. Den gleichen Nachweis hat Hertz für die elektrischen Kräfte erbracht, die von einer Funkenstrecke mit wechselnder Entladung ausgehen. Die Anordnung seines Versuches läßt sich mit wenigen Worten schildern.

Ich lenke Ihre Aufmerksamkeit auf die schwingende Schnur zurück. Wir haben sie bisher als außerordentlich lang vorausgesetzt und nur das Wandern der Welle vom Störungspunkte aus betrachtet. Am anderen Ende ist aber die Schnur, mag sie noch so lang sein, wiederum befestigt. Die dort ankommenden Wellen verschwinden nicht, sie wandern wieder zurück, sie werden zurückgeworfen. Jedes Schnurtheilchen erhält nun Bewegungen von beiden Wellenarten, von den hinlaufenden und den zurücklaufenden. Sind die Kräfte an einer Stelle gleichgerichtet, so verstärken sie die Bewegung, bei ungleicher Richtung vermindern sie dieselbe. Es treten Stellen auf, wo die Kräfte sich zu einem Höchstbetrage verstärken, dort muß das Schnurtheilchen die größten Querschwingungen machen, an anderen wieder kommt

die Querbewegung fast völlig zur Ruhe. Nach einiger Zeit bildet sich ein Zustand aus, den man als stehende Schwingung bezeichnet.

Wenn man geschickt ist, kann man dies mit einer am Ende befestigten Schnur, deren anderes Ende die Hand hält, zeigen. Ich verlasse mich lieber auf künstliche Hilfsmittel.

An dieser senkrechten Latte ist ein Platindraht ausgespannt (Fig. 3), dessen oberes Ende festgeklemmt ist, während der untere Befestigungspunkt an der Zinke einer Stimmgabel sitzt, die durch elektrische Hilfsmittel erregt werden kann. Dabei wird das untere Ende des Drahtes in lebhafte Erschütterung versetzt, die sich nach oben fortpflanzt und am Befestigungspunkt zurückgeworfen wird. Es bilden sich stehende Wellen aus, die wir sichtbar machen können, indem wir einen starken elektrischen Strom durch den Draht senden. Die Ruhepunkte, Knotenpunkte genannt, werden sich bis zur Rothgluth erhitzen, die stark bewegten Stellen dagegen, die Bäuche, werden durch die Luft gekühlt und bleiben dunkel. Zur besseren Beobachtung wollen wir den Saal verdunkeln. (Experiment.) Sie werden jetzt deutlich 4 Knotenpunkte erkennen. Die bleibende Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knotenpunkten ab (Fig. 3) ist die halbe Länge der Welle, denn von a bis c ist die hinlaufende Welle um

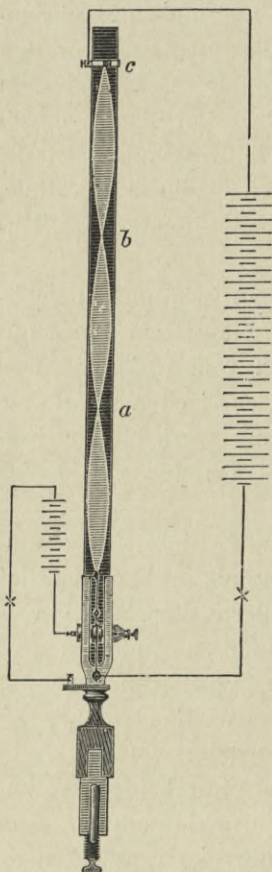


Fig. 3.

ihre ganze aus Wellenthal und Wellenberg bestehende Länge vorgeschritten. Die Zeit, welche verstreicht, bis jedes Draht-

theilchen einmal seine volle Querschwingung ausgeführt hat, nennt man die Schwingungszeit und die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde die Schwingungszahl.

Wir können diese Thatsachen an dem Apparat mit unseren Augen deutlich erkennen. Nehmen wir aber einmal an, wir wären blind und nur mit Gefühl begabt, so könnten wir uns dennoch von der Eigenthümlichkeit der Erscheinung überzeugen. Wir brauchten nur den Finger in die Nähe des Drahtes zu halten. Die Bäuche würden wir deutlich fühlen durch Stöße, an den Knotenpunkten würden wir uns dagegen verbrennen. Indem wir nun diese Stellen durch das Gefühl aufsuchen, können wir nicht nur den Schluß ziehen, daß Wellenbewegungen eines uns unsichtbaren Mittels, Draht genannt, vorhanden sind, wir können sogar die Entfernung der Knotenpunkte und damit die Länge der Wellen ermitteln. Sogar die Feststellung der Schwingungszahl durch Abzählung der Stöße wäre nicht undenkbar.

Genau das Entsprechende hat Hertz gethan bei der Untersuchung elektrischer Wellen. Er richtete die von einer Funkenstrecke ausgehenden unsichtbaren Strahlen elektrischer Kraft gegen eine Metallwand. Dort wurden sie zurückgeworfen. Indem er nun seinen Resonator, gleichsam als einen tastenden Finger, an verschiedene Stellen des Strahlenweges brachte, konnte er Orte festlegen, wo er am lebhaftesten ansprach und solche, an denen er fast völlig versagte. Mein Kollege, Herr Professor Rubens, hat sogar durch feinere Meßmethoden die Größe des elektrischen Stoßes für jede Stelle ermittelt und gesetzmäßige Zu- und Abnahme gefunden. Damit ist aber die Wahrscheinlichkeit zur Gewißheit geworden, daß die Strahlen elektrischer Kraft das Merkmal einer Wellenerscheinung tragen ebenso wie die Strahlen des Lichtes.

Doch noch mehr. Betrachten wir die Geschwindigkeit, mit der eine Wasserwelle vom Ausgang der Störung fortschreitet. Die Störung selbst hat sich um eine Wellenlänge fortgepflanzt, wenn ein Wassertheilchen einmal auf und nieder geschwankt ist. Beträgt die Anzahl dieser Schwingungen n

pro Sekunde, und die Länge einer Welle l , so ist nl der Weg, um den die Störung in 1 Sekunde sich fortpflanzt, also die Wanderungsgeschwindigkeit der Welle.

Genau so liegen die Verhältnisse bei den elektrischen Wellen. Nun kann man nach den eingangs erwähnten Rechnungen Thomson's aus den Abmessungen des funkenerzeugenden Apparates die Anzahl der wechselnden Entladungen ermitteln, welche in 1 Sekunde erfolgen, man kennt mithin die Anzahl der Stöße in 1 Sekunde, d. h. die Schwingungszahl. Stellt man ferner, wie Hertz es gethan, die Wellenlänge durch Tastversuche mit dem Resonator fest, nachdem man die Wellen durch Zurückwerfen in stehende verwandelt, so sind alle Mittel gegeben zur Berechnung der Geschwindigkeit, mit welcher eine elektrische Störung, ein elektrischer Anstoß, sich durch den Raum nach allen Richtungen hin verbreitet. Hertz fand mit großer Annäherung die Lichtgeschwindigkeit 300 000 km in 1 Sekunde.

Diese Geschwindigkeit ist eine so ungeheure, daß wir nicht daran denken können, die Wanderung der elektrischen Kraft unseren Augen wahrnehmbar zu machen. Professor Silvanus Thompson in London zeigte mir in diesem Sommer ein reizendes Modell, in welchem er mit rein mechanischen Mitteln die Wanderung einer Aetherwelle veranschaulicht. Er hatte die Freundlichkeit, ein solches für mich anfertigen zu lassen (Fig. 4.) Den Strahlapparat stellen zwei schwere Messingplatten dar, welche an Fäden hängen und eine bestimmte, verhältnißmäßig große Schwingungszeit besitzen. Der „Resonator“ ist ein unterbrochener Messingkreis und hängt gleichfalls an Fäden. Beide können durch Kürzung oder Längung der Schnur so geregelt werden, daß sie gleiche Schwingungszeiten besitzen.

Zur Darstellung des wellentragenden Mittels, des Aethers, dienen kleine Bleikugeln, welche in gleicher Weise an V-förmigen Fäden hängen. Die aufeinanderfolgenden Fäden überkreuzen sich, so daß keine Kugel schwingen kann ohne etwas von ihrer Bewegung dem Nachbar mitzutheilen. Setzt man

den Strahlapparat in Bewegung, so ertheilt er den Kugeln Querschwingungen, die sich längs der Kugelreihe langsam fortpflanzen. Man kann sie deutlich mit dem Auge verfolgen und sieht, wie sie nach einiger Zeit zum Resonator gelangen und diesen zum Mitschwingen veranlassen. Ebenso stellt man sich heut die Fortpflanzung der elektrischen Kräfte durch den Aether vor.

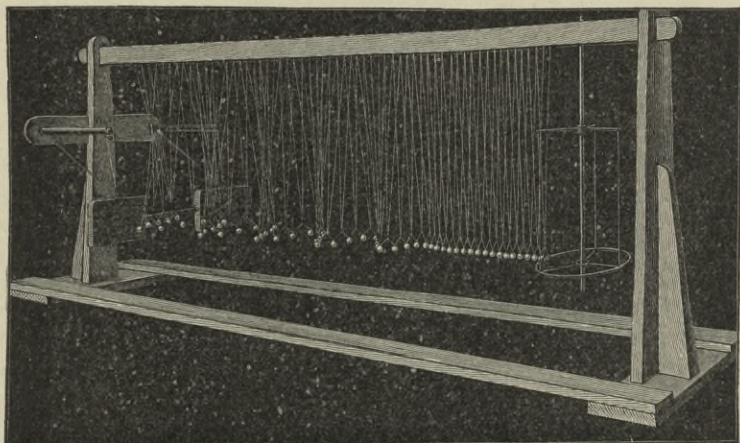


Fig. 4.

Zum Schlusse dieser physikalischen Einleitung noch eine kurze Bemerkung. Aus optischen Untersuchungen weiß man, daß die einfarbigen Strahlen, in welche das weiße Licht durch Brechung sich zerlegt, verschiedene Wellenlängen besitzen. Die größte Wellenlänge besitzt das rothe Licht mit 0,8 Micron (1 Micron ist der tausendste Theil eines Millimeters); sie verringert sich nach dem violetten Theil des Spektrums, dort beträgt die Wellenlänge nur etwa 0,4 Micron. Umgekehrt verhalten sich die Schwingungszahlen, beim rothen Licht erfolgen 400 Billionen Schwingungen in 1 Sekunde, beim violetten Licht dagegen 800 Billionen. Von der Größe dieser Zahlen giebt folgende Rechnung einen Begriff: Macht eine Stimmgabel 1000 Schwingungen in der Sekunde (das zwei-

gestrichene c), so braucht sie 12 000 Jahre, um 400 Billionen Schwingungen auszuführen, die beim rothen Licht sich in 1 Sekunde vollziehen. Die bis jetzt bekannten Wellenlängen elektrischer Strahlen schwanken in der Größenordnung zwischen Centimetern und Kilometern, ihre Schwingungszahlen betragen nur wenige Millionen in der Sekunde. Sie ordnen sich also in den ultrarothem Theil des Spektrums ein. In dem äußersten ultravioletten Theil des Spektrums vermuthet man bekanntlich die Röntgen-Strahlen. Die letzten Jahre der physikalischen Forschung bedeuten also einen kühnen Vorstoß in die Grenzgebiete der Natur. Wer will sagen, ob und wo wir das Ende erreichen. Beide Untersuchungsergebnisse der reinen Forschung haben sofort wichtige Anwendungen gefunden zum Nutzen der Menschheit.

Es würde mich von dem eigentlichen Gegenstande meines Vortrages zu weit entfernen, wollte ich der schönen Versuche gedenken, durch welche Hertz und seine Nachfolger bewiesen haben, daß die elektrischen Strahlen ebenso wie die Lichtstrahlen die Gesetze der Brechung, der Interferenz und der Polarisation befolgen. Soweit dies überhaupt möglich ist, haben sie uns die Gewißheit verschafft, daß Licht und elektrische Strahlen Erscheinungen gleicher Art sind, die sich nur durch Größenverhältnisse von einander unterscheiden.

Die Netzhaut des Auges ist das empfindliche Instrument, welches uns die Wahrnehmung der Lichtstrahlen ermöglicht; in entsprechender Weise dürfen wir nunmehr die Apparate, welche die Wirkungen der elektrischen Strahlen zeigen, elektrische Augen nennen. Der Hertz'sche Resonator ist ein recht unvollkommenes Auge, es ist schwach und kurzsichtig, nur die blendendsten Wirkungen der elektrischen Strahlen können wir damit erkennen und den Helligkeitsgrad derselben, wenn ich mich so ausdrücken darf, nur annähernd schätzen. Heut verfügen wir über eine stattliche Zahl hochempfindlicher elektrischer Augen, mit denen die Stärke der Wirkung genau gemessen werden kann.

Das allerempfindlichste derselben stellt sich dar als eine sinnreiche Verbesserung des Hertz'schen Resonators. Das Kennzeichen des letzteren war die Unterbrechung einer metallischen Leitung durch eine Luftstrecke von außerordentlich geringer Größe. Die Wirkung einer elektrischen Bestrahlung äußerte sich in dem Auftreten sichtbarer Funken. Wir mußten also unser menschliches Auge zu Hilfe nehmen oder mit anderen Worten, wir bewirkten eine Umsetzung der von der Funkenstrecke ausgehenden elektrischen Strahlung in Lichtstrahlung. Wir können aber auch andere Hilfsmittel heranziehen, um die unendlich kleinen Funken zu erkennen, wenn das Auge versagt. Die empfindlichsten Mittel sind immer die elektrischen; wir wählen einen elektrischen Gleichstrom, dessen geringste Spuren durch Galvanometer nicht bloß erkannt, sondern auch gemessen werden können.

Denken Sie sich die metallischen Knöpfe eines Hertz'schen Resonators soweit genähert, daß der verbleibende Luftzwischenraum selbst mit den feinsten optischen Mitteln nicht mehr erkennbar ist, dennoch braucht eine völlige metallische Berührung noch nicht zu bestehen. Schalten wir nun in den Drahtkreis des Resonators (Fig. 5) eine kleine galvanische Batterie, etwa ein Trockenelement von geringer elektromotorischer Kraft und ein hochempfindliches Galvanometer, so wird, so lange der Stromkreis an den Kugeln unterbrochen ist, die Nadel des Galvanometers in Ruhe verharren. Wirkt aber eine elektrische Strahlung auf den Kreis, so durchzittern denselben in elektrischer Resonanz die elektrischen Wellen, für welche der Luftzwischenraum keine Sperrung bildet, gleichsam wie eine Wasserwelle in Milliarden von Stäubchen über ein Hinderniß spritzt. So spritzen sie hier in der Form von feinen Fünkchen hinüber und wenn auch den schärfsten optischen Hilfsmitteln verborgen, sind sie dennoch für einen Augenblick vorhanden und füllen, wie

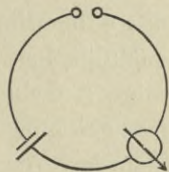


Fig. 5.

jeder Funke, den Luftraum mit Metaldämpfen an. Diese leiten den Gleichstrom und schließen den Kreis; die Folge ist ein deutlicher Ausschlag der Galvanometernadel. Entweder schwingt nun die Nadel nach beendigter Strahlung zurück, dann hat sich der isolirende Luftzwischenraum von selbst wieder hergestellt, und das elektrische Auge ist bereit, auf eine neue Strahlung anzusprechen, oder — und das ist der gewöhnliche Fall — geringe Stäubchen des nach der Verdampfung wieder verdichteten Metalles füllen den Luftraum und bilden eine metallische Brücke; dann ist der Ausschlag des Galvanometers ein bleibender. Doch die geringste Erschütterung bringt diese lose Brücke zum Einsturz und unterbricht die metallische Berührung.

Diese zwanglose Erklärung eines verschärften elektrischen Auges aus den Eigenschaften des Hertz'schen Resonators trifft auch auf dasjenige Auge zu, welches Marconi benutzt, um mit Hülfe elektrischer Strahlen auf weite Entfernungen zu telegraphiren. Es ist indessen üblich, den Entwicklungsgang auf eine andere Ausgangsquelle zurückzuführen.

Im Jahre 1890 entdeckte Branly eine eigenthümliche Eigenschaft loser in einer Glasröhre übereinander geschichteter Metallkörner, wie Eisen-, Kupfer- oder Messingfeile. Eine solche Röhre bietet dem Durchgang eines elektrischen Stromes einen unüberwindlichen Widerstand, so daß man dieselbe mit metallischen Anschlußplatten oder darin gebetteten gutleitenden Kugeln an die Pole einer galvanischen Batterie anschließen kann, ohne einen Strom zu erhalten. Zum Nachweis dieser Wirkung schaltete Branly ein empfindliches Galvanometer in denselben Stromkreis. Sobald aber diese Röhre von elektrischen Strahlen getroffen wird, leitet sie den Gleichstrom und das Galvanometer erfährt einen Ausschlag. Eine leise Erschütterung der Röhre nach erfolgter Bestrahlung stellt den unendlichen Widerstand wieder her. Fig. 6 zeigt eine solche Einrichtung, bei der die Metallfeile durch lose übereinander geschichtete eiserne Nägel ersetzt sind.

Wir können auch hier die Erklärung auf den Hertz'schen Resonator zurückführen. An die einzelne Unterbrechungsstelle treten die zahllosen Berührungsstellen des Metallfeilicht mit unreiner isolirender Oberfläche. Die Bestrahlung ruft in dem Stromkreis eine elektrische Erzitterung hervor und zahllose unsichtbare Fünkchen an den Unterbrechungsstellen bewirken die metallische Berührung.

Für diese einfache Erklärung spricht auch der Umstand, daß mit Metallen, deren Oberfläche leichter und dauernder metallisch bleibt, wie Platin, Gold und Silber, die Wirkung nicht so gut zu erzielen ist. Vorzüglich eignen sich dagegen Metalle wie Kupfer, Messing, Aluminium, Eisen und Nickel, deren Oberflächen bekanntlich nur auf kurze Zeit metallisch rein zu halten sind. Mit Kohlenkörnern oder Kohlenpulver ist die Wirkung unsicher, was dagegen spricht, die Erscheinung als eine rein mikrophonische zu erklären.

Lodge scheint zuerst solche Röhren als elektrische Augen zum Studium Hertz'scher Strahlen benutzt zu haben. In seinem fesselnden Buche „The Work of Hertz and some of his successors“ beschreibt er verschiedene Einrichtungen dieser und ähnlicher Art, welche er schon 1889 benutzt hat. Von ihm stammt auch der Name „coherer“, den er von cohere, Kohären, abgeleitet hat, weil durch elektrische Bestrahlung eine innigere Verbindung des Metallfeilicht, gleichsam eine Kohäsion bewirkt wird. Man hat für deutschen Gebrauch das häßliche Wort „Kohärer“ (richtiger wäre Kohärirer)

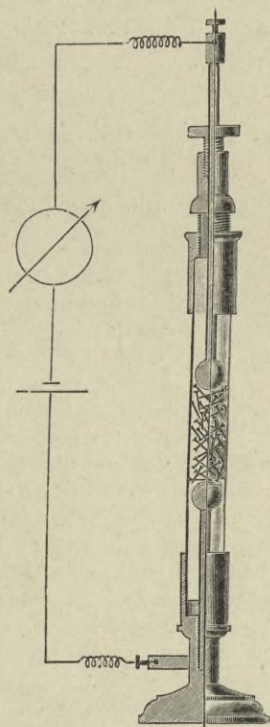


Fig. 6.

gebildet, das man wohl gerne wieder verschwinden sähe. Ich habe Herrn Geh.-Rath Reuleaux ersucht, seine so oft schon bewährte Kunst, treffende deutsche Bezeichnungen zu bilden, auch im vorliegenden Falle zu üben. Er hat für Kohärenzen das Wort „Fritten“ vorgeschlagen. Man bezeichnet damit in der Technik einen Vorgang, bei dem lose pulverförmige Massen durch oberflächliche Schmelzung zum Zusammenhängen gebracht werden. Das trifft hier vollkommen zu und man würde den „coherer“ zweckmäßig als „Fritter“ oder „Frittröhre“ verdeutschen können. Lodge ist wohl auch als Vater des Gedankens zu bezeichnen, mit elektrischen Strahlen und solchen Röhren zu telegraphiren; er bezeichnet aber als äußerste erreichbare Entfernung eine halbe englische Meile (800 m), ohne dies indess praktisch erprobt zu haben.*)

*) Im Electrician (1. Okt. 1897) ist auch auf eine Aeußerung von Sir William Crookes hingewiesen worden. Dieselbe findet sich in einem Aufsatz „Some Possibilities of Electricity“ in Fortnightly Review, Februar 1892, und ist sehr interessant, weshalb ich sie hier mittheile.

„Ob längere Aetherwellen, welche das Auge nicht mehr wahrnimmt, ununterbrochen um uns her in Thätigkeit sind, haben wir bis vor Kurzem niemals ernstlich erforscht. Aber die Untersuchungen von Lodge in England und Hertz in Deutschland offenbaren uns eine fast unbegrenzte Fülle von Aethererscheinungen oder elektrischen Strahlen, deren Wellenlängen Tausende von Meilen bis zu wenigen Fußes betragen. Hier öffnet sich uns eine neue, staunenerregende Welt, von der wir schwerlich annehmen können, daß sie nicht auch die Möglichkeit der Uebertragbarkeit von Gedanken enthalten sollte. Lichtstrahlen dringen nicht durch eine Mauer, auch nicht durch einen Londoner Nebel, wie wir Alle nur zu gut wissen. Aber elektrische Wellen von 1 m Länge oder mehr werden solche Stoffe leicht durchsetzen, dieselben werden für sie durchsichtig sein. Es ergiebt sich hier die fesselnde Möglichkeit einer Telegraphie ohne Drähte, ohne Pfähle, ohne Kabel, ohne das ganze kostspielige Beiwerk. Setzen wir die Erfüllbarkeit weniger vernünftiger Forderungen voraus, so rückt die Frage durchaus in den Bereich der Möglichkeit. Wir können heut Wellen von jeder gewünschten Länge erzeugen, von wenigen Fußes an aufwärts, und eine Aufeinanderfolge von solchen nach allen Richtungen des Raumes ausstrahlenden Wellen erhalten. Es ist auch, wenn nicht bei allen, so doch bei einigen dieser Strahlen möglich, sie durch geeignet geformte als Linsen wirkende Körper zu brechen und so ein Bündel von Strahlen nach irgend einer gegebenen Richtung zu werfen; große linsenförmige Massen aus Pech und ähnlichen

Die Nachricht, daß Marconi diese Telegraphie auf meilenweite Entfernung praktisch durchgeführt habe, gelangte am Anfang dieses Jahres zu uns. Wer den Thatsachen, zu

Stoffen hat man für diesen Zweck benutzt. Auch könnte man in der Ferne einige, wenn nicht alle dieser Strahlen mit besonders eingerichteten Apparaten auffangen und durch verabredete Zeichen in Morseschrift einem Andern übermitteln . . . Zwei Freunde, die innerhalb der Uebertragungsgrenze ihrer Empfänger leben, könnten ihre Apparate auf specielle Wellenlängen abstimmen und, so oft es ihnen gefällt, durch lange und kurze Strahlung in den Zeichen der Morseschrift mit einander verkehren. Auf den ersten Blick würde man gegen diesen Plan den Einwand erheben, daß die Mittheilungen nicht geheim zu halten seien. Nehmen wir an, die Betheiligten wären eine Meile entfernt von einander, so würden die Strahlen, welche der Sender nach allen Richtungen ausschickt, eine Kugel mit dem Halbmesser von einer Meile erfüllen und Jedermann, der innerhalb dieser Entfernung vom Sender sich befände, könnte die Mittheilung auffangen. Dies würde auf zwei Arten vermieden werden können. Wären die Lagen des Senders und des Empfängers genau bestimmt, so könnte man die Strahlen mit größerer oder geringerer Sicherheit auf den Empfänger vereinigen. Wären indess Sender und Empfänger beweglich, so daß eine Linsenordnung sich verbietet, so müßten die Betheiligten ihre Apparate auf eine und dieselbe Wellenlänge, sagen wir etwa 50 m, abstimmen. Ich nehme dabei an, daß man Apparate erfinden würde, welche durch Drehung einer Schraube oder durch Aenderung der Länge eines Drahtes so geregelt werden können, daß sie zur Aufnahme von Wellen verabredeter Länge geeignet würden. Wären sie etwa auf 50 m eingestellt, so würde der Empfänger nur Wellen von vielleicht 45 bis 55 m aufnehmen und für alle übrigen unempfindlich sein. Bedenkt man, daß eine große Zahl von Wellenlängen zur Verfügung steht, von einigen Fuß bis zu Tausenden von Meilen, so erscheint die Geheimhaltung ausführbar; wäre ein Neugieriger noch so unermüdlich, er würde doch sicherlich vor der Aufgabe zurückschrecken, all die Millionen von möglichen Wellenlängen zu versuchen, um endlich durch Zufall auf diejenigen zu stoßen, welche die zu Belschenden benutzen. Durch Geheimzeichen könnte man selbst diese Möglichkeit ausschließen. Das sind nicht bloße Träumereien. Alle Erfordernisse, den Plan zu verwirklichen, liegen in dem Bereich der Möglichkeit und zwar genau auf dem Wege, den die Forschung in allen Hauptstädten Europas bereits eingeschlagen hat, so daß wir täglich erwarten können zu hören, die Aufgabe sei praktisch gelöst. Schon heut ist eine Telegraphie ohne Drähte bereits möglich auf die beschränkte Entfernung von einigen hundert Metern, und vor einigen Jahren habe ich selbst Versuchen beigewohnt, bei denen Telegramme von einem Theil eines Hauses zu einem andern ohne verbindenden Draht fast genau durch die beschriebenen Mittel gesandt wurden.“

welchen das Studium der Hertz'schen Strahlen führte, aufmerksam gefolgt war, der wufste, daß den Zeitungsberichten ein gut Stück Wahrheit zu Grunde lag.

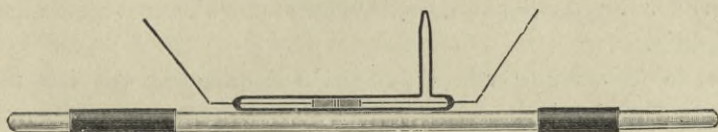
Wie viele andere hatte auch ich mich mit der Aufgabe beschäftigt, war indess nicht weiter gekommen, als von einem zum andern Ende der langen Gänge unserer Hochschule. Selbst die Zuhülfenahme von parabolischen Spiegeln und großen Kapazitäten brachte uns über diese Grenze nicht hinaus. Marconi mußte, das wurde mir klar, noch etwas Anderes, Neues zu dem Bekannten hinzugefügt haben, wodurch die kilometerlangen Entfernungen erreicht wurden. Kurz entschlossen reiste ich nach England, wo die Telegraphenverwaltung größere Versuche anstellte. Durch meinen Freund Gisbert Kapp bei Mr. Preece, dem Chefindingenieur der englischen Telegraphenbehörde, vortrefflich eingeführt, wurde mir in liebenswürdigster Weise die Theilnahme daran gestattet. Ich will nun gleich vorwegnehmen: Was ich sah, war tatsächlich etwas Neues, Marconi hatte eine Entdeckung gemacht; er arbeitete mit Mitteln, deren volle Bedeutung vor ihm noch Niemand erkannt hatte. Nur dadurch erklärt sich sein Erfolg.

Ich möchte dies gleich am Anfang meiner Mittheilungen hervorheben, weil in letzter Zeit, besonders in der englischen Fachpresse der Versuch gemacht worden ist, dem Verfahren Marconi's die Neuheit abzusprechen. Die Erzeugung der Hertz'schen Wellen, ihre Ausbreitung durch den Raum, die Empfindlichkeit des elektrischen Auges — das Alles sei bekannt gewesen. Sehr richtig, aber mit diesen bekannten Mitteln kam man eben auf 50 Meter und nicht weiter.

Marconi hat zunächst für das Verfahren eine geistvolle Einrichtung ersonnen, die mit den einfachsten Hilfsmitteln eine sichere technische Wirkung erreicht. Sodann hat er gezeigt, wie durch Erdverbindung der Apparate einerseits, sowie durch Benutzung lang ausgestreckter senkrechter Drähte andererseits eine Telegraphie erst möglich wird. Diese Drähte bilden das Wesentliche seiner Erfindung, die Bezeichnung „Telegraphie ohne Draht“ ist darum eigentlich falsch,

richtiger nennt man sie wohl „Funkentelegraphie“ im Gegensatz zu der bisherigen „Stromtelegraphie“.

Ich will zunächst die bauliche Einrichtung erörtern. Der Hauptteil des Apparates ist das elektrische Auge, das Fig. 7 in halber natürlicher Größe zeigt. Nach vielen Versuchen hat Marconi ein Metallpulver, oder richtiger eine Mischung von Metallpulvern als beste erkannt, welche zu 96 % aus Hartnickel, zu 4 % aus Silber besteht. Es wird durch Raspeln



Mafsstab 1:2.

Fig. 7.

mit reinen und trockenen Feilen erzeugt. Diese Mischung wird in eine Glasröhre eingeschlossen zwischen zwei Kolben aus Silber, deren begrenzende Oberflächen durch eine Spur Quecksilber amalgamirt sind. Je dünner man die Pulverschicht macht, desto empfindlicher wird das Auge, d. h. bei desto geringerer Strahlungsenergie spricht es an. Die Schicht hat nur etwa $\frac{1}{2}$ mm Dicke, man bringt darin kaum mehr als 20–25 Metallkörner unter. Der angegebene genaue Prozentsatz des Silbers wird dadurch gegenstandslos; man kann nur sagen, daß ein größerer Reichthum an Silberkörnern die Röhre empfindlicher macht, man tauscht dafür aber einen Nachtheil ein: je mehr Silber, desto schlechter wird die Auslösungsfähigkeit, d. i. die Unterbrechung durch Erschütterung nach erfolgter Zeichengebung. Für die sichere Wirkung ist das aber die Hauptsache, ich lasse darum das Silber ganz fort und nehme nur reine Nickelfeile. Marconi empfiehlt ferner, die Röhre nach erfolgter Füllung auszupumpen und dann erst zuzuschmelzen. Das erste ist nach meinen Beobachtungen minder wichtig, das Zuschmelzen dagegen empfehlenswerth, weil es die richtige Lage der begrenzenden Silber-

kolben sichert. Die Zuleitung bewirken Platindrähte, die mit den Silberkolben verlöthet werden. Von allergrößter Wichtigkeit ist es aber, daß man die Metallkörner mit der Lupe von möglichst gleicher Größe aussucht, die scharfkantigen, zackigen und spitzigen bevorzugt, die rundlichen thunlichst vermeidet. Vor der Füllung muß man sie sorgfältig reinigen und trocknen. Trotzallem ist man vom Zufall abhängig; von einer ganzen Reihe, die in gleicher Weise hergestellt sind, hat man immer einige auszumergen, theils wegen zu geringer oder zu großer Empfindlichkeit, theils wegen mangelnder Auslösungsfähigkeit.

Die Anordnung von Marconi's Empfänger will ich zunächst übersichtlich erläutern. Der stark ausgezogene Strom-

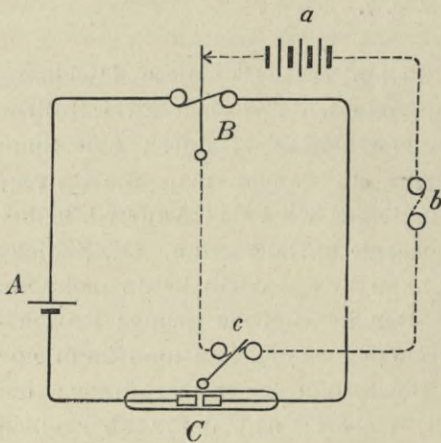


Fig. 8.

kreis (Fig. 8), welchen ich als Hauptkreis bezeichnen will, enthält in Hintereinanderschaltung ein kleines Trockenelement *A* von 1,5—1,2 Volt elektromotorischer Kraft, ein empfindliches Relais *B* und die Frittröhre *C*. Relais nennt man bekanntlich einen in der Telegraphie viel benutzten Uebertrager, der auf sehr geringe Ströme anspricht und dabei eine Zunge bewegt, die einen zweiten

Stromkreis mit stärkerer Batterie, die sogenannte Ortsbatterie schließt. Ist der Fritter ausgelöst, so ist der Stromkreis unterbrochen; die Zunge des stromlosen Relais lehnt gegen den Ruhestift. Nach erfolgter Bestrahlung gestattet die Frittung in *C* die Ausbildung eines Stromes, welcher die Relaiszunge auf den Arbeitsstift legt. Dadurch schließt sich der Neben-

kreis der Ortsbatterie *a* und der darin eingeschaltete Morseschreiber *b*, sowie der Klopfer *c* werden bethätigt. Bei dem ersten Schlage des Klopfers gegen den Fritter muß dieser sich auslösen, dadurch wird der Hauptkreis stromlos, die Relaiszunge legt sich wieder auf den Ruhestift und schaltet die Ortsbatterie aus. Bei erneuter Bestrahlung wiederholt sich der Vorgang. Es ist klar, daß man durch unterbrochene Bestrahlung des Fritters die Zeichen des Morse-Alphabets erzeugen kann.

Mit dieser einfachen Anordnung können wir im Zimmer oder von einem ins andere telegraphiren. In die Hauptwicklung des Induktoriums schaltet man einen gewöhnlichen Morsetaster, mit dem man für kürzere oder längere Zeit den Strom schließt. Ich will die Handhabung an den beiden Apparaten erläutern, die hier zu beiden Seiten des Saales etwa 20 m von einander entfernt aufgestellt sind. Die Frittröhre ist mit Marineleim an einen längeren Glasstab gekittet, der zur wagerechten Befestigung an zwei senkrechten Metallständern dient. Unmittelbar vor dem mit Nickelfeile gefüllten Spalt befindet sich der Klopfer, ein kleiner Hornklöppel an einem Anker, der von dem dahinter liegenden Elektromagnet in ähnlicher Weise bewegt wird, wie der Klöppel einer elektrischen Klingel. Der Elektromagnet des Klopfers ist hier parallel zu dem Morseschreiber bzw. zu einem elektrischen Lätewerke geschaltet und nicht, wie die Zeichnung der Uebersichtlichkeit wegen angiebt, in Hintereinschaltung. Ich verbinde nunmehr ein Trockenelement mit dem Hauptstromkreis und schalte das Lätewerk parallel zum Klopfer in den Nebenkreis. Wie Sie bemerken, bleibt Alles in Ruhe, da der Hauptkreis in dem Fritter völlig unterbrochen ist, die Zunge des Relais legt sich gegen den Ruhestift. Sobald ich nun aber eine elektrische Strahlung erzeuge, welche die Frittröhre trifft, ändert sich das Bild. Die Nickelfeile bildet elektrischen Schluß, das Trockenelement sendet einen Strom durch das Relais und dieses schließt den Nebenkreis. Sie hören das Klingelzeichen und den Schlag des Klopfers

gegen die Röhre, wodurch der Stromkreis wieder unterbrochen wird. Lasse ich andauernd schwingende Entladungen am Strahlapparat übergehen, so folgt auf jede Unterbrechung eine erneute Bestrahlung, der Vorgang wiederholt sich, so lange ich will, die Klingel und der Klopfer arbeiten weiter. Das Rufzeichen ist gegeben, wir schalten das Läutewerk aus, den Morseschreiber ein, das Telegraphiren kann beginnen.

(Es folgt die Sendung eines Telegramms.)

Soweit ist alles einfach und leicht zu verstehen. Marconi, ein noch jugendlicher Italiener, im Anfang der Zwanziger, begann seine Versuche auf dem Landgute seines Vaters bei Bologna, angeregt durch die Vorlesungen Righis an der Universität zu Bologna. Dort machte er auch die schöne und folgenreiche Entdeckung, von der ich schon gesprochen habe. Er fand, daß die Entfernung, welche er mit den geschilderten Einrichtungen erreichen konnte, mehr als ver Hundertfacht wurde, wenn er den einen Pol seines Strahlapparates mit einem senkrechten Draht, den anderen Pol mit der Erde verband und die gleiche Einrichtung an der Frittröhre des Empfängers traf. Noch bis zur Mitte dieses Sommers glaubte er, daß zur Erreichung guten Erfolges Kapazitäten erforderlich seien, welche er in Form von Zinkplatten oder Zinkeylindern an den obersten Enden der Luftdrähte anbrachte. In seiner vor mehr als Jahresfrist verfaßten und vor einigen Monaten veröffentlichten englischen Patentschrift legte er auf diese Kapazitäten besonderen Werth. Die Versuche, welche er im Frühjahr in England und im Sommer in Spezia anstellte, scheinen ihn nach einer brieflichen Mittheilung nunmehr auch zu der Ueberzeugung gebracht zu haben, daß die umständlichen Kapazitäten nicht so wichtig seien, wie er anfangs annahm: es ist hauptsächlich die Länge des Luftdrahtes, wodurch die Ueberschreitung großer Entfernungen bedingt wird.

Die Erforschung der Funkentelegraphie ist in den begrenzten Räumen eines Laboratoriums schwer möglich. Man braucht dazu kilometerlange Entfernungen in freier Luft, nicht unterbrochen durch Wälder, Berge oder Häuser. Das senk-

rechte Ausspannen langer gut isolirter Drähte ist keine einfache Sache, noch dazu, wenn, wie bei den ersten Versuchen Marconi's, die oberen Enden mit großen Kapazitäten versehen werden sollen.

Marconi kam ein überaus glücklicher Umstand zu Hülfe. Der Chefindenieur der englischen Telegraphenbehörde, Mr. Preece, hatte sich seit Jahren bemüht, die Leuchtschiffe an der englischen Küste und kleine in der Nähe derselben liegende Inseln telegraphisch mit dem Festlande zu verbinden ohne Benutzung von Kabeln. Er spannte parallele Drähte aus, deren Enden in das Wasser geführt wurden; jeder derselben stellte somit einen geschlossenen Kreis dar. Wurden nun durch den einen kräftige, absetzende, elektrische Ströme oder Wechselströme gesandt, so riefen sie durch Induktion in dem parallel gestellten Draht elektrische Stromstöße hervor, die durch einen eingeschalteten Fernsprecher hörbar gemacht werden konnten. Schon im Jahre 1892 hatte er auf diese Weise zwischen Penarth und Flatholm im Bristol-Kanal eine telegraphische Verbindung hergestellt. Auch hier bei uns auf dem Wannsee haben die Herren Rathenau und Rubens ähnliche erfolgreiche Versuche ausgeführt. Man scheint indess über beschränkte Entfernungen nicht hinausgekommen zu sein, zudem bereitet der Anruf nicht unerhebliche Schwierigkeiten.

An Mr. Preece wandte sich Marconi; er fand sofort Verständniß und thatkräftige Unterstützung. Auf dem alten Versuchsfelde zwischen Penarth und Flatholm im Bristol-Kanal wurden zwei Standorte eingerichtet und am 10. Mai begannen die denkwürdigen Versuche, die von Mr. Preece persönlich und seinen Ingenieuren Mr. Gavey und Mr. Cooper geleitet wurden.

Auf der etwa 20 m hohen Klippe von Lavernock Point, 1 Stunde von dem freundlichen Badeort Penarth entfernt, war ein 30 m hoher Mast errichtet, durch Drahtseile gehalten, über dessen Spitze ein cylindrischer Zinkhut von 2 m Höhe und 1 m Durchmesser gestülpt war. Von dem Zink-

cylinder führte ein isolirter Kupferdraht bis zum Fuße des Mastes an den einen Pol des Empfängers. Der andere Pol war durch ein langes Drahtseil, die Klippe hinunter, mit dem Meere verbunden. Mitten im Kanal, 5 km entfernt von Lavernock Point, liegt das kleine Eiland Flatholm, auf seinen hohen Klippen mit Kanonen gespickt, zugleich der Standort eines Leuchthturmes. Dort war der Sendeort. In einem Bretterhäuschen stand der Strahlapparat mit einem verhältnißmäßig kleinen Induktorium (25 cm Schlagweite) von einem 8zelligen Akkumulator gespeist. Die vollen Messingkugeln von 10 cm Durchmesser waren bis auf 2 mm genähert und durch eine Schicht Vaselineöl getrennt. Die äußeren Kugeln, gleichfalls voll, von etwa 4 cm Durchmesser, in einem Abstand von 10 mm von den inneren Kugeln, waren einerseits mit einer Kapazität auf einem Mast von genau gleichen Abmessungen wie in Lavernock Point, andererseits mit dem Meere verbunden.

Am ersten Versuchstage wurden zwei kilometerlange Drähte auf beiden Seiten über die Klippen gelegt, um nach dem älteren Verfahren von Mr. Preece eine Verbindung mit Fernsprechern herzustellen, was auch nach kurzer Zeit gelang. Am zweiten Tage sollte nach dem Marconi'schen Verfahren telegraphirt werden. Zunächst gelang es nicht, Zeichen überhaupt zu erhalten. Man schrieb die Schuld den eisernen Drahtseilen zu, welche den Mast hielten und den Empfangsdraht wie einen Käfig umgaben. Als man am andern Tage diesen um etwa 20 m verlängerte, um den Empfänger seitlich vom Mast entfernt aufzustellen, kamen die ersten aber noch undeutlichen Zeichen. Der volle Erfolg war erst am nächsten Tage vorhanden, nachdem man mit dem Empfangsapparat hinunter an den Strand gezogen war und damit die wirksame Länge des Drahtes fast verdoppelt hatte. Es wird mir eine unvergeßliche Erinnerung bleiben, wie wir, des starken Windes wegen in einer großen Holzkiste zu Fünfen über einander gekauert, Augen und Ohren mit gespanntester Aufmerksamkeit auf den Empfangsapparat gerichtet, plötzlich

Lavernock Point — Flat Holm.

5 Kilometer.

13. 5. 1897.

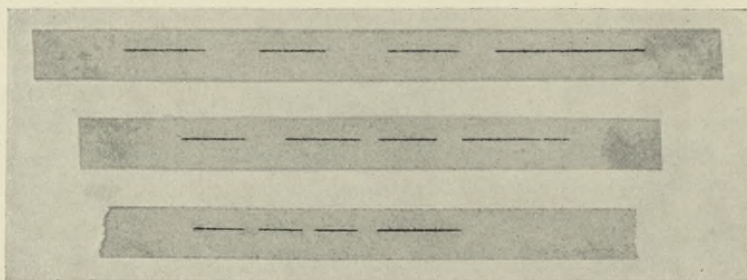


Fig. 9.

Rangsdorf — Schöneberg.

21 Kilometer.

7. 10. 1897.

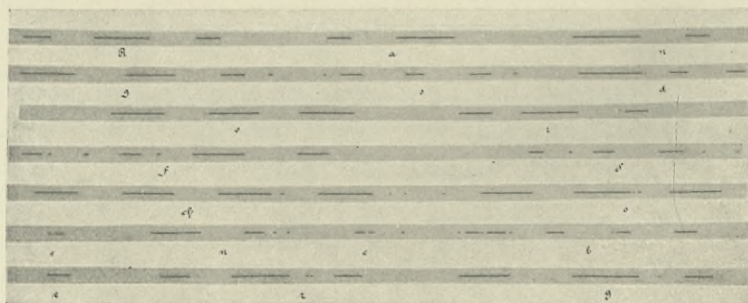


Fig. 9a.

nach Aufhissung des verabredeten Flaggenzeichens, das erste Ticken, die ersten deutlichen Morsezeichen vernahmen, lautlos und unsichtbar herübergetragen von jener felsigen, nur in undeutlichen Umrissen wahrnehmbaren Küste, herübergetragen durch jenes unbekanntes geheimnißvolle Mittel, den Aether, der die einzige Brücke bildet zu den Planeten des Weltalls. Es waren die Morsezeichen des v, welche der Verabredung gemäß herüberkamen und der Liebenswürdigkeit meiner Gastfreunde verdanke ich den Besitz dieser ersten Zeichen, welche in Fig. 9 auf der Tafel durch Autotypie wieder gegeben sind.

Nach meiner Abreise wurden die Versuche fortgesetzt, und es gelang, wie mir Mr. Preece mittheilte, zwischen Lavernock Point und Brean Down, quer über die ganze Breite des Kanals (14,5 km) telegraphische Verständigung zu erzielen. Bei diesem Versuch wurden auf beiden Standorten Drachen benutzt, um die senkrechten Drähte zu halten. Wie lang dieselben waren, ist mir nicht bekannt geworden. —

Zurückgekehrt, ging ich sofort daran, meine eigenen Versuche wieder aufzunehmen, unter Verwendung Marconischer Luftdrähte.

Der erste Versuch, Ende Juni, bestand in der telegraphischen Verbindung dieses Hörsaales mit der chemischen Fabrik von A. Beringer, am Salzufer gelegen. Es stand dort ein Wasserthurm zur Verfügung, um den Sendedraht zu befestigen. Der Versuch glückte sofort, doch zog ich es vor, denselben schleunigst abzubrechen, da eine Anfrage des Fernsprechants einlief, ob am Salzufer örtliche Gewitter aufträten, die sämmtlichen Linien dorthin seien gestört. Wir lagen also dort mit unserem Strahlapparat den Fernsprechdrähten zu nahe.

Die nächste Verbindung erfolgte mit dem Wohnhause eines meiner Assistenten an der Ecke der Berliner und Sophienstraße. In einem Kellerraum des einstöckigen Hauses wurde der Strahlapparat aufgestellt. Die Entfernung in der Luftlinie beträgt etwa $\frac{1}{4}$ km, doch liegen zahlreiche hohe

Bäume dazwischen, welche die Strahlung durchdringen muß. Wir wollen heut Abend den Versuch wiederholen.

Hier im Saal steht der Empfänger mit dem Morse-schreiber. Der eine Pol des Fritters ist mit der Wasserleitung verbunden, also an Erde gelegt; an dem anderen Pol ist ein isolirter Kupferdraht befestigt, der im Nebenzimmer zum Fenster hinausführt und mittelst eines Porzellanisolators an der Dachkante des Hauses aufgehängt ist. Drüben am Sendeort ist ein gleicher Draht gut isolirt an der Spitze der Fahnenstange befestigt, die zugleich den Blitzableiter des Hauses bildet. Er führt frei durch die Luft bis in die Nähe des Erdbodens und von hier mittelst isolirender Stützen in den Raum, wo der Strahlapparat steht, von gleichen Abmessungen wie der hier auf dem Tische befindliche.

(Es erfolgt die Aufnahme eines Telegramms.)

Zur wissenschaftlichen Erforschung der merkwürdigen Erscheinung genügen aber so geringe Entfernungen nicht. Ich war so glücklich, die Allerhöchste Erlaubniß zu erhalten, auf den Gewässern der Havel bei Potsdam und in den umliegenden Königlichen Gärten Versuche anstellen zu dürfen. Fast 2 Monate konnte ich auf diese Forschungen verwenden, unterstützt von den Mannschaften der Königlichen Matrosenstation.

Es waren die unterhaltendsten, angenehmsten Studien, die ich je betrieben, in dem herrlichen Laboratorium der Natur unter einem fast immer lachenden Himmel in paradiesischer Umgebung. Die planmäßig angestellten Versuche brachten uns, wenn auch keine Erklärung der Erscheinungen, so doch eine Fülle von Anregungen und wichtige Anhaltspunkte für die weitere erfolgreiche Ausdehnung der Funkentelegraphie.

Unser Hauptquartier war auf der Matrosenstation an der Glienicker Brücke. Dort standen die Empfangsapparate. Der vorhandene Flaggenmast wurde wesentlich erhöht, so daß die oberste Spitze des blanken Empfängerdrahtes 26 m über dem Erdboden lag. Unser erster Sendeort war die Pfaueninsel, 3 km entfernt. Die Apparate, Batterien, Induktorien und Strahl-

apparate wurden in einem Zimmer des dortigen Schlosses aufgestellt. An der wohlbekannten eisernen Brücke, welche die beiden Thürme des Schlosses verbindet (Fig. 10), wurde ein Mast befestigt zur Aufnahme eines senkrecht am Schloß heruntergeführten 26 m langen Drahtes, der an Isolatoren hängend durch das Fenster bis in's Zimmer geführt wurde. An beiden Orten war gute Erdverbindung durch einen Draht

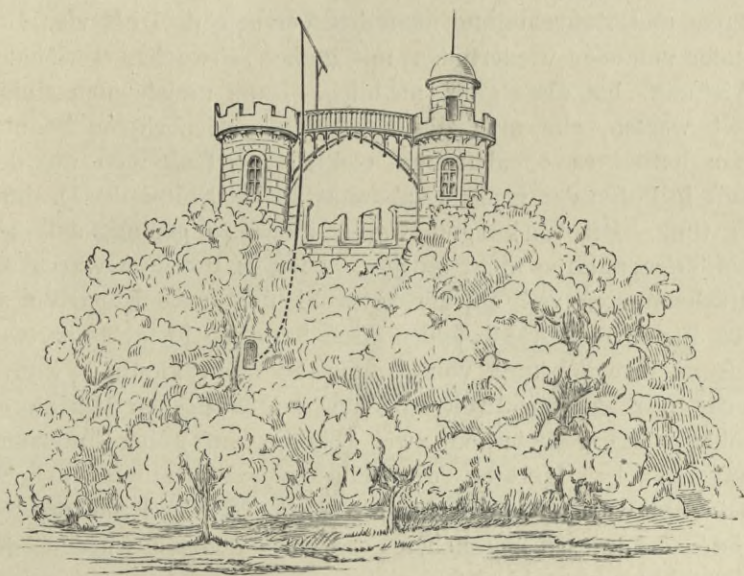


Fig. 10.

hergestellt, der bis zur Havel ging und dort an einer großen im Wasser liegenden Zinkplatte verlöthet wurde.

Die ersten Versuche, welche angestellt wurden, brachten kein befriedigendes Ergebnifs. Wohl kamen Zeichen an, sie waren aber zerrissen und unleserlich. Dazu traten Störungen ganz unvorhergesehener Art, unregelmäßige Zeichen, die nicht gesandt waren. Besonders viel zu schaffen machten uns die letzteren. Da der Empfänger sie nur anzeigte, wenn sein Pol

mit dem Luftdraht verbunden war, so mußte in diesem die Störungsquelle vermuthet werden. An luftelektrische Ursachen dachte ich zunächst noch nicht, war doch die Luft klar und rein und ohne jede Gewitterschwüle. Bei den englischen Versuchen hatte ich allerdings die Wirkungen der Lufterlektricität kennen gelernt, aber sie waren sehr gering gewesen. Sobald man den Draht vom Empfänger gelöst und einige Zeit isolirt in der Hand gehalten hatte, sprach die Frittröhre an, wenn man den Kupferdraht wieder an den Pol legte, und zwar konnte man den Versuch drei bis vier Mal hinter einander wiederholen mit immer schwächer werdender Wirkung, bis diese ganz ausblieb. Dann mußte man einige Zeit warten, ehe man die Erscheinung wiederholen konnte. Wir hatten es offenbar mit elektrischen Ladungen aus der Luft in Folge der großen Kapazität an der Spitze des Drahtes zu thun. Die Wirkungen waren indess so gering, daß sie das Telegraphiren nicht störten. Hier in Potsdam waren die Erscheinungen viel stärker, obwohl die große Kapazität an den Enden der Drähte fehlte. Ich hatte sie fortgelassen, weil ich an ihre Wirkung von Anfang an nicht glaubte. Zudem hatte mir Kapitän Jackson von der englischen Marine erzählt, daß er zwischen zwei Schiffen auf 2 km Entfernung mit einfachen Drähten, die ohne Kapazität am Mast hochgebracht waren, telegraphiren konnte. Ich will Sie mit den vielen erfolglosen Versuchen, die vorgenommen wurden, den Uebelthäter zu entdecken, nicht ermüden. Es wurde endlich außer Zweifel gestellt, daß wir es thatsächlich mit Lufterlektricität zu thun hatten, die sich aber nur deshalb so störend bemerkbar machte, weil unser elektrisches Auge allzu empfindlich war. Es enthielt zu feines und ungleichmäßiges Pulver und zuviel Silber. Dies führte zu einer völligen Umgestaltung unserer Frittröhren, wir machen sie seitdem mit größeren sorgfältig ausgesuchten Körnern und ohne Silber. Im Laboratorium hatten unsere Fritter vorher vortrefflich gearbeitet, wir freuten uns über ihre große Empfindlichkeit, im Freien versagten sie. Die Natur zwang uns, ihre eigene, un-

erwünschte Telegraphirthätigkeit durch Anwendung größerer Mittel außer Dienst zu stellen.

Der andere Uebelstand, das Zerreißen unserer Zeichen, konnte nicht so schnell beseitigt werden. Da die Pfaueninsel von der Matrosenstation aus nicht gesehen werden kann, war eine Verständigung durch Flaggenzeichen nicht möglich, der Verkehr durch Boten zu zeitraubend und mühevoll. Ich nahm deshalb zunächst die Studien mit einem günstiger gelegenen Sendeort auf, mit der Sacrower Heilandskirche, welche 1,6 km in der Luftlinie von der Matrosenstation entfernt und sichtbar

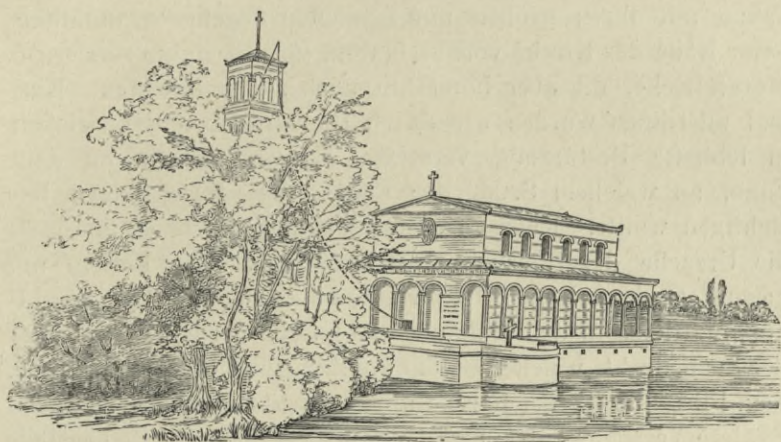


Fig. 11.

ist, so daß eine Verständigung durch Flaggenzeichen möglich war. Durch die Güte des Kommandeurs der Luftschifferabtheilung, Herrn Majors Nieber, kam ich später in den Besitz eines Fernsprechkabels, welches durch die Havel gelegt wurde, so daß die Versuche nunmehr schneller aufeinander folgen konnten.

Die Lage der Sacrower Kirche ist Ihnen bekannt (Fig. 11). Seitlich von der Basilika steht der Glockenthurm, der unmittelbar unter seinem Dach eine Plattform trägt. Dort wurde ein Mast befestigt und an seiner äußersten Spitze, 23 m über

dem Erdboden, mit Hülfe eines Porzellanisolators der isolirte Kupferdraht aufgehängt. Zur Aufstellung des Strahlapparates wählten wir den Säulengang der Kirche, um bei Regenwetter geschützt zu sein. Das war unser Glück, eine andere Anordnung, die später gewählt wurde, hätte uns nicht sofort zum Ziele geführt.

Die in Sacrow aufgegebenen Telegramme kamen auf der Matrosenstation mit tadelloser Klarheit und Bestimmtheit an. Die atmosphärischen Störungen waren durch die unempfindlicheren Frittröhren endgiltig beseitigt; das Zerreißen der Morsestriche hatte aufgehört. Nur manchmal, wenn Spreekähne mit ihren großen aufgespannten Segeln in unmittelbarer Nähe der Kirche vorüberfuhren, gab es einige zerrissene Morsestriche, die aber immerhin noch zu lesen waren. Einmal allerdings wurden wir durch Undeutlichkeit der Zeichen in lebhafteste Bestürzung versetzt. Es war gerade an dem Tage, an welchem S. M. der Kaiser die Einrichtungen besichtigen wollte. Kurz vor Thoresschluss gelang es uns erst, die Ursache der Störungen zu beseitigen. Wir hatten, um gegen etwaigen Regen besser geschützt zu sein, den Strahlapparat tiefer in den Eingang der Kirche gerückt, dabei war der Sendedraht, welcher stark durchhing, auf etwa 2 m Länge, dem Fliesenboden der Kirche auf etwa 30 cm nahe gekommen. Spätere Versuche haben uns deutlich gezeigt, daß jede parallele Lage eines Theiles des Drahtes in der Nähe des Erdbodens verhängnisvoll ist. Es giebt eine gewisse Mindestentfernung, bei der die elektrischen Strahlen nicht mehr in den Raum, sondern direkt zur Erde übergehen. Nachdem wir den Draht verkürzt und straffer angezogen hatten, war die Störung beseitigt. Das Telegraphiren gelang vorzüglich, S. M. der Kaiser gab selber ein Telegramm auf und konnte sich bei der Rückkehr nach der Matrosenstation von der sicheren Ankunft desselben überzeugen.

Weitere Versuche an der Sacrower Kirche ergaben ein wichtiges Resultat. Als ich den Sendedraht senkrecht am Glockenthurm herunterführte zu dem am Eingang des Thurmes

aufgestellten Strahlapparat, blieben die Zeichen vollkommen aus. Nach längeren Versuchen erst wurde die Hinderungsursache erkannt und damit zugleich eine Erklärung des anfänglichen Misserfolges mit der Pfaueninsel gewonnen. In unmittelbarer Nähe des Glockenthurmes befanden sich hohe Baumgruppen, welche den vertikalen Draht fast völlig verdeckten, so daß man von der Matrosenstation mit einem Fernrohr nur das oberste Stück des Drahtes erkennen konnte. Die von dem Draht ausgehenden Strahlen wurden ebenso wie die Lichtstrahlen von der Baumgruppe verschluckt bezw. zur Erde abgeleitet. Die Hauptbedingung für das Gelingen der Funkentelegraphie ist, daß alle Hindernisse, welche sich in der Nähe vor dem Sendedraht befinden, beseitigt werden, die beiden Drähte, am Sender und Empfänger, müssen sich gleichsam sehen können. Wie lagen die Verhältnisse nun bei der Pfaueninsel? In ein Meßtischblatt der Generalstabsaufnahme wurde die Verbindungslinie der Apparate eingetragen. Dieselbe schnitt nicht nur eine bewaldete als Landzunge vorspringende Anhöhe, sondern eine ganze Gebäudegruppe, den Jägerhof im Park von Glienicke. Durch diesen mußten die Strahlen hindurch und es erklärt sich dadurch ihre auffallende Schwächung.

Zuerst hatte ich den Blitzableiter auf dem Schloß der Pfaueninsel als Störenfried im Verdacht gehabt. Ich ließ seine Erdverbindung herausnehmen — ohne Erfolg. Sodann zog ich mit meinem Empfänger weiter nach Westen, in die Nähe der Marmorbank im Neuen Garten. An einem hohen Baume hatten die flinken Matrosen bald einen Mast befestigt, dessen Spitze 23 m über der Erde war. Nun lag zwischen den beiden Drähten die bewaldete und bebaute Landzunge nicht mehr im Wege. Das Ergebnis war besser, aber noch nicht zufriedenstellend. Auf der Pfaueninsel waren noch Baumgruppen vor dem Draht, welche ihn verdeckten. Ich ließ den Draht von dem Mast am Schloß mit einer geringen Neigung zunächst an einen Flaggenmast führen, unmittelbar an dem erhöhten Ufer der Pfaueninsel, von dort herunter zum

Ufer an den Strahlapparat. Jetzt lag der Draht ganz frei, er war sichtbar, aber seine Länge war angewachsen auf 65 m, während die Länge des Empfängerdrahtes nur etwa 26 m betrug. Die Zeichen wurden wiederum deutlicher, aber noch nicht völlig bestimmt. Wenn zahlreiche hohe Segel, oder noch schlimmer, wenn Dampfer mit stark aufsteigendem Qualm dazwischen kamen, so zerrissen wieder die Morsezeichen. Nun schritt ich zur letzten Veränderung. Ich machte den Empfängerdraht von gleicher Länge, 65 m. Dazu mußte ich auf die Havel hinaus; auf einem Prahm, durch ein Zelt geschützt, wurde der Apparat aufgestellt. Sofort kamen die Zeichen tadellos, nicht mehr zerrissen durch Segel oder Rauch.

Verlängerung, Sichtbarmachung der Drähte und Abstimmung auf gleiche Länge hatten den Erfolg bewirkt. Ungeändert war dagegen die Höhe der Aufhängepunkte geblieben. Was war nun das Wesentliche? Um dies zu entscheiden, zog ich wieder zur Matrosenstation zurück und arbeitete auch dort mit einer Drahtlänge von 65 m auf einem Prahm. Mit einem Mal war Alles in schönster Ordnung, die Zeichen von der Pfaueninsel kamen so sicher und genau, wie in den Räumen des Laboratoriums.

Deutlich haben die Versuche gezeigt, daß den ausschlaggebenden Einfluß Länge und Gleichheit der Drähte besitzen. Dazwischenliegende Hindernisse stören zwar, lassen sich aber überwinden, wenn man die Drähte nur genügend lang machen kann.

Besondere Versuche wurden angestellt, um zu sehen, ob senkrecht ausgespannte Drähte vor dem Empfängerdraht die Aufnahme stören. Der Flaggenmast auf der Matrosenstation wird durch eine ganze Reihe von eisernen Drahtseilen gehalten. Ich stellte den Empfänger, der bis dahin immer seitlich von dem Flaggenmast angebracht war, weil ich den Einfluß der Drahtseile fürchtete, dicht an den Mast, so daß die Drahtseile den Apparat wie ein eiserner Käfig umgaben. Die sichere Zeichengebung von der Sacrower Kirche wurde

dadurch nicht gestört. Ich muß bemerken, daß alle Drahtseile mit Ausnahme eines einzigen Erdschlufs hatten, wie durch Messung festgestellt wurde. Nur ein einziges und zwar das vorderste, welches dicht am Ufer befestigt war, hatte ich durch ein eingeschaltetes kurzes Hanfseilstück von der Erde isolirt; ein zweites, unmittelbar dahinter liegendes, im Abstand von wenigen Centimetern zum ersteren fast parallel laufendes, hatte gute Erdverbindung. Ich hatte das vordere Drahtseil isoliren lassen, um dasselbe geeignetenfalls als Empfängerdraht benutzen zu können. Dies glückte auch, aber die Wirkungen waren auffallend schwächer und die Zeichen nicht immer ganz vollständig. Ich lernte hier zuerst die mangelhafte Wirkung des Eisens als Material für den Empfängerdraht sowie die Schädlichkeit des Dralls kennen, wovon weiter unten noch die Rede sein wird.

Ein geringer Drall hat keinen nachtheiligen Einfluß. Dies zeigte ein Versuch mit blankem Kupferdraht, den ich in einigen Windungen um den hölzernen Flaggenmast herumführte, ehe ich sein Ende mit dem Apparat verband. Ich erhielt keine Schwächung der Zeichen, auch dann nicht, als ich ein Stück des Drahtes zu einer Spule aufwickelte mit 40 Windungen.

Ein in den Empfängerdraht eingeschalteter Widerstand von 100 Ohm ließ gleichfalls keine Schwächung der Zeichen erkennen. Eine Erhöhung dieses Widerstandes auf 1000 Ohm schwächte dieselben dagegen erheblich und machte sie fast unleserlich.

Schließlich möchte ich hier noch eine Thatsache erwähnen, die uns mehrfach entgegentrat, aber nicht völlig aufgeklärt werden konnte. Bei den Versuchen, sowohl mit Sacrow als mit der Pfaueninsel, bei denen abgerissene Zeichen überhaupt auftraten, konnten wir eine Zunahme der Störungen bemerken, sobald das Wetter windig wurde. Ich vermuthe, daß die Bewegung der Blätter an den Bäumen, welche die Strahlen auf ihrem Wege zu durchdringen hatten, einen größeren und wechselnden Widerstand herbeiführte. Es wäre

auch möglich, daß bewegte Luft die Ladung des Drahtes beschleunigt. Ein Einfluß der Luftfeuchtigkeit konnte niemals beobachtet werden, Nebel oder Regenwetter störten die Zeichengebung nicht.

Bei den Versuchen in Potsdam verfolgte ich lediglich den Zweck, mich zunächst mit den Erscheinungen der Funken-telegraphie näher vertraut zu machen, wichtige Grundbedingungen für das Gelingen kennen zu lernen, die Apparate zweckentsprechender auszubilden und mich in der Handhabung derselben zu üben. Die Grenzen der Verwendbarkeit festzustellen, weite Entfernungen zu überwinden, das war nicht die Aufgabe, die ich in Potsdam zu lösen gedachte. Dafür waren von vornherein andere, günstigere Oertlichkeiten und Mittel ins Auge gefaßt. Es wurde darum auch die Frage zunächst außer Acht gelassen, wie etwa die Funkengebung am Strahlapparat wirkungsvoller zu gestalten wäre. Ich arbeitete in Potsdam immer mit denselben bescheidenen Mitteln: mit einem Funken-Induktor von Siemens & Halske für 25 cm Schlagweite, einer Akkumulatorenbatterie von 8 Zellen und dem hier stehenden Strahlapparat, dessen Abmessungen aus Fig. 2 hervorgehen. Der Abstand der großen Kugeln betrug beständig 2 mm in Oel, die kleineren äußeren Kugeln waren in wechselnder Entfernung von 3 bis 15 mm. Einen Einfluß der Länge der äußeren Funken konnte ich bei der geringen Entfernung nicht mit Sicherheit erkennen. Die Einstellung erfolgte immer so, daß die Funken im Oel möglichst gleichmäßig und mit weißlichem Lichte auftraten. —

Ehe ich nun zu den größeren Entfernungen übergehe, will ich kurz über einige Versuche berichten, welche Marconi im Juli dieses Jahres in Spezia mit Unterstützung der italienischen Marine angestellt hat, und über welche im Septemberheft der *Rivista marittima* ausführliche Mittheilungen erfolgt sind.

Die Versuche erstreckten sich über den Zeitraum vom 10. bis 18. Juli. An den ersten 3 Tagen wurden Versuche am Lande ausgeführt, eine telegraphische Verbindung auf 3,6 km gelang vortrefflich.

Am 14. Juli telegraphirte man von dem Arsenal S. Bartolomeo nach einem in Fahrt befindlichen Schleppdampfer. Der Strahlapparat stand in S. Bartolomeo mit einem Luftdraht (Kupferkabel von 10 qmm Querschnitt) von 26 m Länge, an einem Mast befestigt. Funkeninduktor von 25 cm Schlagweite, erregt durch einen 4 zelligen Akkumulator. Die inneren Kugeln des Strahlapparates hatten einen Durchmesser von 10 cm, die äußeren von 5 cm.

Der Empfängerdraht am Mast des Schleppdampfers von 16 m Länge und 10 qmm Querschnitt. Sende- und Empfängerdraht beide mit Kapazitäten an der Spitze in Form von Zinktafeln $0,4 \times 0,4$ m. Erdverbindung an beiden Orten durch Platten im Meer. Die telegraphische Verständigung wurde ermöglicht bis auf eine Entfernung von 4 km. Bei der Weiterfahrt des Dampfers versagte sie. Man schrieb den Misserfolg einer mangelhaften Bedienung des Tasters am Strahlapparat sowie luftelektrischen Einflüssen zu.

Am 15. Juli wurde der Versuch in gleicher Weise wiederholt, nachdem man den Mast in S. Bartolomeo auf 30 m erhöht hatte. Bei der Abfahrt des Dampfers gab der Empfänger fortgesetzt Zeichen, obwohl der Sender noch nicht in Betrieb gesetzt war. Man schrieb dies Gewitterwolken zu, welche in der Ferne auftauchten. Die Versuche wurden erst wieder aufgenommen, nachdem das Wetter sich geklärt. Es wurden lesbare Depeschen gesandt bis auf eine Entfernung von 5,5 km. Die Fahrt des Dampfers wurde darauf so gerichtet, daß eine Landzunge (Castagna) sich zwischen Sender und Empfänger legte. Die Zeichen wurden sofort unklar und unleserlich.

Am 16. Juli versuchte man unter den gleichen Bedingungen wie am 15. Es war klares Wetter. Die Zeichen blieben gut bis auf 7,48 km, bis 9 km konnten noch einige entziffert werden.

Am 17. und 18. Juli trat an die Stelle des Schleppdampfers das Panzerschiff S. Martino. Der Luftdraht in S. Bartolomeo wurde auf 34 m erhöht, die Stromquelle des Induktors durch einen 5 zelligen Akkumulator gebildet. Der

Empfängerdraht an Bord am Mast befestigt 17 m hoch, 22 m über Meer.

Am 17. Juli wurde das Panzerschiff 3,2 km von S. Bartolomeo verankert. Der Empfänger wurde an den verschiedensten Stellen des Schiffes aufgestellt; auch im Innern des Schiffes, in der Nähe der Maschine. Die telegraphische Verständigung war durchweg eine gute, auch als der Apparat in die untersten Räume des Schiffes gebracht wurde, war sie noch vorhanden, wenn auch weniger gut.

Die interessantesten Versuche fanden am 18. Juli statt. Das Panzerschiff in Fahrt, alle übrigen Bedingungen dieselben wie am Tage vorher. Bei der Ausfahrt glückte die telegraphische Verständigung bis auf 12,5 km, dann wurde sie mangelhaft. Das Schiff wendete, doch bei 10 km konnten erst wieder leidliche Zeichen (*buoni se non ottimi ancora*) erhalten werden.

Nach einer Pause fuhr das Panzerschiff 6 km von S. Bartolomeo wieder nach außen. Die telegraphische Verständigung war vollkommen bis auf 16,3 km. Von da ab kamen Unterbrechungen und Störungen, doch glückte es, einige Wörter noch bei 18 km zu entziffern. Der Empfänger stand hierbei am hinteren Ende des Schiffes. Als man wendete, kamen die eisernen Masten und Thürme des Schiffes zwischen Empfänger und Sender. Hierin vermuthete man die Ursache, daß erst bei 12 km wieder die ersten unbestimmten Zeichen erhalten werden konnten. Die Fahrt des Schiffes wurde nun so gesteuert, daß Inseln (Tino und Palmaria) sich dazwischen legten, die Verständigung hörte auf, obwohl die Entfernung zwischen Sender und Empfänger nur 7—8 km betrug. Erst als die Luftlinie frei war, kamen bei 6,5 km wieder gute Zeichen. —

Diese Versuche bestätigen vollkommen die Erfahrungen, die ich auf der Pfaueninsel gemacht habe. Auch dort schwächte die zwischenliegende Landzunge des Jägerhofs die Wirkung der Strahlen, erst die durch Verlängerung des Drathes verstärkte Wirkung gestattete die Ueberwindung des

Hindernisses. Lehrreich ist ferner die Zunahme der Uebertragungsweite mit der Verlängerung (hier ausschließlich Erhöhung) der Drähte.

Nach den in Potsdam gesammelten Erfahrungen hielt ich die Anwendbarkeit der Funkentelegraphie auch auf größere Entfernungen für vollkommen sicher, falls es gelang, möglichst hohe und lange Sende- und Empfängerdrähte zu benutzen.

Es ist auf die eigenste Anregung Sr. Majestät des Kaisers zurückzuführen, daß sich die Luftschifferabtheilung zur Verfügung stellte.

Ein Vorversuch auf dem Tempelhoferfelde hatte den Zweck, die leitenden Offiziere mit Art und Ausführung der Versuche bekannt zu machen. Zugleich sollte festgestellt werden, ob wir kräftige Funkenentladungen in das Fesselseil ohne Gefahr für das Luftschiff hinaufschicken durften; denn es bot sich als einfachstes Mittel die Benutzung dieser Stahlseile als Sende- und Empfängerdrähte dar. Zu dem Ende wurden zwei mit Leuchtgas gefüllte Luftschiffe an Seilen befestigt, deren oberste Theile in der Länge von 20 m aus Hanf bestanden, um das Ueberspringen von Funken auf das Luftschiff mit Sicherheit zu verhüten. Der mittlere Theil der Fesselseile bestand aus 100 m Drahtseil, wie es für gewöhnlich benutzt wird, der unterste Theil bis zur Winde wieder aus 20 m Hanfseil, um das Drahtseil thunlichst von der Erde zu isoliren. Von dem unteren Ende des Drahtseiles führte blanker Kupferdraht zu einem Pol der Apparate, die auf freiem Felde aufgestellt waren und deren anderer Pol mit Hülfe eines in den Boden gesteckten Säbels an Erde gelegt wurde. Der Sender befand sich in der Nähe von Rixdorf, der Empfänger 3 km davon entfernt in der Nähe des Uebungsplatzes der Luftschifferabtheilung in Schöneberg. Die Verbindungen mit dem Luftschiff waren an beiden Orten völlig übereinstimmend. Es ist vielfach vermuthet worden, daß die Telegraphenapparate in den Tragkörben der Luftschiffe untergebracht gewesen seien, um von oben nach unten Telegramme

zu senden. Das wäre vollständig überflüssig, da eine bessere Verbindung der Luftschiffer mit der Erde als die jetzt übliche durch Fernsprecher, nicht erforderlich ist. Das gefesselte Luftschiff hat bei den vorliegenden Versuchen lediglich die Rolle eines Trägers der Luftdrähte übernommen, es brauchte nicht bemannt zu werden. Wollte man die Apparate im Korbe unterbringen, so müßte unter allen Umständen noch eine zweite Leitung zur Erde geführt werden. Bei heftigem Winde könnten beide Leitungen sich berühren und dadurch Störungen veranlassen. Zudem scheint mir auch die Unterbringung des Strahlapparates mit seinen kräftigen Funken in unmittelbarer Nähe des Luftschiffes nicht ungefährlich. Irgend welche Metalltheile an demselben könnten die Rolle eines unerwünschten „Resonators“ übernehmen und durch Funkenbildung das Gas entzünden.

Die Kapazität der dicken Drahtseile war sehr viel größer, als diejenige der bisher benutzten dünnen Kupferdrähte, so daß wir am Strahlapparat nur verhältnißmäßig schwache Funken erzeugen konnten. Eine Verstärkung des Funkengebers war mit Absicht unterblieben. Trotzdem arbeitete die Einrichtung vollkommen zufriedenstellend, die Wirkungen auf den Empfänger waren sogar viel zu kräftig, so daß wir unsere unempfindlichsten Frittröhren benutzen mußten. Störungen durch Lufterlektricität waren allerdings vorhanden, doch waren sie von kurzem Verlauf, sie zeigten sich auf den Morsestreifen durch Punkte an und störten die eigentlichen Zeichen nicht, die aus kurzen und langen Strichen gebildet wurden.

Ich war jetzt meiner Sache sicher und beschloß, sofort auf Entfernungen überzugehen, weiter als alle bisher erreichten. Als passender Ort bot sich Rangsdorf dar, an der Militärbahn in der Nähe von Zossen gelegen und 21 km in der Luftlinie von Schöneberg entfernt. Die Beförderung des Luftschiffes, der Wasserstoffflaschen, der Apparate und der Mannschaften war durch die Militärbahn wesentlich erleichtert. Außerdem stellte uns das Kommando derselben in dankens-

werthester Weise eine Fernsprechleitung zur Verfügung, so daß man sich jederzeit leicht verständigen konnte. Rangsdorf war der Sendeort. Die eigentlichen Versuche umfaßten 3 Tage und währten jedesmal von 10 bis 3 Uhr. Im Folgenden will ich die wichtigsten Ergebnisse kurz zusammenstellen.

Dienstag, den 5. Oktober.

Wetter. Nach mäßigen Niederschlägen am Abend vorher, war in der Nacht Aufklärung eingetreten. Wolkenloser Himmel bis 10 Uhr, dann geringe Bewölkung. Am Morgen starker Thau. Temperatur ca. 8° C. Barometerstand 770,5. Luftfeuchtigkeit ca. 70 %. Steifer Ostwind.

Des starken Windes wegen wurden Drachenluftschiffe (System von Sigsfeld) mit Wasserstofffüllung benutzt, von der Winde 500 m Drahtseil abgelassen, am Luftschiff und an der Winde je 20 m Hanfseil eingeschaltet. Das Luftschiff in Rangsdorf war mit einem Höhenmesser ausgerüstet. Die Schwankungen in der Höhenlage waren ziemlich beträchtlich, im Mittel stand das Luftschiff 300 m über dem Erdboden.

Sender und Empfänger waren durch isolirten Kupferdraht von 1 mm Durchmesser mit den unteren Enden des Drahtseils verbunden. Erdverbindung in Rangsdorf: Kupferplatte im angefeuchteten Erdreich, in Schöneberg: Säbel in die Erde gesteckt. Infolge der großen Kapazität des Drahtseils ließen sich am Strahlapparat nur kleine Funken einstellen. Oelfunken 1 mm, äußere 2 mm.

Beim Befestigen der Luftdrähte an den Polen der Apparate empfangen wir heftige elektrische Schläge, selbst beim Berühren der Isolation mit dicken Lederhandschuhen. Beim Losreißen der Drähte, durch den heftigen Wind einigemal verursacht, gab es ein wildes Durcheinanderspringen der herumstehenden Mannschaften, um nicht von dem hin und hergepeitschten Draht getroffen zu werden. Glückte es, ihn einzufangen, so wurde er sofort mit einem Säbel an Erde gelegt.

Das Ergebniß in Schöneberg war ganz unbefriedigend. Einige Zeichen kamen zwar an, aber zerrissen und unbestimmt. Selbst wenn nicht telegraphirt wurde, arbeitete der

Apparat unaufhörlich in Strichen und Punkten, lediglich infolge heftig abströmender Lufterlektricität. Es wurde uns sofort klar, daß diese Störungen auf die große Kapazität des Drahtseils zurückzuführen waren, die zudem in Rangsdorf die Funken schwächte.

Mittwoch, den 6. Oktober.

Wetter im Allgemeinen unverändert. Himmel bewölkt. Temperatur 7° C. Barometerstand 769,9. Luftfeuchtigkeit 63%. Kalter Nordost.

Die Luftschiffe standen zunächst mit 300 m Drahtseil, von 1 Uhr ab mit 400 m, ihre Höhe betrug nach Ausweis des Höhenmessers 200 m bzw. 280 m. Schwankungen in der Höhenlage waren noch vorhanden, aber geringer als am Vortage.

Als Empfangsdraht diente ein Fernsprechkabel aus Stahl (Doppeldraht mit Drall), wie sie bei der Luftschifferabtheilung für den Verkehr vom Luftschiff zur Erde im Gebrauch sind. Dieses Kabel war am Korbe des Luftschiffes mit Hanfseilen befestigt; das untere Ende mit einem Pol der Apparate verbunden. Das Fesselseil, diesmal ohne die Hanfseilansätze, hatte metallische Berührung mit der Winde, deren Erdverbindung durch besondere Drahtseile verbessert wurde. Wir hofften durch diese Einrichtung die lufterlektrischen Störungen abzuschwächen bzw. vom Empfangsdraht abzuhalten. Trotzdem waren dieselben in unverminderter Stärke vorhanden; man konnte die Fernsprechkabel, wenn sie frei hingen, nicht berühren ohne die heftigsten elektrischen Schläge, aber weniger andauernd. Die Wirkung am Empfänger war dagegen wesentlich gebessert. Die einzelnen Zeichen waren deutlich zu erkennen, die Morsestriche indessen noch häufig unterbrochen und abgerissen. Die lufterlektrischen Störungen gaben sich in zahlreichen Punkten auf dem Morsestreifen kund. Immerhin war die durch Verminderung der Kapazität der Drähte erzielte Besserung unverkennbar.

Ein Weiterschreiten auf dem betretenen Wege führte am dritten Tage zum vollen Gelingen.

Donnerstag, den 7. Oktober.

Wetter. Weniger rauh. Himmel ganz bewölkt. Temperatur 6° C. Barometerstand 769,4. Luftfeuchtigkeit 55 %. Wind Nordwest.

Das Zerreißen der Zeichen am Vortrage führte ich nach den in Potsdam gemachten Erfahrungen auf den Stahldraht des Fernsprechkabels und seinen Drall zurück. Wir ersetzten dasselbe durch umsponnenen Kupferdraht von 0,46 mm Durchmesser. Damit war auch eine weitere Verminderung der Kapazität verbunden.

Beim ersten Zeichen, welches vom Empfänger aufgenommen wurde, lag der Erfolg offen zu Tage. Dasselbe kam mit verblüffender Sorgfalt und Klarheit. Wir hatten die Störenfriede entdeckt und endgiltig beseitigt: die große Kapazität, das Eisen und den Drall.

Die senkrechte Höhe des Luftschiffes betrug nach dem Höhenmesser 250 bis 280 m. Die Luftpotelektricität wirkte genau so heftig wie früher, man konnte den freihängenden Kupferdraht nicht ohne Strafe berühren. Dennoch störte sie die ankommenden Zeichen nicht mehr. Fig. 9a (Autotypie-Tafel) giebt eines der ersten Telegramme, man erkennt darin deutlich die Störungen durch Luftpotelektricität, es sind winzige Punkte, die nicht mehr im Stande sind, die Deutlichkeit der Morsezeichen zu beeinträchtigen.

Auf alle Beteiligten machten diese Versuche den Eindruck, daß die Grenze der Uebertragungsmöglichkeit mit den vorhandenen Mitteln bei weitem noch nicht erreicht sei. Ich verstehe darunter diejenige, bei welcher ein regelmäßiger Depeschendienst noch möglich ist. Bedenkt man nun, daß die Höhe des Luftdrahtes bei Benutzung von Fessel-Luftschiffen mit Leichtigkeit auf 1000 m ausgedehnt werden kann, daß ferner für die Verstärkung der Funken am Strahlapparat bis jetzt so gut wie nichts geschehen ist, so wird man einer weiteren Ausdehnung der Funkentelegraphie auf große Entfernungen eine günstige Zukunft nicht absprechen können.

Bisher hat man zur Erzeugung der Funken nur Induk-

torien benutzt, deren Schlagweite 30 cm nicht überstieg. Hier sehen Sie ein Induktorium, welches Funken bis 50 cm liefert, ich habe dasselbe bei den Versuchen nur deshalb nicht verwendet, weil es zu schwer ist. Auch wollte ich bisher nur die Grundbedingungen erforschen, was mit kleineren Mitteln ebenso gut erreichbar ist. Das Induktorium ist ein physikalischer Apparat. Die Elektrotechnik hat uns gelehrt, wie man Funkenentladungen mit maschinellen Hilfsmitteln erzeugen kann, deren Mächtigkeit die dünnen Entladungen der Induktorien vollkommen in den Schatten stellt. Da das Studium dieser Einrichtungen noch nicht völlig abgeschlossen ist, will ich heute darauf nicht näher eingehen, doch will ich Ihnen solche Funkenentladungen vorführen, die durch eine 3pferdige Wechselstrom-Maschine und einen Transformator für 25 000 Volt erzeugt sind. (Experiment.) Sie sehen deutlich, mit welcher gewaltigen Kräften wir es hier zu thun haben. —

Ich bin häufig gefragt worden, in welcher Richtung und Ausdehnung eine Verwendung der Funkentelegraphie möglich sein wird. Unsere Kenntniß der in Betracht kommenden Erscheinungen ist bis jetzt eine sehr bescheidene, wir stehen in den allerersten Anfängen, wer wollte heut schon sagen, wie weit und wohin der Weg uns führt. Ich werde mich wohl hüten, vor Ihnen Zukunftsbilder zu entrollen, doch glaube ich mit Sicherheit behaupten zu können, daß die neue Telegraphie für gewisse Verwendungszwecke heute schon reif und beachtenswerth ist. Die wichtigsten scheinen auf militärischem Gebiet zu liegen. Belagerte Festungen, vorrückende Armeen, die den Feind zwischen sich haben, könnten sich heute schon der Funkentelegraphie als eines Verständigungsmittels bedienen, welches gleich sicher wirkt am hellen Tage wie bei Nacht und Nebel, allerdings nur bei Benutzung von Luftschiffen, denn die durch Thürme, Masten oder hohe Bäume erreichbaren Entfernungen dürften in diesem Falle kaum ausreichen. Größere Heeresmassen sind heut in der Regel mit diesem wichtigen Beobachtungsmittel bereits ausgerüstet.

Gleich naheliegend erscheint der Nutzen für die Marine. Versuche des letzten Sommers haben die Verwendbarkeit von Fessel-Luftschiffen auf hoher See außer Frage gestellt. Es müßte doch werthvoll sein, wenn in einem Kriegsfall die Schiffe der Nord- und Ostsee in ständiger telegraphischer Verbindung blieben.

Ebenso nahe liegt die Verwendung für Leuchttürme und Feuerschiffe. Die Empfangsapparate lassen sich unschwer in handlicher Form, nicht umfangreicher als ein Chronometer, ausbilden. Sie würden bei Annäherung an einen Leuchtturm nicht nur Zeichen geben, sondern auch den Namen des Leuchtturmes aufschreiben können, es erscheint sogar ausführbar, die Empfangsapparate mit einer verstellbaren Regelung für die Empfindlichkeit zu versehen, welche die Ablesung der Entfernung des Leuchtturmes gestattet. Doch ich fange an, Zukunftsbilder zu entrollen und Sie werden mich Lügen strafen.

Bescheidener, aber nicht unwichtig sind einige Anwendungen, die man in England plant. Dort giebt es einzelne Inseln in der Nähe des Festlandes, die zum Theil Badeörter oder Vertheidigungswerke besitzen und für kurze Zeit oder in geringem Umfange eines telegraphischen Verkehrsmittels bedürfen. Die Legung eines Kabels würde zu kostspielig werden, schon mit Rücksicht auf die Zerstörungen durch Ebbe und Fluth, die einen baldigen Verschleiß des Kabels bedingen. So will Mr. Preece in nächster Zeit die Inseln Guernsey und Sark durch den Funkentelegraphen verbinden. Für durchaus möglich halte ich die Funkentelegraphie zwischen Dover und Calais. Wie die Zeitungen melden, ist die englische Telegraphenverwaltung mit solchen Versuchen eifrig beschäftigt.

Nun komme ich zu einer Frage, die gleichfalls häufig erörtert wird. Die von einem Sendedraht ausgehenden elektrischen Wellen verbreiten sich gleichmäßig nach allen Richtungen des Raumes. Jeder Empfangsapparat wird davon getroffen und bei geeigneter Empfindlichkeit wird er ansprechen. Jedes Telegramm wird also eigentlich der ganzen Welt mit-

getheilt. Das ist unbestreitbar richtig und darin liegt die schwächste Seite der Funkentelegraphie, welche ihre Anwendbarkeit auf ganz besondere Fälle beschränkt.

Für die praktische Verwendung bleibt zunächst nur das Auskunftsmittel der verabredeten Zeichen, falls man sich gegen das Mitlesen der Depeschen sichern will. Die Telegraphie im Kriege würde allerdings sofort unmöglich gemacht, wenn ein feindlicher Strahlapparat eine dauernde Störung der Zeichen bewirkte. Es gäbe einen interessanten Kampf in den Wellen des Aethers.

Trotz dieser unleugbaren Mängel wollen wir uns aber die Freude an der neuen Funkentelegraphie nicht verkümmern lassen. Wir stehen vor ganz eigenartigen Erscheinungen, die ein neues Gebiet der technischen Anwendung soeben erst erschließen. Auch hier wird der Fortschritt nicht ausbleiben. —

Bei den besprochenen Versuchen waren die Pole von Sender und Empfänger stets mit Luftdraht bzw. mit Erde verbunden. Die Verbindung mit der Erde braucht keine besonders innige zu sein, ein in den Boden gesteckter Säbel, in Wasser gelegter Draht, selbst mit Isolation, falls nur am äußeren Ende der Querschnitt freiliegt, genügen. Unterläßt man die Erdverbindung aber ganz, so wird die Wirkung auf den Empfänger wesentlich geschwächt. Zwischen Matrosenstation und Sacrow konnten wir auch ohne Erdverbindung deutliche Zeichen geben, mit der Pfaueninsel glückte es nicht, die Zeichen rissen ab und wurden unvollständig. Zur Herstellung einer ausreichenden Erdverbindung genügte es auch, wenn der mit guter Isolation versehene Erddraht lose auf den nassen Bodenplanken des Prahmes lag. —

Ich habe einige Versuche angestellt, um zu sehen, ob die senkrechte Führung des Luftdrahtes unter allen Umständen nöthig ist. Das ist nicht der Fall. Der folgende Versuch wird Sie davon überzeugen. Benutze ich als Sender den Unterbrechungsfunken dieser kleinen Hausklingel, so spricht die Frittröhre an, wenn ich in unmittelbarer Nähe derselben die Funken erzeuge. Ein Meter ist aber die äußerste Entfernung,

auf welche ich gehen darf. Verbinde ich nun die Pole des Fritters einerseits, die Funkenstrecke der Klingel andererseits mit frei ausgespannten, am anderen Ende isolirten wagerechten Drähten von etwa 5 m Länge, so kann ich vom äußersten Ende dieses Saales den Empfänger mit Sicherheit in Thätigkeit setzen. Wir befinden uns nun hier nicht in unmittelbarer Nähe des Erdbodens. Wiederholt man den Versuch im Freien, so bemerkt man, daß die Uebertragungsweite abnimmt, sobald man sich mit den wagerechten Drähten dem Erdboden nähert. Beträgt der Abstand aber über 2 m, so kann man auf erhebliche Entfernungen gehen. Als wir bei den anfänglichen Versuchen mit der Pfaueninsel durch luftelektrische Erscheinungen empfindlich gestört wurden, benutzte ich 4 solcher Horizontaldrähte von 0,46 mm Durchmesser von je 100 m Länge, welche etwa 2 m vom Erdboden bzw. von der Wasseroberfläche freihängend an Isolatoren befestigt waren. Wir konnten damit auf 3 km klare Zeichen senden, obwohl zahlreiche Hindernisse, wie Bäume und die erwähnte Landzunge dazwischen lagen. Es ergibt sich daraus die Möglichkeit der Ueberwindung großer Entfernungen auch ohne die kostspielige Mitwirkung von Luftschiffen. Man müßte allerdings die wagerechten Drähte so hochlegen, daß sie sich sozusagen in ihrer ganzen Ausdehnung sehen können. Zwei gegenüberliegende Küsten könnten auf diese Art wohl am einfachsten telegraphisch verbunden werden, wenn dem Ausspannen kilometerlanger Leitungen an hohen Masten keine Hindernisse im Wege stehen.

Eine thunlichst parallele Lage der Drähte ist aber erforderlich. Ein einfacher Versuch wird dies zeigen. Ich verbinde mit den Polen des Empfängers und der Klingelfunkenstrecke steife Kupferdrähte von etwa $\frac{1}{2}$ m Länge. Ich stelle mich nun mit der Klingel so vor den Empfänger, daß die Drähte parallel liegen, derselbe spricht in dieser Entfernung sicher an. Drehe ich mich aber, sodaß die parallele Lage der Drähte aufhört, so versagt der Empfänger schon bei einem Winkel von etwa 30° . (Versuch.)

Nach all diesen Beobachtungen neige ich zu der Ansicht, daß das Wesentliche die Länge der Drähte ist und nicht ihre Höhe. Die letztere braucht nur so groß zu sein, daß zwischenliegende Hindernisse in angemessener Entfernung darunter bleiben. Diese Anordnung hätte den nicht zu unterschätzenden Vortheil, daß luftelektrische Störungen sicher ausgeschlossen werden können, denn in gleicher Höhe vom Erdboden ist das elektrische Potential der Luft das gleiche, so daß Entladungen der beiden Drähte durch den Fritter hindurch vermieden werden. Die Aufstellung des Empfängers müßte allerdings isolirt vom Erdboden erfolgen. —

Bei meinen Versuchen habe ich auch eine Beobachtung gemacht, die mancherlei Aussichten eröffnet. Sie bezieht sich auf die Rolle eines in Richtung der fortschreitenden Wellenbewegung des Aethers sich befindenden Drahtes. Als wir im vorigen Winter auf den langen Gängen der Technischen Hochschule mit unseren damals noch unvollkommenen Einrichtungen Versuche anstellten, fiel uns eines Tages auf, daß wir wesentlich weitere Entfernungen erzielen konnten als sonst, obwohl unsere Apparate unverändert waren und in gleicher Weise arbeiteten. Wir entdeckten die Ursache. Es war ein etwa 10 m langes Stück dünnen Drahtes, das von früheren Versuchen auf dem Fußboden ziemlich geradlinig in Richtung unserer Uebertragung liegen geblieben war. Als wir ihn aufhoben, war die Wirkung unserer Apparate wieder wesentlich verschlechtert. Weitere Versuche führten zu der Erkenntniß, daß die elektrischen Wellen an Drähten entlang mit viel größerer Leichtigkeit wandern als durch die Luft, ja daß sie die Drähte gleichsam aufsuchen und auf ihrem Wege bevorzugen, wenn sie sich in Richtung der Fortpflanzung der Strahlen erstrecken. Auf der Matrosenstation spannten wir 160 m gut isolirten Drahtes aus, etwa 1 m vom Erdboden. Winzige Klingelfunken, die in der Nähe des einen Endes erzeugt wurden, wirkten auf den Empfänger, der in der Nähe des anderen Endes des Drahtes aufgestellt war. Es war wie eine Sprachrohrwirkung. Ich wiederholte den Versuch mit

dem 10mal längeren Fernsprechdraht, der zur Verbindung der Standorte in die Havel gesenkt war. Ich erzielte nicht die geringste Wirkung, selbst dann nicht, als ich den Draht selber einerseits mit dem Pol des Empfängers, andererseits mit der Kugel des Strahlapparates metallisch verband und die stärksten Entladungsfunken hineinsandte. Es war lediglich die Wirkung der nahen Erde, welche durch die Isolation des Drahtes hindurch die Strahlen ablenkte. Erst in einer gewissen, allerdings nicht großen Entfernung von der Erde wird die Fortpflanzung durch den Draht möglich.

Man könnte hierauf vielleicht eine neue Art von Telegraphie mit nur einem Draht und ohne Erdverbindung gründen. Verbände man die Enden des Drahtes mit je einem Pol des Senders und Empfängers, so würde ein winziger Funke seine Wirkungen sicherlich meilenweit tragen. Festzustellen bliebe allerdings, ob die übliche Isolirung der Stützpunkte das Uebertreten der Wellen in die Erde ebenso wirksam verhüten könnte, wie den Uebergang der Gleichströme bei der gewöhnlichen Telegraphirmethode.

Eine andere Ueberlegung führt zu merkwürdigen Folgerungen. Die Wirkungen des Gleichstroms pflanzen sich bekanntlich nur in Leitern fort, jede Isolation hemmt ihren Lauf. In welch erstaunlichem Maße dies geschieht, haben wir ja an den Frittröhren gesehen, die trotz ihrer metallischen Füllung durch die winzigen Luftstrecken zwischen den lose aneinander liegenden Körnern die Ausbildung und Fortpflanzung eines Gleichstromes vollkommen verhindern. Gerade entgegengesetzt ist das Verhalten der elektrischen Wellen, die von einer Funkenstrecke mit schnell wechselnden Entladungen ausgehen. Sie dringen mit Leichtigkeit gerade durch die besten Isolatoren, wie die Luft, doch werden sie von Metallen gehemmt; sie werden von diesen zurückgeworfen wie das Licht von einer spiegelnden Fläche. Die an einem Draht entlang laufenden Wellen dringen darum auch nicht in das Innere, ihre Straße ist der freie Aetherraum rings herum.

Nun theilt jeder Draht den Raum in zwei Theile, einen Außen- und einen Innenraum, man könnte sie folgerichtig als Außen- und Innenröhre bezeichnen. Füllen die Wirkungen des Gleichstroms nun die innere Röhre, so bleibt die äußere frei für den ungehinderten Fortgang elektrischer Wellen. Es muß also möglich sein, auf einem einzigen Draht zwei Telegramme zu befördern, das eine mit Gleichstrom, das andere mit Funkenstrom, wenn diese Ausdrucksweise gestattet ist.

Ein Versuch wird uns von der Richtigkeit dieser Folgerungen überzeugen. Längs jenen drei Wänden dieses Saales ist ein dünner isolirter Kupferdraht von 0,4 mm Durchmesser ausgespannt und an Porzellanisolatoren befestigt. Die Gesamtlänge beträgt etwa 60 m. Hier an der vorderen Längsseite des Saales befinden sich die freien Enden des Drahtes etwa 20 m von einander entfernt. Zur Ausführung der gewöhnlichen Stromtelegraphie dient auf der einen Seite eine kleine Akkumulatorenbatterie, deren einer Pol mit Hülfe eines Tasters an die Leitung gelegt werden kann, während der andere Pol durch Verbindung mit der Wasserleitung im Nebenzimmer geerdet ist. Auf der anderen Seite ist ein Morseschreiber eingeschaltet und die Leitung gleichfalls an Erde gelegt. Sie bemerken, wie ich durch längeres oder kürzeres Niederdrücken des Tasters den Morseschreiber in Thätigkeit setzen kann.

In unmittelbarer Nähe des Drahtendes befindet sich ferner auf der einen Seite eine kleine elektrische Hausklingel, durch zwei Trockenelemente bethätigt. Den winzigen Unterbrechungsfunken derselben wollen wir als Sender elektrischer Wellen benutzen. Auf der anderen Seite ist unser Marconi-Apparat dicht an den Draht gerückt. Sobald ich einen Funken erzeuge, hören Sie das Geräusch des Klopfers und das Ticken eines angeschlossenen zweiten Morseschreibers. Wir wollen nun zu gleicher Zeit zwei Telegramme senden, und zwar das Wort „Strom“ mit dem Taster, das Wort „Funke“ mit der Klingel. (Versuch.) Sie sehen, beide Telegramme sind ganz deutlich angekommen, ohne sich zu stören.

Eine kleine Vorsicht ist allerdings zu beobachten. Der Unterbrechungsfunke am Taster der Stromtelegraphie würde auf den Marconi-Apparat wirken; ich habe ihn durch einen Nebenschluß von 2000 Ohm unwirksam gemacht.

Ehe dieser Versuch indess eine praktische Bedeutung gewinnen kann, müßte eine Erprobung auf längeren Linien erfolgen. —

Möge dieses Beispiel aber zeigen, daß die Anwendung elektrischer Strahlen mit Marconi's Erfindung nicht erschöpft ist. Die Natur hat uns ein neues Thor geöffnet, Aufgabe der Wissenschaft ist es zunächst, den erschlossenen Raum zu erhellen.

Eine fesselnde Gedankenverbindung drängt sich uns auf. Wir stehen am Ende eines Jahrhunderts, dessen Beginn uns die Entdeckung des elektrischen Stromes brachte. Länger als 50 Jahre kannten wir nur eine nützliche Verwendung desselben: die Telegraphie. Wer hätte am Anfange des Jahrhunderts seine volle Bedeutung geahnt? Aus dem leichtfüßigen Vermittler der Gedanken wurde der Spender des blendendsten Lichtes, der Lasten tragende Herkules des Verkehrs und der Industrie.

Das Meer der elektrischen Wellen erschließt sich erst jetzt. Wiederum ist es zunächst nur ein leichtes Schiff, das wir getragen sehen. Mehr als ein berückender Traum will es uns aber scheinen, daß dereinst auch schwerere Fahrzeuge auf seinen Wogen dahinziehen. Trägt doch die Wasserwelle nicht nur die leichteste Feder, sondern mit gleicher Willigkeit das belastete Eisenschiff von Ufer zu Ufer; sendet die Sonne doch schon seit Jahrtausenden mit den Wellen des Aethers ungezählte Millionen von Pferdestärken auf die erstarrende kraftarme Erde!

Die Anwendung der Funkentelegraphie in der Marine.

(Vortrag in der schiffbautechnischen Gesellschaft
am 5. Dezember 1899.)

Während der praktische Werth der Erfindung Marconi's anfangs vielfach bezweifelt wurde, ist derselbe heute, wenigstens für gewisse Verwendungszwecke, unbestritten, und die Marinen aller seefahrenden Nationen sind beschäftigt, die neue Telegraphie als werthvolle Ergänzung der bestehenden Signaleinrichtungen anzunehmen und weiter auszubilden. Man wird in Zukunft beim Entwurf neuer Schiffe für die Unterbringung der Apparate von vorn herein Sorge zu tragen und auf eine thunlichst störungsfreie Anordnung der erforderlichen Drahtführungen Rücksicht zu nehmen haben. Aus diesem Grunde dürften auch die schiffbautechnischen Kreise an den Fortschritten der Funkentelegraphie Interesse nehmen. Der mir gestellten Aufgabe glaube ich am besten zu entsprechen, wenn ich zunächst das Prinzipielle der Einrichtungen durch Experimente erläutere, sodann die in letzter Zeit erzielten Fortschritte und zum Schluß die Gesichtspunkte behandle, welche speziell für die Marinezwecke zu beachten sind.

Die neue Telegraphie benutzt, wie bereits ihr Name besagt, ausschließlich Wirkungen, welche von einem elektrischen Funken ausgehen. Man nimmt an, ein unsichtbarer, unendlich feiner Stoff, der alle Körper ebenso wie die Luft und die Weiten des Weltalls gleichmäßig erfüllt, und den man Aether genannt hat, wird durch den Funken so heftig elektrisch

erschüttert, daß die Stoßwirkung sich mit dem Charakter einer Wellenbewegung nach allen Richtungen des Raumes verbreitet. Heinrich Hertz hat durch seine vor etwa 10 Jahren angestellten berühmten Versuche bewiesen, daß die von dem Funken ausgehende elektrische Strahlung alle Gesetze des Lichtes befolgt, sich auch mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt.

Solche wellenförmig sich ausbreitende Stoßwirkungen, die bei den Licht- und den elektrischen Erscheinungen vorläufig allerdings nur eine rein hypothetische Bedeutung haben, führt uns die Natur anderweitig vor Augen. Schlagen wir kräftig gegen ein ausgespanntes Seil, so sehen wir, wie die Erschütterung sich wellenförmig am Seil entlang fortpflanzt. Wir beobachten eine Welle in einem linearen Mittel. Erschüttern wir den Wasserspiegel durch einen Steinwurf, so sehen wir kreisförmig sich ausbreitende Flächenwellen die Störung weitertragen. Auch eine Geschwindigkeit der Fortpflanzung nehmen wir wahr. Wenn wir träumend am Strande eines spiegelklaren Sees liegen, macht sich die Bugwelle eines fern vorüberfahrenden Dampfers unserm Ohr mit melodischem Geplätscher erst dann bemerkbar, wenn der Dampfer längst außer Sicht. Die Flächenwelle erleichtert uns die Vorstellung einer kugeligen Raumwelle, wenn wir sie auch nicht sinnlich wahrnehmen können.

Einen elektrischen Funken müssen wir uns nun als Ausgangspunkt denken für räumliche Aetherwellen. Doch hat diese Eigenschaft nicht der Funke allein. Jeder Wechsel, jede Intensitätsänderung einer elektrischen Erscheinung, z. B. eines Stromes, ruft ähnliche Wirkungen hervor. Am auffallendsten zeigt sie der Wechselstrom. Jeder Wechsel der Stromrichtung erzeugt eine Aetherwelle. Es ist so, wie wenn wir einen und denselben Punkt eines Wasserspiegels in unaufhörlicher Wiederholung mit dem Finger berühren. Ein irgendwo schwimmender Kork tanzt dann nach einiger Zeit in demselben Tempo auf und nieder. Bringen wir in den von elektrischen Wellen erfüllten Raum einen geeigneten Körper, so

wird auch dieser in das Wellenspiel mit hineingezogen, er tanzt mit, d. h. elektrisch. Die Wirkung, in diesem Fall ein elektrischer Strom, durchzittert ihn in gleichem Rhythmus. Einige Versuche sollen dies zeigen.

Durch eine Drahtspule, welche auf einen eisernen Kern gewickelt ist, schicke ich einen elektrischen Wechselstrom, der in dem entfernten Maschinensaal erzeugt wird, und nähere ihr eine zweite Spule, deren Wicklungsenden mit einer Glühlampe verbunden sind. Wir sehen sie hell aufleuchten, ohne daß eine Drahtverbindung mit jener ersten Spule oder mit der stromerzeugenden Maschine vorhanden ist. Die Wärmewirkung des inducirten Stromes kann ich noch wesentlich steigern. Ich halte einen massiven Kupferring über eine andere vom Wechselstrom durchflossene Spule mit längerem Eisenkern frei in der Luft. Es dauert nicht lange, so geräth er in helle Rothglut. Durch plötzliches Schließen des Wechselstromkreises kann ich Stoßwirkungen erzeugen. Ein Aluminiumring wird bis an die Decke des Saales geworfen. Eine hohle Kupferkugel tanzt über der Spule frei in der Luft, wie die Glaskugel auf dem Wasserstrahl. Schirme ich einen Theil der elektrischen Strahlung ab, so daß die Kugel einseitig getroffen wird, so geräth sie in lebhafte Rotation.

Diese auffallenden Strahlungserscheinungen, welche Elihu Thomson zuerst gezeigt hat, sind aber für Fernwirkungen wenig geeignet. In geringem Abstand vom Ausgangspunkt der Aetherbewegung ist die Wirkung bereits erschöpft. Man wird nicht daran denken können, durch Erschütterung des Aethers etwa eine ganze Stadt so zu erleuchten, daß Jeder sein eigenes Lämpchen mit sich führt, obwohl dies die idealste Lösung wäre.

Ein näheres Studium der Erscheinung zeigt nun aber, daß die Wirkung desto weiter reicht, je schneller wir die Wellen erzittern lassen und je heftiger wir den Stoß ausführen, also bildlich gesprochen, je schneller und höher wir die Wellenberge ansteigen lassen. Kurze und intensive Wellen müssen wir also zu erzeugen streben. Die Intensität der

Wellen heißt in der Sprache des Elektrotechnikers die elektrische Spannung. Diese können wir durch Transformatoren beliebig steigern. Aber die Erzeugung schneller Schwingungen bietet Schwierigkeiten. Die elektrischen Wellen, welche wir soeben benutzten, sind, von diesem Gesichtspunkt aus, als außerordentlich langsame zu bezeichnen. Nur hundert Wechsel erzeugten wir in der Sekunde, ebensoviel Stöße ertheilten wir dem Aether. Eine hundertfache Steigerung derselben stellt den Konstrukteur der Dynamomaschine schon vor unlösbare Aufgaben. Der erforderlichen Umdrehungszahl des Ankers hielte kein Material Stand. Nennenswerthe Fernwirkungen können wir aber erst erwarten, wenn es gelingt, die Schwingungszahl um das Millionenfache zu steigern. Eine solche Maschine brauchen wir jedoch glücklicher Weise gar nicht erst zu erfinden, sie ist schon da. Die Natur selber stellt sie uns zur Verfügung — im elektrischen Funken.

Was ist und wie entsteht ein elektrischer Funke? Steigern wir die elektrische Spannung zwischen zwei Körpern über ein gewisses Maaß, so tritt ein plötzlicher Ausgleich ein, ein elektrischer Strom, in welchem mitgerissene Metalltheilchen zum Glühen kommen — das ist der Funke. Wir müssen aber zwei verschiedene Arten von Funken unterscheiden. Die eine Art leitet einen dauernden Strom ein, der ein Gleichstrom oder ein Wechselstrom sein kann. Diese Einrichtung hier soll ihn vor Augen führen. Sobald die elektrische Spannung zwischen den dicken Kupferdrähten eine genügende Größe erreicht hat, springt ein Funke über und stellt dauernde Verbindung her. Es entsteht ein sogenannter Lichtbogen. Durch die hörnerartige Gestaltung der Drähte wird derselbe in dem aufsteigenden Luftstrom auseinandergezogen, bis er zerreißt. Dann bildet sich das Phänomen von neuem aus. In der Flamme des Lichtbogens pulsirt ein Wechselstrom von derselben niedrigen Frequenz, wie ihn unsere Maschine liefert.

Bei der anderen Art des Funkens sammeln wir vorher eine gewisse Elektrizitätsmenge an. Der Ausgleich erfolgt dann heftiger. Er erschüttert nicht nur den Aether, sondern

sogar, falls er stark genug ist, die billionenmal dichtere Luft und erzeugt einen heftigen Knall. Die Belegungen dieser Flaschenbatterie hier wollen wir laden, bis ein solcher Ausgleich erfolgt — wir nehmen blitzartige Erscheinungen wahr. Es ist ein ähnlicher Vorgang wie die Explosion eines Dampfkessels. Treffender noch ist der Vergleich mit der gespannten Sehne einer Armbrust. Lösen wir sie aus, so erzeugt sie einen heftigen Stoß, denn die angesammelte Energie wird plötzlich frei. Aber die Sehne kehrt nicht sofort in die Ruhelage zurück. Ebenso wenig die elektrische Erscheinung. Wie starke Gemüthsbewegung im menschlichen Herzen, so zittert hier die elektrische Erregung im Funken nach, in der Form von Wechselströmen mit schnell abnehmender Intensität. Sie pendeln mit erstaunlicher Geschwindigkeit, etwa 10 bis 100 Millionen Mal in einer Sekunde, so daß unser Auge den Wechsel der Erscheinung ohne Weiteres gar nicht wahrnehmen kann. Wir kommen ihm zu Hülfe, indem wir das Funkenbild in einem schnell rotirenden Spiegel betrachten. Die aufeinanderfolgenden Funkenströme werden dadurch im Bilde auseinandergezerrt und wir erkennen in dem einen Funken ein ganzes Bündel von solchen. Jede Funkenentladung in diesem Rohr erzeugt ein neues Bündel von Funkenströmen, in denen die elektrische Erscheinung hin- und herwogt.

Daß wir es hier thatsächlich mit elektrischen Strömen, und zwar mit Wechselströmen zu thun haben, soll uns ein anderes Experiment zeigen. Wir verbinden mit den Polen einer Funkenstrecke geradlinig ausgespannte Drähte, welche isolirt an den gegenüberliegenden Wänden dieses Saales befestigt sind. Die Pole selbst laden wir mit Wechselstrom, wie ihn unsere Maschine liefert, d. h. mit hundert Wechseln in der Sekunde, unter Zwischenschaltung eines Transformators, um die Spannung zu steigern. In die geradlinigen Drähte haben wir Glühlampen eingeschaltet. So lange die Kugeln so weit von einander entfernt sind, daß ein Funke nicht entstehen kann, nehmen wir in diesen Drähten nichts wahr. Der transformirte Wechselstrom pulsirt mit seinen 100 Wechseln

in der Sekundärspule des Transformators. Nun wollen wir die Kugeln soweit nähern, daß ein Funke entsteht — sofort leuchten die Lampen auf und zeigen das Vorhandensein eines elektrischen Stromes in den geradlinigen Drähten. Dies kann nur ein Wechselstrom von hoher Frequenz sein, denn wir haben keinen geschlossenen Kreis, wie er vorhanden sein müßte, wenn ein Gleichstrom sich darin ausbilden sollte. So schießt jeder Stromstoß von den Kugeln bis zu den Enden der Drähte und prallt von dort wieder zurück.

Ein solcher Wechselstrom von hoher Frequenz trägt seine Wirkung nun meilenweit durch den Raum. Jeder Funke, von je einer Welle unseres langsam pulsirenden Wechselstroms erzeugt, verursacht ein ganzes Wellenkonglomerat, welches dahinzittert, dahinbraust, möchte ich lieber sagen, wenn die Aetherbewegung nicht geräuschlos wäre. Der erste Wellenberg in diesem Schwall ist aber immer der stärkste; er wird um so schneller ansteigen, sein Stoß wird um so heftiger sein, je schneller die Schwingung ist. Da der Effekt durch die sekundliche Arbeitsleistung bedingt ist, so kommt man hier bei der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher die Welle sich hebt, auf eine stattliche Zahl von Pferdestärken, die aber nur etwa für den hundertmillionsten Bruchtheil einer Sekunde wirksam sind. Der Zeitraum, welcher verstreicht, bis eine neue Entladung einen abermaligen Wellenschwall hervorruft, verhält sich zur Zeitdauer eines Wellenstoßes etwa wie 30 Stunden zu 1 Sekunde. Das Auge nimmt diese Trennung nicht wahr, wir sehen scheinbar nur einen kontinuierlichen Funkenstrom.

Es wird nun aber klar, warum die Pulsationen des Funkens so viel weittragender sind. Mit den langsam pulsirenden Wellen unserer Wechselstrommaschinen können wir ähnliche Effekte niemals erzielen. Ihre Wirkung verhält sich zu dem Stoß der Funkenpulsationen wie ein sanfter Backenstreich zu dem Schlag der Kanonenkugel gegen die Panzerplatte.

In geeignet gestalteten leitenden Körpern, welche die

Aetherwellen auf ihrem Wege treffen, erzeugen sie wiederum elektrische Wechselströme, ähnlich wie die Wasserwelle einen schwimmenden Kork in auf- und niedergehende Bewegung versetzt. Aber diese Fähigkeit erlahmt, je weiter sich die Aetherwellen von ihrem Ausgangspunkte entfernen. Sie nimmt ab mit dem Quadrat der Entfernung, genau so wie die Lichtintensität, die von einem leuchtenden Punkte ausstrahlt. Ist doch die Lichtquelle auch nur eine Erschütterungsstelle im Aether, von der eine Wellenbewegung ausgeht, allerdings mit einer wiederum millionenmal schnelleren Schwingung. Unendlich klein werden deshalb auch nur die Kraftäußerungen sein können, welche die Aetherwellen in meilenweiter Entfernung ausüben. Aber wie der winzigste Bacillus, wenn er zu Milliarden anrückt, den kräftigsten Organismus zerstören kann, so können sich auch zahllose feine Aetherstöße zu einer Gesamtwirkung von beträchtlicher Größe vereinigen. Zu diesem Zwecke muß man die Aetherwellen allerdings erst zu einer bestimmten Marschordnung veranlassen. Verbindet man mit der Funkenstrecke geradlinige Leiter, so gehen die Wellenstöße hauptsächlich von diesen aus und sind polarisirt, d. h. die Aethertheilchen schwingen nur in einer Richtung, nämlich in derjenigen, welche dem aussendenden Leiter parallel ist. Ihre Wirkung nimmt jetzt nicht mehr mit dem Quadrat, sondern nur mit der einfachen Entfernung ab. Treffen sie auf ihrem Marsch in dieser straffen Formation einen anderen linearen Leiter, so ziehen sie sich von allen Seiten dorthin zusammen, gleichsam wie ein Fliegenschwarm an der Leimruthe. Es findet ein konzentrirter Massenangriff statt, der an dem Draht entlang in dichtem Gewühl ein stürmisches Auf- und Abwogen elektrischer Kräfte oder mit andern Worten einen pulsirenden Wechselstrom von hoher Frequenz hervorruft. Eine erstaunliche Verstärkung der Wirkung läßt sich durch solche Sende- und Empfangsdrähte erzielen. Eingehende Messungen zeigten mir, daß die Wirkung von den beiderseitigen Drahtlängen abhängt und fast genau mit dem Produkt derselben zunimmt. Bei gleichen Drahtlängen am Sender

und Empfänger verhalten sich die Wirkungen mithin wie die Quadrate der einzelnen Drahtlängen, und da, wie vorhin schon bemerkt, die Wirkungen mit den einfachen Entfernungen abnehmen, so folgt daraus, daß die Entfernungen, auf welche man gleiche Wirkungen übertragen kann, sich verhalten wie die Quadrate der einzelnen Drahtlängen. Ein Beispiel wird die große Bedeutung dieses Satzes klarer machen. Erzielt man mit 10 m Draht auf beiden Seiten eine bestimmte Wirkung in 5 km Entfernung, so kann man die gleiche Wirkung mit 20 m Draht bis zu einer Entfernung von $4 \times 5 = 20$ km wahrnehmen, mit 30 m bis zu $9 \times 5 = 45$ km. Ein herrliches Gesetz für Fernwirkungen, welches fast unbegrenzte Ausdehnung zuläßt.

Zum Erkennen der im Empfangsdraht induzirten Wechselströme stehen uns verschiedene Mittel zu Gebote; wir können aber nur die empfindlichsten benutzen. Geeignet ist z. B. das Telephon. Hier vorn im Saal erzeugen wir eine Funkenstrecke und polarisiren die Schwingungen durch die von den Polen ausgehenden isolirten Horizontaldrähte. Die Schwingungen des Aethers vollziehen sich dann in diesem ganzen Saal in horizontaler Richtung. Als Empfänger dienen zwei gleichfalls horizontal ausgespannte Drähte, dort hinten im Saal, deren mittlere Enden mit dem Telephon verbunden sind. Sobald ich hier vorn Funken erzeuge, hören Sie im Telephon einen Ton. Er entspricht der Schwingungszahl unseres primären Wechselstromes (100 in 1 Sek.), denn die Schwingungen des Funkenstromes selber erfolgen zu schnell, als daß sie das Ohr noch wahrnehmen könnte: die Grenze der hörbaren Töne liegt ja bekanntlich bei 40 000 Schwingungen in der Sekunde und in dem erzeugten Funken haben wir etwa 10 Millionen. Durch kurze und längere Funkengebung kann ich die Zeichen des Morse-Alphabets telegraphiren ohne verbindenden Draht.

Die mit diesem Mittel erreichbare Entfernung kann immerhin mehrere Kilometer betragen, wenn die Sende- und Empfangsdrähte von entsprechender Ausdehnung sind. Es ist sogar möglich, die zusammengesetzten langsamen Schwin-

gungen der Sprache von Draht zu Draht durch den Raum zu übertragen. Dieses Experiment erleben wir alle Tage, zu unserem Verdruss, wenn wir am Telephon vielleicht auf eine wichtige Familiennachricht lauschen und dazwischen zugleich den Auftrag zu einem Effektenverkauf für Herrn Meyer in Empfang nehmen müssen. Das ist eine Telephonie ohne Draht, die also gar nicht mehr erfunden zu werden braucht. Sie reicht allerdings nur von einem zum anderen Draht am gleichen Gestänge.

Um die schnellen Wellen des Funkenstromes selber für eine Zeichengebung nutzbar zu machen, wollen wir uns einer Einrichtung bedienen, welche gewissermaßen als die Umkehrung des Wellenerzeugers angesehen werden kann, indem wir nämlich mit den aufgefangenen Aetherwellen, mit den in den Empfangsdrähten inducirten Wechselströmen wiederum Funken erzeugen. Ein Experiment wird die Sache am schnellsten klar machen. Ich habe hier zwei Stückchen poröser Kohle, welche bis auf eine sehr kleine Entfernung genähert sind. Die sammetartige Oberfläche der Kohle besteht aus lauter mikroskopischen Spitzchen. Verbinde ich die Kohlen nun mit den von den Strompulsationen durchwogten Empfangsdrähten, so spritzen die elektrischen Wellen gleichsam zwischen den Spitzen wie über ein Hinderniß, wir nehmen ein Funkensprühen wahr. Es ist eine Bogenlampe en miniature, gespeist durch Aetherwellen. Ich kann den Beweis führen, daß das Funkensprühen thatsächlich durch die schnellen Pulsationen hervorgerufen wird. Erzeuge ich nämlich, wie vorhin, einen Wechselstromlichtbogen mit den geringen Schwingungszahlen, so hört das andauernde Funkensprühen an unserem Empfänger auf. Wir nehmen nur einen Funken wahr, wenn der Lichtbogen einsetzt, erkennen also den damit verbundenen Aetherstofs. In dem ausgebildeten Lichtbogen sind keine Funkenpulsationen mehr vorhanden, sondern nur die langsamen Schwingungen des Wechselstromes. Auf dieses Streicheln spricht unser Empfänger nicht an, es gehört ein Stofs dazu.

Wir können diese winzigen Funken benutzen, um grössere Kräfte damit auszulösen. Mit Leichtigkeit könnte ich einen Sprengstoff zur Explosion bringen. Ich will ein weniger geräuschvolles Experiment machen. Dort hinten im Saal steht eine Bogenlampe. Die Kohlenstäbe sind mit den Polen einer Akkumulatorenbatterie verbunden, berühren sich aber nicht, so daß ein Strom nicht übertreten kann. Mit den Kohlenstäben sind ferner die langen Auffangarme für die elektrischen Wellen verbunden. Das durch diese Wellen erzeugte Funkensprühen stellt eine leitende Brücke her zwischen den Kohlenstäben und schließt den Strom der Akkumulatorenbatterie. Ein einziger Funke am Strahlapparat hier vorn genügt, die Lampe zum Leuchten zu bringen.

Mit solcher Einrichtung könnte man bereits telegraphiren, müßte aber Vorsorge treffen, daß nach jeder Entzündung der Bogenlampe der Strom der Akkumulatorenbatterie wieder unterbrochen würde. Ich kann die Unterbrechung aber zu einer selbstthätigen machen, wenn ich an die Stelle der Bogenlampe eine gewöhnliche Glühlampe setze. Der geringe Strom, der dieselbe durchfließt, unterbricht sich sofort von selber, sobald das Funkensprühen an den Kohlenstücken aufhört. Wie Sie sehen, kann ich selbst die Zeichen des Morsealphabets durch kürzeres oder längeres Erglühen der kleinen Lampe zur Wahrnehmung bringen.

Die Pulverkammer eines feindlichen Schiffes durch solche Fernwirkung zur Explosion zu bringen, erscheint hiernach als keine unlösbare Aufgabe. Der Feind müßte uns allerdings den Gefallen thun, in seinem Pulvervorrath die Kohlenstückchen unterzubringen und dieselben mit langen Auffangdrähten in freier Luft zu verbinden. Für die Funkengebung an Bord gewinnt dieser Scherz aber doch eine ernstere Bedeutung. Es erscheint nämlich nicht ausgeschlossen, daß die Lichtleitungen in unerwünschter Weise die Rolle von Auffangdrähten übernehmen. Kommen sie an irgend einer Stelle sich allzunah und sind sie zugleich mangelhaft isolirt, so kann durch minimales Funkensprühen der schönste Kurz-

schluss zwischen den Leitungen entstehen. Bei sonst guter Installation bringt dies keinen weiteren Schaden, als daß die Sicherungen durchbrennen. An Bord S. M. S. „Friedrich Carl“ haben wir dies thatsächlich erlebt. Jedenfalls ist bei der Einrichtung der Funkentelegraphie an Bord dieser Umstand zu beachten und eine Revision der Leitungen nach diesem Gesichtspunkt erforderlich. Auch die Anker aller Dynamomaschinen an Bord können durch solche Funkenbildung durchschlagen werden, sie sind in Folge dessen mit Blitzsicherungen zu versehen. Die Munitionskammern sind durch ihre völlige Metallumkleidung ausreichend geschützt, Lichtleitungen dürfen meines Wissens schon jetzt nicht eingeführt werden.

Marconi verwendet zur Zeichengebung ganz ähnliche Einrichtungen wie die zuletzt geschilderten. An die Stelle der Kohlenstückchen treten die Körnchen eines lose zusammengeschichteten Metallpulvers. Dasselbe ist zwischen zwei Silberkolben in einem Glasröhrchen untergebracht und kann mittelst zweier eingeschmolzener Platindrähte an die Fangarme für die elektrischen Wellen angeschlossen werden. Jedes Körnchen des Pulvers ist mit einer dünnen Oxydhaut, wie sie die meisten Metalle an der Luft annehmen, bedeckt und von seinem Nachbar dadurch isolirt. Verbinden wir die Enden der Röhre aufer mit den Fangdrähten auch noch mit einer geschlossenen Drahtleitung, in welche ein Trockenelement und ein gewöhnliches Telegraphenrelais eingeschaltet sind, so wird dennoch kein Strom entstehen können, da in dem Pulver der Röhre die Leitung unterbrochen ist. Fangen aber die geradlinigen Drähte polarisirte elektrische Wellen auf, so stellen die minimalen und dem Auge nicht sichtbaren Funken zwischen den Pulverkörnchen eine Verbindung her. Es bildet sich, vielleicht mit Unterstützung kondensirter Metaldämpfe, eine Brücke für den Gleichstrom des Trockenelements und dieser bringt das Relais zum Ansprechen. In bekannter Weise wird dadurch eine stärkere Lokalbatterie geschlossen, welche eine elektrische Klingel oder einen Morseschreiber

bethätigt. Ein leises Klopfen an der Röhre bringt die losen Brücken zwischen den Metallkörnchen zum Einsturz und stellt den ursprünglichen Zustand wieder her. Durch kürzere und längere Bestrahlung können wir wieder die Zeichen des Morsealphabets übertragen. Der Klopfen wird dabei durch den Strom der Lokalbatterie in Bewegung gesetzt. In der Röhre findet ein ähnlicher Vorgang statt wie bei dem technischen Proceß des Frittens, man hat sie darum einen Fritter oder eine Frittröhre genannt. Die Engländer nennen sie coherer, die Franzosen radioconducteur.

Der Fritter ist ein außerordentlich empfindliches und dabei sehr präcis wirkendes Mittel zum Nachweis von elektrischen Wellenstößen. Wir können damit z. B. experimentell beweisen, daß die elektrische Strahlung dieselben Gesetze befolgt wie die Lichtstrahlung. (Experimente.)

Die Gesetze der elektrischen Strahlung sind durch die Versuche von Hertz seit 10 Jahren bekannt; die Eigenschaften des Fritters hat Branly in Paris im Jahre 1890 entdeckt. Im Jahre 1895 machte Popoff in St. Petersburg die erste praktische Anwendung der neuen Erscheinungen zum Registriren von Gewitterentladungen. Er benutzte einen Aufnahmeapparat, der mit dem von Marconi später verwendeten im Princip völlig übereinstimmt. Marconi's Verdienst besteht zunächst in einer sorgfältigen Durchbildung der Apparate zur praktischen Telegraphie. Bei seinen Versuchen gelangte er aber zu der wichtigen Entdeckung der fast unbegrenzten Fernwirkung vertikal polarisirter elektrischer Wellen. Diese Entdeckung hat die Funkentelegraphie erst lebensfähig gemacht. Darum ist das Verdienst Marconi's dasjenige seiner Vorgänger, abgesehen von Hertz, weit überragend.

Drei Jahre sind jetzt verflossen, seit seine Erfindung an die Oeffentlichkeit trat. Welche Fortschritte sind seitdem erzielt? Dieselben beziehen sich einerseits auf eine bessere Kenntniß der Erscheinung und ihrer Gesetze, andererseits, zum Theil als direkte Folge davon, auf eine Steigerung der

technischen Wirkung. Die letztere läßt sich, soweit sie Marconi selber betrifft, in Zahlen ausdrücken. Im Frühjahr 1897 telegraphirte er am Bristol-Kanal 5 km weit und brauchte dazu 50 m lange Sende- und Empfangsdrähte. Das ergab pro Meter Drahtlänge 100 m Entfernung. Im Sommer dieses Jahres sandte er nach Zeitungsberichten bei den englischen Flottenmanövern Telegramme mit 45 m Draht auf 108 Kilometer. Das ist eine 24fache Steigerung der Wirkung.

Fast in allen civilisirten Ländern hat man inzwischen Versuche angestellt. Einzelheiten sind indess wenig bekannt geworden. Marconi hüllt sich, was seine eigenen Verbesserungen betrifft, in tiefes Schweigen. Was ich mittheilen kann, bezieht sich darum nur auf Studien, die ich selber ausführen konnte. Sie wurden ermöglicht durch die Gnade Seiner Majestät des Kaisers. Ich durfte zwei Sommer hindurch auf den Havelgewässern experimentiren unter Zuziehung von Mannschaften der Königlichen Matrosenstation. Auch die Luftschifferabtheilung hat auf Allerhöchste Anregung einige interessante Versuche angestellt, welche mit 21 km Entfernung für einige Zeit sogar Deutschland den Weltrekord verschafften. Seine Excellenz, der Herr Staatssekretär des Reichsmarineamtes hatte sodann im Sommer und Herbst dieses Jahres die Güte, die Erprobung einiger Neuerungen an Bord der deutschen Kriegsschiffe auf der Ostsee zu genehmigen. Wenn ich diese Neuerungen heute mittheile, möchte ich aber damit nicht den Eindruck hervorrufen, als sollten dieselben eine Uebertrumpfung Marconis darstellen. Die Mittel, mit denen Marconi heute arbeitet, kenne ich nicht, ich weiß nur, daß sie wesentlich vollkommener sein müssen als diejenigen, welche ich vor 2 Jahren bei ihm kennen lernte. Ein direkter Vergleich wäre nur möglich unter identischen Versuchsbedingungen.

Ich gestatte mir zunächst, eine theoretische Anschauung, zu welcher diese Versuche führten, kurz auseinanderzusetzen. Dieselbe war für die technische Ausbildung des Verfahrens

nicht ohne Nutzen. Diese Erkenntnis, die eigentlich eine Enttäuschung in sich schließt, ist die Erklärung des Phänomens durch elektrische Stoßwirkungen, wie ich sie bereits im Beginn meines Vortrages angegeben habe. Es bestand anfänglich die Hoffnung, durch klarere Ausbildung des Wellencharakters der elektrischen Störung eine Abstimmung der Empfangsapparate auf ganz bestimmte Wellenlängen zu erreichen. Ich habe mich leider nur von der Aussichtslosigkeit dieser Bestrebungen überzeugen können. Der Fritter ist nicht mit einem Pendel zu vergleichen, welches durch zahlreiche in bestimmten Intervallen erfolgende Impulse von geringer Intensität allmählich in lebhaftere Schwingungen versetzt wird. Er befindet sich vielmehr in einer Art von labilem Gleichgewicht und wird durch einen elektrischen Stoß sofort zum Kippen gebracht.

Hieraus ergibt sich indess die wichtige Folgerung, daß in erster Linie eine hohe sekundliche Energie der Stöße des Funkengebers anzustreben ist. Diese hängt aber nicht allein von der Spannung, sondern auch von der Elektrizitätsmenge ab, welche wir bei der Funkenbildung auslösen. Es ist genau so wie beim freien Fall der Körper. Lösen wir ein hängendes Gewicht aus, indem wir den Faden durchschneiden, so werden wir einen desto stärkeren Stoßeffect beim Aufschlagen des Gewichtes erzielen, je größer neben der Fallhöhe auch die in Bewegung gesetzte Masse des Körpers ist. Die Funkenlänge allein, welche der angewandten elektrischen Spannung entspricht, thut es nicht, es muß in dem Funken auch eine möglichst große Elektrizitätsmenge pulsiren. Sehen wir uns daraufhin die üblichen Funkengeber an. Es sind die gebräuchlichen Induktionsapparate, für deren Konstruktion nur die Erzeugung möglichst hoher Spannungen maßgebend ist. Man klassificirt ja auch die Induktionsapparate lediglich nach der Schlagweite des Funkens, indem man von einem 20 oder 30 cm Induktor spricht. Die Elektrizitätsmengen, die dabei in Bewegung gesetzt werden, sind minimal. Man kann sie etwas vergrößern, indem man die Funkenlänge verkleinert.

Dies thut Marconi, indem er z. B. einen 30 cm Induktor mit einer Funkenlänge von 1 bis 2 cm arbeiten läßt.

Ueber die aufgewendete Leistung gibt eine kleine Rechnung Auskuuft. Gewöhnlich arbeitet man mit einem Primärstrom von 5 bis 7 Ampere und einem 8 zelligen Akkumulator, der rund 16 Volt Spannung besitzt. Dies gibt eine sekundliche elektrische Leistung von etwa 100 Watt. Da die Induktionsapparate einen sehr geringen Wirkungsgrad haben, so wird man bei dauernder Funkengebung kaum mehr als 50 Watt d. i. etwa $\frac{1}{15}$ Pferdestärke auf Erzeugung elektrischer Wellen verwenden können. Für den ersten Funkenstoß

wird natürlich die sekundliche Energie eine wesentlich größere sein. Immerhin wird die verbrauchte Primärlarbeit einen vergleichenden Maaßstab bieten können. Zur Erzielung größerer Funkeneffekte wird man also von den Induktionsapparaten abgehen und Dynamomaschinen an ihre Stelle setzen müssen.

Es bietet nun keine Schwierigkeit, durch Wechselstrommaschinen und Transformatoren hochgespannte elektrische Energie mit beliebigen Elektrizitätsmengen zu erzeugen. Die Anwendung von Maschinen zur Funkenerzeugung verlangt aber ein vollständiges Verlassen der Schaltung Marconi's.

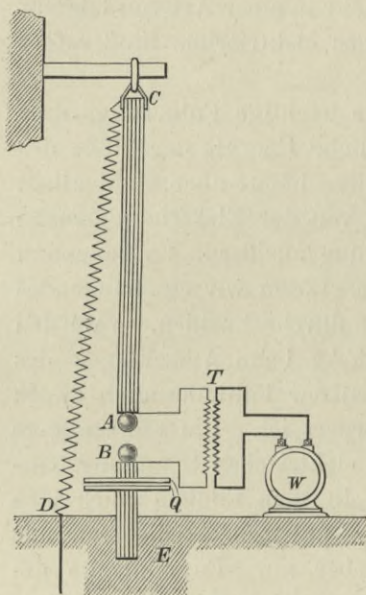


Fig. 12.

Die Skizze (Fig. 12) zeigt eine Einrichtung, welche an Bord der deutschen Kriegsschiffe zur Zeit funktionirt. Die Wechselstrommaschine *W*, durch einen Elektromotor getrieben, speist die Primärwindungen des Hochspannungstransforma-

tors T , dessen Sekundärwindungen mit den Polen A und B verbunden sind.

Der von diesen Polen ausgehende Schwingungskreis ist ein durch Erde geschlossener, besteht aber aus zwei in ihren Aufgaben und Wirkungen verschiedenen Theilen. Der Unterschied ist bedingt durch die sogenannte Selbstinduktion. Der Elektrotechniker bezeichnet mit diesem Namen eine Art von Trägheit, welche jeder Wechselstrom besitzt, der sich in einer Leitung ausbildet. Die Leitung selbst bietet für einen Wechselstrom gewissermaßen einen zusätzlichen Widerstand, der sich zu dem gewöhnlichen Widerstand hinzuaddirt. Die Größe dieses Zusatzwiderstandes ist aber abhängig von der Wechselzahl des Stromes, für Hochfrequenzströme kann er so enorme Beträge erreichen, daß die Ausbildung solcher Ströme fast völlig unmöglich gemacht wird. Durch Form und Anordnung der Drähte können wir aber auf die Größe der Selbstinduktion einen Einfluß ausüben. So haben metallische Bänder oder Röhren oder Drahtkäfige, ähnlich wie die hier im Saal angewandten, eine wesentlich geringere Selbstinduktion wie dünne Drähte. Nun sind die Vertikalleiter AC und BE als solche Körper von thunlichst geringer Selbstinduktion ausgebildet, während die Verbindung CD von der Spitze zur Erde eine ziemlich hohe Selbstinduktion besitzt. In dem geschlossenen Kreise befindet sich ferner ein Kondensator Q , der fähig ist, große Elektrizitätsmengen aufzunehmen. Die Wirkungsweise der Anordnung ist nun die folgende: Die Wechselstrommaschine ladet unter Vermittelung des Transformators die Funkenstrecke AB zu so hoher Spannung, daß die oscillatorische Entladung einsetzt. Während der Ladeperiode, d. h. vor Auftreten des Funkens, ist die Sekundärspule des Transformators durch den gesammten Schwingungskreis incl. Erde und Kondensator geschlossen. Der mit A verbundene Theil des Kreises liegt durch den Draht CD an Erde, behält also nahezu in seiner ganzen Ausdehnung die Spannung der Erde, die Ladung erfolgt fast ausschließlich in den Kondensator. Die Selbstinduktion hat

bei diesem Vorgang zwar Einfluß, angesichts der geringen Periodenzahl des Wechselstroms aber keinen erheblichen. Dies ändert sich jedoch sofort, sobald durch die Funkenbildung der Entladungsstrom mit seiner ungeheuren Frequenz einsetzt. Für diesen wirkt die hohe Selbstinduktion in dem Drahte *CD* wie eine Absperrung und es bilden sich die schnellen Oscillationen, die den Aether erschüttern, fast nur in dem vertikalen Leiter mit geringer Selbstinduktion aus. Nun sind aber daran betheiligte die gewaltigen Elektrizitätsmengen, die vorher in dem Kondensator aufgespeichert wurden. Es ist klar, daß wir jetzt ganz andere Energieverthe in Strahlung umsetzen können wie mit einem Ruhmkorff'schen Induktor.

Eine ähnliche geschlossene Schaltung empfiehlt sich auch für den Empfänger (Fig. 13), wenn auch aus anderen Gründen.

Bei Marconi's Anordnung ist der Fritter einerseits mit einem isolirten Vertikaldraht, andererseits mit Erde verbunden. In einer Parallelschließung zum Fritter befindet sich das Relais mit seinem Trockenelement. Es ist klar, daß alle vom Vertikaldraht aufgefängenen elektrischen Impulse zwar einerseits die Möglichkeit haben, auf den Fritter zu wirken und denselben unter Funkenbildung zu einem Leiter zu machen, andererseits aber

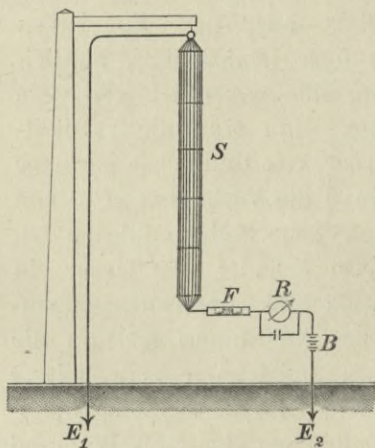


Fig. 13.

auch durch den Relaiskreis unter Umgehung des Fritters direkt zur Erde wandern können. Der Impuls wird sich also theilen und nicht in seiner vollen Stärke im Fritter zur Wirkung kommen. Marconi hat diesen Uebelstand dadurch zu verhüten gesucht, daß er in den Relaiskreis Spulen mit

großer Selbstinduktion geschaltet hat; das ist ein gutes Mittel, denn die Selbstinduktion sperrt den Weg für die schnellen Schwingungen, es ist aber kein unschädliches Mittel, denn der hohe Widerstand der Selbstinduktionsspulen schwächt die Empfindlichkeit des Relais. Wenn man dagegen auch hier das obere Ende des Vertikalleiters von geringer Selbstinduktion mit der Erde verbindet und in die Erdverbindung des unteren Endes das Relais und seine Batterie schaltet, so müssen die vom Vertikalleiter aufgefangenen schnellen Schwingungen fast ohne Abzug durch den Fritter zur Erde übergehen.

Eine weitere Neuerung bezieht sich auf die Konstruktion des Empfangsapparates. Bei der auch von Marconi benutzten Popoff'schen Schaltung wird der Relaisstromkreis durch den Schlag des Klopfers auf die Frittröhre, also im Fritter selbst unterbrochen. Nun ist bekannt, daß der Oeffnungsfunke eines Stromkreises viel verderblichere Wirkung auf die Kontaktstellen ausübt, als der Schließungsfunke. Den letzteren brauchen wir zur Zeichengebung, die damit verbundene Abnutzung der feinen Spitzen und Kanten des Fritterpulvers müssen wir also in den Kauf nehmen. Anders ist es mit dem Oeffnungsfunken, der nur Schaden stiftet, aber keine Vortheile bietet. Man kann die Einrichtung so treffen, daß durch einen besonderen federnden Kontakt die Unterbrechung des Relaiskreises außerhalb des Fritters und vor dem eigentlichen Schlage des Klopfers erfolgt. Diese Anordnung gestattet nicht nur eine längere Erhaltung der Empfindlichkeit des Fritters, sondern bedingt auch eine promptere Auslösung desselben.

Diese drei Neuerungen ergaben sich vor etwa Jahresfrist im Anschluß an die Potsdamer Versuche. Sie entstanden aus gemeinsamer Arbeit mit meinem damaligen Assistenten, Herrn Grafen Arco. —

Ich komme nun zur Anwendung der Funkentelegraphie in der Marine. Auf offener See arbeitet dieselbe unter den günstigsten Bedingungen. Man kann sagen, daß mit den gleichen Einrichtungen über See 2 bis 3 mal so große Ent-

fernungen überwunden werden können, wie über Land. Woran liegt das? Früher glaubte ich, die größere Reinheit und Staubfreiheit der Atmosphäre sei die Ursache. Das ist aber nicht der Fall, denn schon das Telegraphiren an der Meeresküste entlang reduziert die Entfernung, die Luft dürfte dort nicht weniger rein sein, als auf offener See. Vielleicht ist die Thatsachè einer eigenthümlichen Flächenwirkung der See zuzuschreiben. Die von einem Funken ausgehenden elektrischen Störungen pflanzen sich zwar nach allen Richtungen durch den Raum fort, sie gleiten aber mit Vorliebe an Leitern und Halbleitern entlang, wenn diese sich in der Richtung der Fortpflanzung erstrecken. Eine Fläche hat ähnlich günstige Wirkungen. Rückt man Geber und Empfänger des Funken-telegraphen dicht an die glatte freie Wand eines großen Saales, so erreicht man fast doppelt so große Entfernungen, als wenn die Apparate in der Mitte des Saales stehen. Ich hatte, um Messungen anzustellen, einen großen Saal meines Laboratoriums völlig ausräumen lassen und konnte an der langen Wand desselben die Thatsache immer konstatiren. Man ist geneigt an besondere Flächenströme zu glauben. Vergleicht man nun die Meeresfläche, selbst bei bewegter See, mit der Bodenfläche des Landes, so erkennt man sofort einen großen Unterschied. Dort sind es die glatten Flächen der Wellen, an denen die elektrischen Impulse dahineilen, hier sind unendlich viel größere Wege zu durchmessen, denn wir müssen uns denken, daß an jedem Stein, ja an jedem Sandkörnchen, an jedem Grashalm die elektrischen Wellen hinauf- und hinabgleiten.

Hierzu tritt ein anderer bemerkenswerther Umstand. Wenn wir vertikale Sende- und Empfangsdrähte benutzen, so sind die elektrischen Wellen vertikal polarisirt. Treffen sie nun auf ihrem Wege einen andern vertikalen linearen Leiter entsprechender Ausdehnung, so bleiben sie gleichsam an diesem kleben und erzeugen in ihm einen pulsirenden Wechselstrom. Wir können uns leicht durch einen Versuch davon überzeugen. (Experiment.)

Es ist jetzt verständlich, warum alle linearen Erhebungen im Terrain, wie Baumstämme, Masten, Fahnenstangen, Schornsteine und Kirchthürme so außerordentlich hinderlich sind für die Funkentelegraphie. Das Telegraphiren über eine große Stadt fort, hat, falls man nicht Luftballons zum Tragen langer Drähte benutzen kann, mit enormen Schwierigkeiten zu kämpfen.

Auch die Feuchtigkeit spielt hierbei eine Rolle. Auf der See stört weder Nebel noch Regen. Auf dem Lande ist das anders. Bäume, Masten und Bauwerke sind für gewöhnlich Halbleiter, in feuchtem oder gar durchnäßigem Zustande verbessert sich ihre Leitungsfähigkeit. Sie saugen die elektrischen Wellen desto gieriger an und laden sie ein, an ihnen zu verweilen. Ich habe mein Laboratorium hier mit meinem Wohnhause in Charlottenburg durch einen Funkentelegraphen verbunden. Wenn auch die Entfernung keine sehr große ist, so müssen die elektrischen Wellen doch durch zahlreiche Hindernisse hindurch. Bei nassem Wetter muß ich nun die Funkenkraft wesentlich verstärken, um deutliche Telegramme zu erhalten. Auf der See kommen solche Hindernisse nicht in Frage. Selbst im dichtbesetzten Hafen sind die Masten der Schiffe immer noch weit genug vertheilt, als daß sie die elektrische Strahlung ernstlich behindern könnten.

Anders ist es aber nun mit den Masten, Wanten und Drahtseilen der direkt beteiligten Schiffe. Diese bieten ein ernstliches Hinderniß. Jedes Schiff ist hierbei als ein besonderes Individuum aufzufassen. Einrichtungen, die an Bord des einen Schiffes sich als vortrefflich erwiesen hatten, liefern auf andern Schiffen wesentlich minderwerthige Resultate, ohne daß man sofort ausreichende Gründe dafür erkennen kann. Hier wird die Erfahrung einsetzen müssen, die allerdings nur gewonnen werden kann in andauerndem Betriebe.

Die Einrichtungen, welche zur Zeit an Bord deutscher Kriegsschiffe getroffen worden sind, entziehen sich naturgemäß einer öffentlichen Erörterung, über die dienstliche Ordnung und die taktische Verwendung der Funkentelegraphie kann

ich mir ein Urtheil nicht erlauben, wohl aber darf ich vielleicht mittheilen, was mir in Bezug auf die Verwendung der Funkentelegraphie im allgemeinen als besonders wichtig und angenehm aufgefallen ist. Das ist die Sicherheit und Präcision, mit welcher die Apparate von den Mannschaften unseres vortrefflichen Maschinenpersonals bedient wurden. Ich möchte dies um so mehr betonen, als man gerade hierüber nicht selten Bedenken hört. Man glaubt, es handle sich um difficile physikalische Apparate, die nur von gelehrten Leuten verstanden und bedient werden können. Das ist nicht der Fall. Die an den Versuchen betheiligten Obermaate waren über den wissenschaftlichen Zusammenhang ausreichend orientirt und legten meinem Assistenten und mir nicht selten Fragen vor, die an Gründlichkeit und Verständigkeit nichts zu wünschen übrig ließen, sie konnten leider nicht immer mit gleicher Verständigkeit beantwortet werden. Bei den mehrmonatlichen Versuchen waren hin und wieder kleine Störungen und Abänderungen an den Apparaten unvermeidlich, dieselben konnten fast immer von dem Maschinenpersonal an Bord beseitigt werden. Der empfindlichste und wichtigste Theil des Apparates ist der Fritter. Seine Herstellung wird nicht selten mit einem gewissen Geheimnifs umgeben. Nun die größte Entfernung, auf welche an Bord S. M. S. Friedrich Carl telegraphirt wurde, 48 km mit 30 m Draht, erreichte man mit einem Fritter, den der Obermaat nach kurzer Anleitung an Bord sich selber fabrizirt hatte. Der Mann war ein gelernter Schlosser. Die Funkentelegraphenapparate sind in dieser Beziehung also nicht etwa mit einem Chronometer zu vergleichen, dessen Reparatur man an Bord wohl nicht so leicht unternehmen würde.

Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie.

(Vortrag im Konferenzsaal der Allg. Elektrizitäts-Gesellschaft
am 22. Dezember 1900).

Die Funkentelegraphie hat in letzter Zeit mehrfach praktische Anwendung gefunden. Am frühesten hat sich die Marine von den Vortheilen überzeugt, welche diese Telegraphie für sie bietet, und die Kriegsschiffe Englands, Frankreichs, Russlands und Deutschlands sind heut bereits zum großen Theile mit den neuen Apparaten ausgerüstet. Die hohen Summen, welche die englische Marconi-Gesellschaft für die Benutzung ihrer Einrichtungen verlangte (es handelte sich für jeden Staat um mehrere Millionen), machte es den Seemächten, mit Ausnahme Englands, schwer, Marconi's Erfindung zu erwerben. Desto eifriger entwickelte sich in diesen Ländern das Bestreben, die nunmehr bewiesene Möglichkeit, mit elektrischen Wellen praktisch zu telegraphiren, durch andere technische Mittel zu erreichen.

Der Wunsch, auch unserer Marine ohne große Opfer die Funkentelegraphie zugänglich zu machen, war für mich die Veranlassung, ein anderes System auszubilden. Im Verein mit meinem damaligen Assistenten Herrn Grafen von Arco gelang es mir auch, eine neue Methode zu finden, über welche ich vor Jahresfrist in der ersten Sitzung der schiffbautechnischen Gesellschaft berichtet habe. Diese Methode ist sodann von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft technisch

weiter gebildet worden und schließlich in der deutschen Marine zur Einführung gelangt. Seit etwa Jahresfrist ist dieselbe auf einer Reihe von deutschen Kriegsschiffen im Gebrauch und hat sich, wie ich gehört habe, vollkommen bewährt.

Unsere damaligen gemeinschaftlichen Studien hatten aber, wie ich dies in meinem vorjährigen Vortrage auch ausgeführt habe, für mich wenigstens mit einer gewissen Enttäuschung geendet; es war uns nicht gelungen, etwas besseres zu finden, wir konnten günstigenfalls nur eine ähnliche Leistung aufweisen wie Marconi. Im Besonderen war unser Hauptbestreben, eine Abstimmung zwischen den korrespondirenden Apparaten zu erreichen, um ohne Störung durcheinander telegraphiren zu können, als gescheitert zu betrachten; und ich kann nicht leugnen, daß ich mich noch vor Jahresfrist etwas skeptisch in Bezug auf diese Möglichkeit überhaupt ausdrückte. Aber die Funkentelegraphie läßt den, der in ihren Bann gerathen, nicht sobald wieder frei. Trotz aller früheren Enttäuschungen nahm ich das Studium im Sommer dieses Jahres von Neuem wieder auf, diesmal mit größerem Glück. Ich fand einige neue Gesichtspunkte, welche die Möglichkeit einer sicheren Abstimmung in unmittelbare Nähe rückten. Herr Geh.-Rath Rathenau hatte die Güte, die Erprobung der neuen Methoden mit den Kräften des Kabelwerks Oberspree unter der sachkundigen und genialen Leitung des Grafen Arco durchführen zu lassen, und was wir heut zeigen können, ist das Resultat einer Anfang Oktober begonnenen gemeinschaftlichen Arbeit, bei der Graf Arco in der Ueberwindung zahlreicher technischen Schwierigkeiten allerdings das Meiste geleistet hat.

Die Funkentelegraphie ist das zur Zeit noch dunkelste und schwierigste Kapitel der Elektrotechnik, besonders wenn es sich darum handelt, die Vorgänge messend und rechnerisch zu verfolgen. Ich will aber versuchen, durch Heranziehung analoger mechanischer Vorstellungen die Art der Lösung der Aufgabe zu veranschaulichen.

Die wissenschaftlichen Grundlagen der Funkentelegraphie*) verdanken wir einem deutschen Gelehrten, Heinrich Hertz, der der Wissenschaft leider allzu früh entrissen wurde. Seine Forschungen bewegten sich auf einem Gebiet, welches weit ablag von der Möglichkeit praktischer Verwendung; es handelte sich für ihn um die Aufklärung fundamentaler Begriffe über das Wesen der elektrischen Erscheinungen. Wenn wir Techniker heut die Früchte seiner Forschung ernten dürfen, wollen wir dies nicht ohne ein tiefes Gefühl des Dankes erkennen und auch unsererseits denen entgegentreten, welche die Wissenschaft nur schätzen, sofern sie unmittelbaren Nutzen bringt.

Hertz fand, daß ein Funke, der auf einen gradlinigen Draht überschlägt, denselben in elektrische Erschütterung versetzt, welche sich von dem Draht aus in gesetzmäßiger Wellenbewegung mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum verbreitet, und daß diese in anderen Leitern, welche sie auf ihrem Wege trifft, wiederum elektrische Erscheinungen unter Funkenbildung hervorruft. Wir haben seitdem die Mittel kennen gelernt, diese Wirkungen so zu steigern, daß sie auch anders als bloß durch die Lupe des Forschers erkannt werden können. Ein Experiment soll das zeigen. In einen ausgespannten Draht leiten wir die Erschütterungen des Funkens, den ein kleines Ruhmkorff'sches Induktorium erzeugt. Aus einem zweiten, jenem in 1 m Entfernung parallel gezogenen Draht, der nicht die geringste metallische Verbindung mit dem ersten hat, können wir 4 bis 5 cm lange Funken ziehen. Im Dunklen sehen wir beide Drähte gleichmäßig leuchten. Die strenge Gesetzmäßigkeit, welche dieser Erscheinung zu Grunde liegt,

*) Der elektrische Funke ist das Charakteristische der neuen Telegraphie; es ist bisher noch nicht möglich gewesen, elektrische Schwingungen von der erforderlichen Größenordnung anders als durch den Funken zu erzeugen. Die Bezeichnung „Funkentelegraphie“ erscheint darum durchaus zutreffend. Der von anderer Seite vorgeschlagene Ausdruck „Wellentelegraphie“ ist für das Wesen der Sache nicht bezeichnend und unwissenschaftlich, denn jede elektrische Telegraphie, ebenso wie die Telephonie beruht auf elektrischen Wellen.

hat Hertz uns völlig klar gelegt, der Techniker hat nichts weiter gethan, als Mittel gesucht, diese Wirkung wesentlich zu steigern.

Die elektrische Erscheinung in diesen Drähten ist eine oscillirende, die wahrgenommene elektrische Spannung ist eine Wechselfpannung, welche 5 Millionen Mal in einer Sekunde zwischen ihren positiven und ihren negativen Maximalwerthen pulsirt. Wechselfpannungen von dieser ungeheuren Frequenz sind unschädlich für den menschlichen Körper, an den trägen Nerven prallen sie wirkungslos ab. Pulsirten sie einige hunderttausendmal langsamer, so hätte ich die Berührung nicht wagen dürfen.

Die Wechselfpannungen sind aber nicht gleichmäßig vertheilt über die ganze Länge des Drahtes. Um sie sichtbar zu machen, habe ich sie auf photographische Platten einwirken lassen. Das entwickelte Bild zeigte deutlich eine Zunahme der Wirkung von der Funkenstrecke nach dem freien Ende des Drahtes hin.

Diese Thatsache legt es nahe, eine analoge mechanische Erscheinung zu betrachten. Wenn man einen geraden Stahldraht mit dem einen Ende in einem Schraubstock festspannt und das freie Ende erschüttert, so stellen sich Schwingungen ein, welche einen ähnlichen Charakter haben. Die Ausbiegungen, Amplituden genannt, sind am freien Ende des Drahtes am größten. Genau so ist es hier, wenn wir die elektrischen Wechselfpannungen als das Analoge jener mechanischen Ausbiegungen ansehen. Auch die Uebertragung der Wirkung durch Wellenbewegung auf einen zweiten Draht können wir in diesem mechanischen Bilde veranschaulichen. Biege ich den Stahldraht zu einem rechten Winkel mit gleichlangen Schenkeln und klemme ich nunmehr den Winkelpunkt fest, so wird jede Erschütterung des einen Drahtendes auf das andre übertragen. Es geschieht dies durch den festen Punkt hindurch, den man in Folge dessen als den Knotenpunkt der Schwingung bezeichnet, während die am stärksten schwingenden Theile die Schwingungsbäuche genannt werden.

Allerdings darf, soll das Experiment gut gelingen, der Knotenpunkt nicht völlig festgehalten werden, er muß geringe Erschütterungen zulassen. Die Frequenz der Erschütterungen des Knotenpunktes muß aber eine solche sein, daß sie den Eigenschwingungen desjenigen Stahldrahtes entspricht, auf welche die Bewegung übertragen werden soll. Es ist klar, daß bei gleicher Länge der Schenkel diese Bedingung besonders gut erfüllt ist.

Die auf den zweiten Schenkel übertragene Bewegung können wir nun aber weiterleiten. Biegen wir einen Stahldraht von der 6fachen Länge des freien Schenkels zweimal unter einem rechten Winkel, wie Fig. 14 zeigt, so wird der Schwingungsbauch 2 sich der Verlängerung des Drahtes mittheilen und bei 3 einen freien Knotenpunkt, bei 4

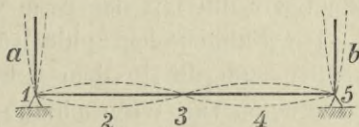


Fig. 14.

wiederum einen Bauch erzeugen. Von hier aus theilt sich endlich die Bewegung durch den festen Knotenpunkt 5 dem Vertikaldraht *b* mit. Kurze Zeit, nachdem wir *a* in Schwingungen versetzt haben, werden wir eine völlig gleiche Bewegung an *b* erkennen. Die Uebertragung erfolgt durch sogenannte stehende Wellen in dem verbindenden Stahldraht. Die ganze Länge, welche einen Wellenberg und ein Wellenthal umfaßt, nennt man die Wellenlänge. Wir erkennen sofort die richtigen Bedingungen: Die Länge der frei schwingenden Drähte muß diejenige einer Viertel Wellenlänge sein.

Genau das Entsprechende finden wir bei dem elektrischen Vorgang. Die elektrischen Schwingungen, welche wir in einem Vertikaldraht *a* erzeugen, indem wir am unteren Ende Funken überspringen lassen, bilden am oberen Ende einen Schwingungsbauch, dessen Frequenz durch die Länge des Drahtes bestimmt ist. Diese Schwingungen theilen sich einem elastischen Medium mit, dem Aether, der neben der Luft den Raum erfüllt, sie pflanzen sich darin fort mit Lichtgeschwindigkeit in Form einer Welle, deren Länge genau viermal so

groß ist wie die Länge des elektrisch schwingenden Drahtes, wir können sie bis auf einen Centimeter genau bestimmen.

Treffen diese Wellen nun auf einen zweiten Draht b in beliebiger Entfernung, so versetzen sie ihn wiederum in elektrische Schwingungen, die am kräftigsten sein werden, wenn die Eigenschwingung desselben der Wellenfrequenz entspricht, d. h. wenn seine Länge genau eine Viertelwellenlänge und wenn das untere Ende ein Knotenpunkt ist. Beide Bedingungen können wir stets erfüllen, denn über die Länge können wir verfügen und dem unteren Punkt ertheilen wir zwangsweise die Spannung Null, machen ihn also zum Knotenpunkt, indem wir ihn mit der Erde verbinden.

Die Funkentelegraphie wäre fertig, wenn wir ein Mittel besäßen, um die in dem Sekundärdraht erzeugten Wechselspannungen zur Wahrnehmung zu bringen.

Einen sichtbaren Funken bei Annäherung eines metallischen Gegenstandes, wie bei dem Versuch vorhin, werden wir kaum erzielen können, denn die Wirkung nimmt ab proportional der Entfernung. Hatten wir hier bei 1 m Entfernung eine Funkenlänge von 4 cm am Auffangedraht, so werden wir bei 100 km Entfernung bestenfalls nur eine Funkenlänge von vier zehntausendstel Millimeter erwarten dürfen. Das reicht selbst für die schärfste Lupe nicht aus, zudem müßte der Beobachter hoch oben auf luftigem Sitz an der Spitze des Drahtes seinen Aufenthalt nehmen.

Zum Nachweis dieser minimalen Spannungen müssen andere Mittel herangezogen werden. Das empfindlichste derselben ist die Branly'sche Röhre. Sie ist mit Metallpulver gefüllt und bietet bei loser Schichtung einen außerordentlich hohen Widerstand für den elektrischen Strom. Setzt man sie aber einer elektrischen Spannung aus, so springen zwischen den benachbarten Körnchen unendlich kleine, mit dem Auge nicht wahrnehmbare Funken über und bilden durch Kondensation von Metaldämpfen eine Brücke, sodafs ein elektrischer Strom die Röhre passiren kann. Eine kleine Erschütterung bringt die Brücken zum Einsturz und stellt den hohen Wider-

stand sofort wieder her. Mit den Enden der Röhre wird nun ein galvanisches Element verbunden und in den dadurch gebildeten Stromkreis ein elektrischer Signalgeber eingeschaltet. Setzt man das eine Ende der Röhre einer elektrischen Spannung aus, so schließt sich in der angegebenen Weise der Stromkreis und der Signalgeber giebt ein sichtbares oder hörbares Zeichen. Wir wollen eine solche Röhre einen Fritter nennen, da das oberflächliche Zusammenschmelzen loser Substanzen in der Technik als ein Frittprozess bezeichnet wird.

Es entsteht nun die Frage: an welcher Stelle des Empfangsdrahtes sollen wir den Fritter anschließen? Offenbar dort, wo die hervorgerufenen Wechselfspannungen am größten sind. Verbinden wir den Empfangsdraht unten mit der Erde, so bildet sich dort, wie wir gesehen haben, ein Knotenpunkt der elektrischen Spannung aus, die Wirkungen können also nur minimal sein; am besten wäre die Verbindung an der Spitze des Drahtes. Das verbietet sich aber durch die Unzugänglichkeit dieses Punktes.

Früher hat man nun folgenden Weg beschritten: Man hing den Empfangsdraht isolirt auf und befestigte am unteren Ende den Fritter, dessen anderer Pol mit Erde verbunden wurde. Der Fritter hat, wie Messungen gezeigt haben, eine gewisse Kapazität, so daß das untere Ende des Empfangsdrahtes praktisch als ein Knotenpunkt für die vom Draht aufgenommenen elektrischen Schwingungen anzusehen ist. Nennenswerthe Spannungen können sich also dort überhaupt nicht ausbilden. Da die Wirkung nun aber lediglich von der an den Fritter herantretenden Spannung abhängt, so ist diese Anordnung prinzipiell falsch. Sie gestattet nicht die Ausnutzung der maximalen Spannungen, die in dem Auffangedraht auftreten. Wenn diese Schaltung trotzdem Resultate ergeben hat, so ist dies nur dem Umstand zu verdanken, daß die Länge des Empfangsdrahtes meist nicht genau einer Viertel-Wellenlänge entspricht und daß der Sendeapparat außer den Hauptwellen auch noch parasitische Nebenwellen aussendet, welche am unteren Ende des Fangedrahtes die Aus-

bildung unregelmäßiger geringfügiger Spannungen zulassen. Darauf ist auch zurückzuführen das häufig unzuverlässige, vom Zufall abhängige, gleichsam launische Verhalten, welches den bisherigen Empfänger charakterisirte. Wenn man die Installation nach den üblichen Begriffen sachgemäß ausgeführt hatte, war man dennoch des Erfolges niemals ganz sicher. Es fehlte also das wesentliche Merkmal einer technisch brauchbaren Einrichtung. Der frühere Empfänger gleicht einem menschlichen Ohr, welches statt des reinen Grundtons eines Instrumentes nur zufällige Nebengeräusche und Obertöne wahrnimmt.

Wie muß nun aber die Schaltung ausgeführt werden? Unser mechanisches Beispiel gibt uns deutlich den Fingerzeig. Wir müssen durch direkte Erdung des Fangedrahtes einen sicheren Knotenpunkt ausbilden und die aufgefangenen Wellen durch diesen hindurchleiten. Ein dort angeschlossener Draht von gleicher Länge wie der Empfangsdraht erzeugt am freien Ende einen kräftigen Schwingungsbauch der elektrischen Spannung, in ähnlicher Stärke wie an der freien Spitze des Drahtes. Er bietet aber den Vortheil der Zugänglichkeit. Es ist nicht nöthig, den Verlängerungsdraht geradlinig zu führen, wir können ihn auch auf größere Spulen wickeln, wie Sie deren mehrere in diesem Saal erblicken. Hierdurch ist es nun zunächst gelungen, die Präzision und Sicherheit der Zeichengebung in überraschendem Maaße zu verstärken; es ist der Kernpunkt der Ihnen heut vorzuführenden Erfindung.

Die Einrichtung gestattet aber noch mehr. Sie ermöglicht, daß vorhandene Leiter, welche wie Blitzableiter, Fahnenstangen und eiserne Schiffsmaste an sich schon geerdet sind, ohne weiteres als Fangedrähte für die Funkentelegraphie benutzt werden können. Die Telegramme, welche wir nachher hier aufnehmen werden, sind am Blitzableiter des Schornsteins der elektrischen Centrale gesammelt und wir haben nichts weiter zu thun gehabt, als von dem Erdungspunkt des Blitzableiters einen Draht von bestimmter Länge in diesen

Saal bis an unsere Apparate zu führen. Die wirthschaftliche und technische Bedeutung dieses Umstandes liegt auf der Hand. Für die Benutzung der Funkentelegraphie innerhalb der Städte eröffnet sich hier ein weites Feld.

Diese allgemeinere Verwendung konnte bisher noch niemals ernstlich ins Auge gefaßt werden, weil der bisherigen Funkentelegraphie eine große Unvollkommenheit anhaftete. Es war nicht möglich, zwei Stationen derart auf einander abzustimmen, daß sie ungestört von anderen Stationen sicher mit einander korrespondiren konnten. Alle elektrischen Wellen, welche den Raum durchzogen, meldeten sich unweigerlich an jedem Empfangsapparat. Die Geheimhaltung einer Korrespondenz war unmöglich. Als unsere mit den älteren Einrichtungen versehenen Kriegsschiffe sich dem Hafen von Shanghai näherten, erhielten sie meilenweit vor der Rhede die Funkentelegramme, welche die dort stationirten englischen Kriegsschiffe mit einander austauschten.

Die Abstimmungsfrage ist jetzt als gelöst zu betrachten. Nach einer Mittheilung von Prof. Fleming in der „Royal Institution“ soll auch Marconi eine solche gefunden haben. Die Art der Lösung wünscht er aber vorläufig noch geheim zu halten.

Die Lösung, welche wir hier gefunden haben, gründet sich auf die besprochene Schaltung. Den Kern der Sache kann ich in wenigen Worten angeben. Zwei korrespondirende Stationen arbeiten mit vereinbarter Wellenlänge, deren Mannigfaltigkeit in weiten Grenzen möglich ist. Ich werde nachher erläutern, durch welche Mittel wir sie am Sendeapparat erzeugen. Wie können wir nun einen Empfangsapparat einrichten, daß er nur auf eine Wellenart von vereinbarter Länge anspricht? Ein erstes Mittel ergibt sich sofort. Machen wir die Drahtlänge des Auffangedrahtes genau gleich einer Viertelwellenlänge oder einem ungeraden Vielfachen derselben, so wandern alle übrigen Wellen, für welche der Erdungspunkt kein Knotenpunkt ist, unweigerlich in die Erde, sie gelangen gar nicht zum Empfangsapparat. Derselbe ist für sie immun

gemacht. Wir können auch sagen, um ein anderes Bild zu gebrauchen: wir sieben die Wellen oder wir filtriren sie.

Dies Mittel gestattet Störungsfreiheit und Geheimhaltung der Korrespondenz mit einer anderen Station. Die gleichzeitige Korrespondenz mit mehreren Stationen ist noch unmöglich, denn bezüglich der Wellenlänge sind wir an unseren Blitzableiter oder Schiffsmast gebunden, wir können ihn nicht nach Bedarf verlängern oder verkürzen.

Eine glückliche Eigenschaft der elektrischen Wellen hat aber auch die Lösung dieser Aufgabe gestattet. Für Wellen, welche genau viermal so lang sind wie der Auffangedraht, ist der Erdungspunkt ein reiner Knoten, wenn auch minimale Spannungsschwankungen möglich, ja, wie ich vorher zeigte, sogar ersprießlich sind. Ist der Verlängerungsdraht genau so lang, wie der Auffangedraht, so wandern alle Wellen von anderer Länge am Knotenpunkte in die Erde. Wir können aber auch diese Wellen zum Weiterwandern in einen Verlängerungsdraht veranlassen, wenn wir die Gesamtlänge des Drahtes, d. h. Auffangedraht plus Verlängerung gleich der halben Wellenlänge machen. Dann ist für diese Wellen der Erdungspunkt zwar kein reiner Knotenpunkt mehr, er läßt aber die Wellen fast ungeschwächt hindurch, und zwar nur diese Wellen, keine anderen. Ein Zahlenbeispiel mag dies erläutern. Wollen wir mit einem Blitzableiter von 40 m Höhe Wellen empfangen, deren Länge nicht $4 \cdot 40 = 160$ m, sondern vielleicht 200 m beträgt, so haben wir als Gesamtdrahtlänge 100 m zu wählen, d. h. an den Blitzableiter von 40 m noch eine Drahtlänge von 60 m anzuschließen.

Dies einfache Mittel gestattet in ziemlich weitem Umfange, eine Empfangsstation zur Aufnahme verschiedener Wellenlängen einzurichten. Man hat nur für einen geeigneten Vorrath jener großen Drahtspulen Sorge zu tragen und eventuell soviel Empfangsapparate aufzustellen, als die Zahl der Stationen beträgt, mit denen man zu korrespondiren wünscht. Denn die Durchsiebung der Wellen vollzieht sich in so sicherer und exakter Weise, daß wir sogar mit einem

und demselben Fangedraht verschiedene Telegramme zu gleicher Zeit aufnehmen können, und zwar Telegramme, welche aus ganz verschiedenen Richtungen und Entfernungen ankommen.

Der Ingenieur ist aber gewohnt, mit einem Sicherheitskoeffizienten zu arbeiten. Auch im vorliegenden Fall haben wir die Aufnahme der Zeichen zu sichern getrachtet durch Vermehrung der Präzision und Steigerung der Wirkung. Dies leistet ein kleiner Apparat von bemerkenswerther Einfachheit, den ich bei meinen Studien eigentlich zufällig fand, dessen Wirkungen mich aber überraschten. Dieser Apparat besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer Drahtspule von bestimmter Form und Wickelungsart, die von der Wellenlänge abhängen. Sie hat die Eigenschaft, die Geschwindigkeit eines elektrischen Impulses herabzusetzen; hieraus resultirt aber eine wesentliche Vermehrung der Spannung, sodafs ich den meines Wissens bisher unbekanntem Apparat einen Multiplikator nennen möchte. Er ist nicht mit einem Transformator zu verwechseln, denn die sekundäre Wickelung ist ihm fremd.*)

Durch ein akustisches Analogon kann ich die Wirkung des Multiplikators erläutern. Ich habe hier eine Stimmgabel, welche in Schwingungen versetzt wird, wenn ich mit einem Hammer dagegen schlage. Sie tönt akustisch, wie der Aufgedraht elektrisch ertönt, wenn er von Aetherwellen getroffen wird. Der erzeugte Ton ist aber nur schwach, zudem verklingt er bald, er besitzt eine starke Dämpfung. Das rührt von den Widerständen her, welche die schwingenden Zinken der Stimmgabel zu überwinden haben. Wir besitzen aber ein Mittel, die Schwingungen erheblich zu verstärken und ihre Dauer zu verlängern. Das ist der Resonanzboden; bringe ich die schwingende Stimmgabel damit in Berührung, so wird der Ton sofort lauter und länger. Wir übersetzen

*) Wie ich mich später überzeugt habe, ist eine ganz ähnliche Einrichtung bereits vor einigen Jahren von Oudin für therapeutische Zwecke benutzt worden.

die akustischen Schwingungen auf ein anderes Medium, welches eine geringere Dämpfung besitzt und die Schwingungsamplituden verstärkt.

Was der Resonanzboden für eine echte Stradivari, das leistet der Multiplikator für die Funkentelegraphie, die Zeichen werden dadurch stärker und reiner.

Schalten wir eine solche abgestimmte Multiplikationsspule zwischen Verlängerung des Auffangedrahtes und Fritter, so erzielen wir größere Spannungen am Fritter, vermehren also die Sicherheit des Ansprechens. Außer der Verstärkung findet durch den Multiplikator aber auch eine nochmalige Reinigung der Wellen statt. Er läßt nämlich nur solche hindurch, für welche er selber abgestimmt worden ist, alle übrigen, die zu groß oder zu klein sind, werden, falls sie der unreine Knotenpunkt an der Erdleitung durchgelassen haben sollte, von der Spule reflektirt. Die Multiplikationsspule versperrt ihnen gleichsam den Zugang zum Fritter.

[Ein angestellter Versuch zeigte, daß die aus einem geraden, von elektrischen Schwingungen erfüllten Draht zu ziehende Funkenlänge von 1 cm, nach Zufügung des Multiplikators auf 10 cm anstieg. Das Drahtende des Multiplikators zeigte dabei an sich schon eine weithin sichtbare Strahlung, die man durch einfache Annäherung der Hand an die Spule sofort zum Verschwinden bringen konnte.]

Es bliebe nun noch zu erörtern, durch welche Mittel elektrische Wellen von bestimmter und vereinbarter Länge an der Sendestation erzeugt werden.

Wir benutzen hierzu eine Modifikation derjenigen Einrichtung, welche ich bereits vor einem Jahre bekannt gegeben habe und welche seitdem bei unserer Marine in Anwendung steht.

Wir gingen dabei von dem Gesichtspunkt aus, daß die Funkentelegraphie eine elektrische Kraftübertragung ist. Abgesehen vom Wirkungsgrad empfiehlt sich diejenige Sendemethode, bei der es gelingt, die größtmögliche elektrische Energie in die oscillirende Form umzusetzen. Hierzu ist

nicht nur eine hohe Spannung dienlich, sondern auch eine große Elektrizitätsmenge. Wir erzeugen dieselbe, indem wir statt eines isolirten Drahtes eine geerdete Sendeschleife benutzen (Fig. 15), welche zur Vergrößerung der Elektrizitätsmenge einen Kondensator K enthält. Diesen verwenden wir in der Form der bekannten Leydener Flaschen. Für den Ladungsvorgang derselben benutzen wir die gesammte durch Erde geschlossene Schleife, für den Entladungsvorgang dagegen, der mit dem Einsetzen des Funkens beginnt und die für die Fernwirkung allein wirksamen schnellen elektrischen Schwingungen hervorruft, verwenden wir nur den ersten Vertikalleiter KC . Der Uebertritt dieser Schwingungen in die Ableitung zur Erde wird verhindert durch Einschaltung einer stark verstimmtten Spule CD von großer elektrischer Trägheit an der Spitze der Leiter. Wir haben vorhin schon gesehen, daß eine solche Spule wie eine Barriere wirkt, wie eine Mauer, an welcher die schnellen Schwingungen zurückprallen, d. h. reflektirt werden. Die Fernwirkungen können nunmehr lediglich von dem ersten Vertikaldraht ausgehen und werden nicht gestört durch etwaige Gegenwirkungen des zweiten Vertikalleiters DE . Die von einem solchen Sender ausgehenden elektrischen Wellen sind in ihrer Länge vollständig bestimmt durch die Drahtlänge und durch die Größe des Kondensators. Wir können sie aber in jedem beliebigen Maaße verändern durch Einschaltung abgestimmter Spulen, deren Trägheitswirkung die Frequenz der Schwingungen herabsetzt. Jeder Frequenz entspricht aber eine genau zu berechnende Wellenlänge.

Inwieweit es gelungen ist, durch die geschilderten Einrichtungen eine störungsfreie Mehrfachtelegraphie zu erreichen, mögen die nunmehr anzustellenden Versuche zeigen.

Die hier befindlichen zwei Empfangsapparate sind angeschlossen an einem und demselben Blitzableiter am Schornstein der elektrischen Centrale Schiffbauerdamm. Nach den

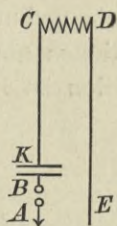


Fig. 15.

und Häusergiebel stellen sich den Wellen entgegen und brechen ihre Kraft.

Wir wollen nun zuerst Charlottenburg anrufen und mit der dortigen Station allein verkehren, sodann mit Schönweide und schließlich Telegramme von beiden gleichzeitig aufnehmen.

[Der hierauf angestellte Versuch ergab eine völlig fehlerfreie gleichzeitige Korrespondenz mit einer Geschwindigkeit von 72 Buchstaben in der Minute. Nebenstehendes ist eine Abbildung (Fig. 16) von zwei gleichzeitig aufgenommenen Telegrammen.]

Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Funkentelegraphie.

(Vortrag auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure
zu Kiel am 10. Juni 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 Gegenmaßnahmen 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 andern weit entfernten Hütte übertrug. Eine verbindende Erzader oder ein unterirdischer Wasserlauf könnte uns dieses Phänomen erklären.

Rathloser standen aber die meisten den ersten Versuchen Marconi's gegenüber, obwohl die Telegraphie ohne ver-

bindenden Draht an sich nicht neu war. Tesla, Edison und Preece hatten bereits vor Jahren Einrichtungen hierfür ersonnen, Edison sogar das Problem gelöst, von einem fahrenden Eisenbahnzuge aus zu telegraphiren. 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 Ueberlieferungen die erste Wahrnehmung des Phänomens. Die Gattin Galvani's half ihrem Manne mit geschickten Händen die feinen Nerven eines Froschschenkels für physiologische Untersuchungen präpariren. Er selbst arbeitete in einiger Entfernung davon an einer Elektrisirmaschine 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 geheimnißvoller elektrischer Zusammenhang, der seine Wirkungen durch den Raum übertrug, — eine drahtlose Telegraphie.

Die damalige Beobachtung blieb fruchtlos; der eigensinnige Gelehrte wollte sie durchaus auf geheimnißvolle animalische Kräfte zurückführen. Es wurde eine berühmte wissenschaftliche Streitfrage daraus, welche bald hinüberspielte auf ein anderes Gebiet, dasjenige der Berührungselektricität, 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 Verwerthung 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 Thatsache in den Kreis unserer gewohnten Vorstellungen einordnen können, desto leichter vollzieht sich der geistige Assimilirungsvorgang, den wir „Verstehen“ nennen. Bei der Funkentelegraphie hatten diejenigen, welche mit ihren physikalischen Vorstellungen an die Thatsachen 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 wohlbekannten 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 ent-

spricht 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 Primärdraht gehen die Wirkungen aus, der Sekundärdraht ist gewissermaßen nur ein elektrischer Fühler, der uns von dem Vorgang in dem Primärdraht Kenntniß giebt.

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 verräth 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 mittheilen 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 Ueber-

tragung einer elektrischen Erschütterung denken. Nur die Luft ist entbehrlich, denn die Uebertragung erfolgt ebenso gut auch durch den luftleeren Raum. Nun ist aber die heutige mechanische Naturauffassung ein geschworener Feind aller Erklärungen, welche die Möglichkeit einer Uebertragung 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 Aeußerungen 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 verwerthen. In dieser Thätigkeit 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 zutheil 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 hervorrufft, am stärksten sind, wenn die Drähte eine parallele Lage haben, wenn sie thunlichst lang sind, wenn

der Mittelwerth des Primärstromes und die Schnelligkeit der Aenderung möglichst groß sind. Unter sonst gleichen Verhältnissen nimmt die übertragene Wirkung mit der Entfernung ab, aber nicht wie bei den von einem elektrischen Centrum 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 Sekundärdrath proportional dem Ausdruck $\frac{l^2 J}{a T}$, die Uebertragungsweite also proportional $\frac{l^2 J}{T}$.

Ein einfaches Experiment wird uns von der Richtigkeit dieses Gesetzes überzeugen. Hier sind, Fig. 17, in der Länge des Saales zwei parallele Leitungen über einander ausgespannt; die obere ist Theil eines Kreises, in welchem ich mittels einer Batterie B und eines regulirbaren

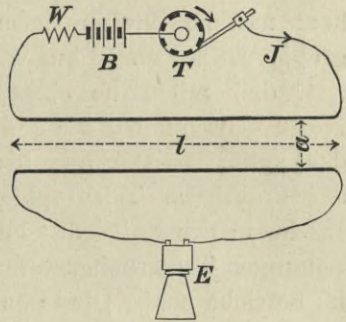


Fig. 17.

Widerstandes W durch einen rotirenden 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 Telephon E ; dieser Kreis ist von dem ersten völlig isolirt. 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 Ueberraschende der neuen Erfindung ausmacht, nicht schon zu Faraday's Zeiten versucht wurde. Der Grund liegt heute klar zutage. Dafs bei Verlängerung der Paralleldrähte die Uebertragungsweite zunimmt, wurde zwar erkannt, zunächst indessen nur als Störung empfunden in langen Telephonleitungen, 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, dafs 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 Theil noch heute im Betriebe sind. Die kilometerlangen Drahtführungen, welche dieses System benöthigt, 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 nennenswerther Erfolg hoffen läfst. Dafs 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, dafs 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 Uebertragbarkeit von elektrischen Impulsen wird also dadurch auf 10 000 mal größere Entfernungen gesteigert.

Mit welch 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 Zuthun 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 räthselvollen 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 oscillirenden Sturm der elektrischen Partikel, die in einer Sekunde viele millionen Mal in dem Funken ricochettiren.

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 evakuirte Röhre G leiten, welche in

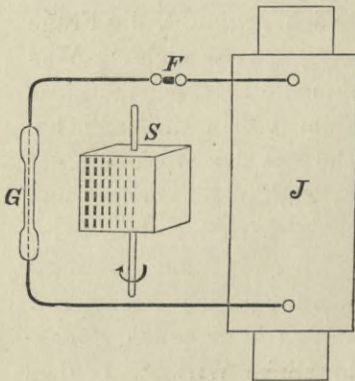


Fig. 18.

bekannter Weise dadurch zum Leuchten kommt, und den Lichtstreifen in einem rotirenden Spiegel S betrachten, Fig. 18. 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 vibrirenden 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 oscillirende Entladung, wenn die elektrisch gespannten Kugeln durch den springenden Funken in Verbindung gesetzt werden.

Die schnell oscillirenden 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 oscillirenden Funkenströme haben sich jedoch gänzlich davon freigemacht; sie können auch in ungeschlossenen Leitern bestehen, ja sie entwickeln in diesen erst recht die Fähigkeit, weittragende Induktionswirkungen auszuüben. Alles Philosophiren würde uns diese Möglichkeit niemals erschlossen haben; ein einfacher Versuch führt es uns aber unmittelbar vor Augen. Mithülfe des be-

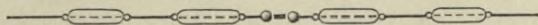


Fig. 19.

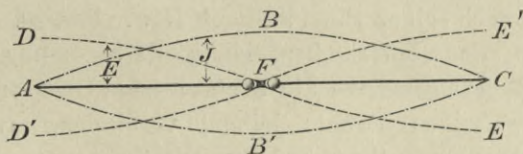


Fig. 20.

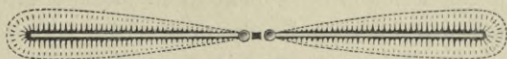


Fig. 21.

kannten Ruhmkorff'schen Induktoriums erzeuge ich zwischen zwei kleinen Metallkugeln ein dauerndes Funkenpiel — eine Reibungselektrisirmaschine oder eine Influenzmaschine könnte ebenso gut dazu dienen. Mit beiden Kugeln habe ich nach rechts und links geradlinig ausgespannte Drähte verbunden, die isolirt an den Wänden des Saales befestigt sind, Fig. 19. Eingeschaltet in diese Drähte sind ein Paar gewöhnliche Glühlampen mit linearem Faden. Das Aufleuchten derselben zeigt uns unwiderleglich, daß sie von einem Strome durch-

flossen werden. Von den sich entladenden Kugeln stürzen sich die elektrischen Ströme gleichsam nach beiden Seiten in die offenen Leitungen, werden am Ende reflektirt 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 Thatsache würde sich dabei enthüllen: die Stärke der elektrischen Strömung ist nicht an allen Stellen die gleiche. Hier in der Mitte des Saales, in 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. 20. An den Drahtenden, den Reflexstellen, sinkt die Strömung auf null. In der Funkenstrecke, wo die hochoverhitzten Gase und Metalldämpfe die beiden Drähte leitend verbinden, erreicht die pendelnde Strömung ihren größten Werth.

Noch an einer anderen Eigenschaft können wir die Eigenthümlichkeit der Erscheinung erkennen. Jedes Theilchen der Drähte nimmt eine elektrische Spannung an, welche aber eine Wechselfpannung ist und ähnlich wie der Strom an jeder Stelle millionenmal in einer Sekunde zwischen einem positiven und negativen Größtwerth schwankt. Diese Wechselfpannungen befolgen nun das entgegengesetzte Verhalten wie die Ströme: sie erreichen ihre höchsten Schwankungen an den freien Enden, DD' und EE' , Fig. 20, und zeigen in der Nähe der Funkenstrecke nur geringe Werthe.

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 vermutheten 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 verrieth das Geheimniß 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 elektrisirter 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. 21.

Nach dem, was ich vorhin über die Fernwirkung durch Induktion pulsirender Ströme ausgeführt habe, kann es nun nicht wundernehmen, daß die hohe Frequenz der pulsirenden Funkenströme in offenen Leitern besonders kräftige Fernwirkungen liefert. Und in der That läßt sich der Nachweis mit Leichtigkeit führen. Ich habe hier parallel zu den von dem Funkenstrom gespeisten Drähten einen zweiten völlig

isolirten Draht durch die ganze Länge des Saales gezogen. Sobald wir die Funkenstrecke des Primärdrahtes in Thätigkeit 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 Wechsellspannungen an diesem Draht zur Wahrnehmung bringen. Ich wähle dazu die bekannten

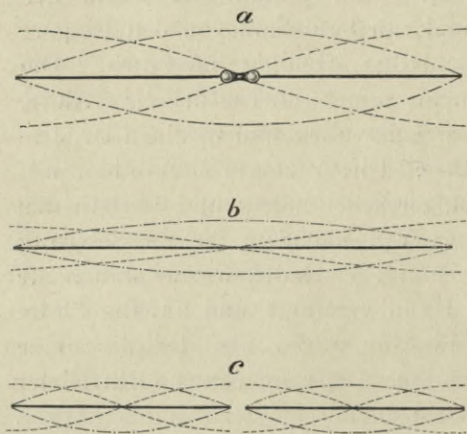


Fig. 22.

luftentleerten Geißler-
schen Röhren; setze
ich sie einer Wech-
sellspannung 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 die-
sem Sekundärdraht ist
nun, wie Untersuchen-
gen gezeigt haben, ge-
nau dem Schwingungs-
zustand des Primär-
drahtes entsprechend.

Sogar das Gesetz der Sinuslinie wird diesen Spannungen aufgeprägt. Ebenso läßt sich zeigen, daß die elektrische Strömung in der Mitte des Drahtes ihren Größtwerth erreicht und nach den Enden hin abnimmt; vergl. Fig. 22b.

Besonders merkwürdig ist aber das Folgende: Schneide ich den Sekundärdraht in der Mitte durch, so bildet sich in jeder Hälfte des Drahtes eine eigene Schwingung aus, die durch die Länge des Drahtes bestimmt ist, Fig. 22c. 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 That, die Analogie mit dem Tönen schwingender Saiten ist eine völlige und wird uns bei den weiteren Betrachtungen werthvolle 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 induzirt ist, hier an der Unterbrechungsstelle zwischen den Drähten hinüberspritzt, ähnlich wie die Wasserwelle über ein Hinderniß 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 eigenthümliche 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 organisirten frischen Thierleiche ihm Kunde geben von unserem Thun. 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 Aethermeer 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 elektrische Erscheinung vermuthet, 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 übergegangen ist. Wir reden von den „Fluthen des Lichts“, Goethe läßt Faust „die irdische Brust im Morgenroth baden“ und schildert das All als „ein ewiges Meer, ein wechselndes Weben“. Die Aetherstürme 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 Aether 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 werthvolle 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. 23. Die Vertheilung 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. 23. 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. Dafs dies in gleicher Weise wie bei den Drähten auf Induktion durch Ströme zurückgeführt werden könne, muß bezweifelt werden. Ich möchte vielmehr vermuthen, dafs es sich um Spannungserschütterungen handelt. Zweifellos hat die Erde eine bestimmte elektrische Spannung, deren wahre GröÙe uns unbekannt ist; da sie sich als ein unendlich großer Behälter darstellt, so ist ihre mittlere Gesamtspannung sicherlich als eine nur wenig veränderliche GröÙe 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.

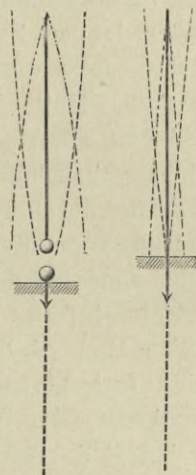


Fig. 23.

Nun ist uns bekannt, dafs 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-Centrale in Deptford bei London erhielt eines Tages Erdschlufs, 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 verbinden 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 Centimeter langen Funken sehen, die ich aus dem Sekundärdraht 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 Wechsellspannungen 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 Werthe 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 thatsächlich 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. Uebertragen wir diese Bezeichnung auf den elektrisch schwingenden Draht, so müssen wir sagen: die elek-

trischen Wechsellspannungen besitzen an der Spitze einen Bauch, an der Funkenstrecke einen Knotenpunkt, die Wechselströme 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 Elasticitätskonstanten des Eisens berechnen kann. Der Schwingungsfrequenz, die sich der Luft mittheilt, entspricht die Tonhöhe, die wir hören. Sie bleibt unverändert, an welcher Stelle ich das Eisen auch berühre. Wir erkennen also eine dem Eisen eigenthümliche 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 Uebertragung der Schwingung auf einen zweiten oder Sekundärdraht 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 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. 24. $ABFG$ sei ein elastischer Stab von der

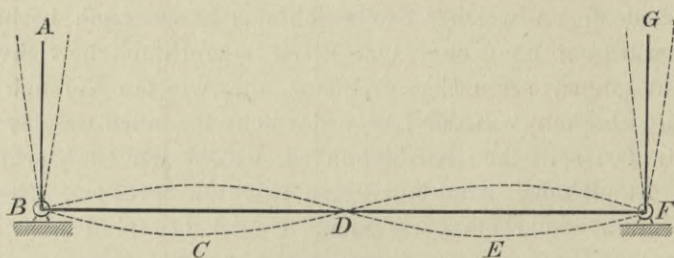


Fig. 24.

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 Uebertragung der Bewegung erfolgt durch den verbindenden Draht BF , der die Schwingungsbewegung einer stehenden Welle annimmt. Wählt man Bandeisen, so kann man die Bäuche C und E , sowie den Knotenpunkt D deutlich erkennen, wenn man diese Stellen

mit trockenem Sand bestreut. Bei *C* und *E* geräth der Sand in lebhaftes Hüpfen, bei *D* bleibt er in Ruhe. Bekanntlich nennt man die Strecke, welche einen Wellenberg und ein Wellenthal umfaßt, die Länge der Welle, und wir erkennen das folgende einfache Gesetz: Die Bewegungsübertragung von *A* nach *G* erfolgt durch eine stehende Welle, deren Länge gleich dem Vierfachen der schwingenden Vertikaldrähte ist.

Dieses einfache Gesetz können wir nun sofort auf unsere elektrisch schwingenden Drähte übertragen, Fig. 25. Stoße ich einen geerdeten Draht *AB* elektrisch an, indem ich an beliebiger Stelle, etwa

bei *C*, einen Funken auf ihn überschlagen lasse, so geräth er in elektrische Schwingungen, deren Frequenz lediglich von der Länge des Drahtes abhängt. An der Spitze des Drahtes bildet sich ein Bauch für die elektrischen Wechselspannungen aus, an der Erdungsstelle, bei *A*, ein Bauch für die Ströme. Befindet sich

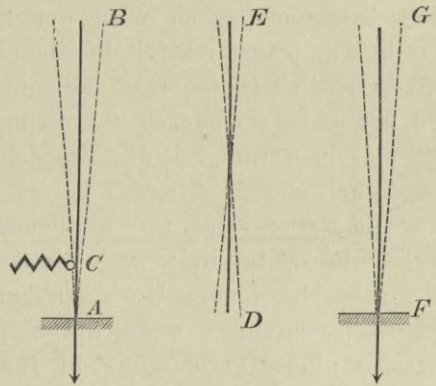


Fig. 25.

in einiger Entfernung davon ein zweiter paralleler Draht von gleicher Länge *DE*, so wird er durch Induktion gleichfalls in elektrische Schwingungen versetzt. Diese Schwingungen haben aber die doppelte Frequenz des Primärdrahtes, wenn der Draht an beiden Enden isolirt 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 Sekundärdräht entweder die doppelte Länge geben oder ihm am unteren

Ende die Spannung null aufdrücken, indem wir ihn erten; vergl. *FG*, Fig. 25.

Im letzteren Falle können wir annehmen, daß die Uebertragung sich in ganz entsprechender Weise vollzieht wie bei dem mechanisch schwingenden Eisenstab. Die Schwingungen theilen sich einem elastischen Mittel mit, dem Aether innerhalb und außerhalb der Erde, und tragen den elektrischen Impuls in der Form von stehenden Wellen bis an den Sekundärdräht. Die beste Wirkung ergiebt sich hiernach, wenn beide Drähte auf gleiche Frequenz gestimmt, d. h. von gleicher Länge sind. Der Primärdräht entspricht einem Viertel dieser Wellenlänge. Sind die Längen der Drähte nicht in Uebereinstimmung, so wird der Sekundärdräht zwar auch durch den ersten Anstoß in Eigenschwingung versetzt, aber mit wesentlich geringerer Intensität. Ist seine Länge dagegen ein ungerades Vielfaches des Primärdrähtes, 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. Verhängnißvoll für eine eiserne Brücke kann der Gleichschritt marschirender 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 Sekundärdräht 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 Theil 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. Dafs beide Mittel außerordentlich empfindlich und präzis 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. 26. 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

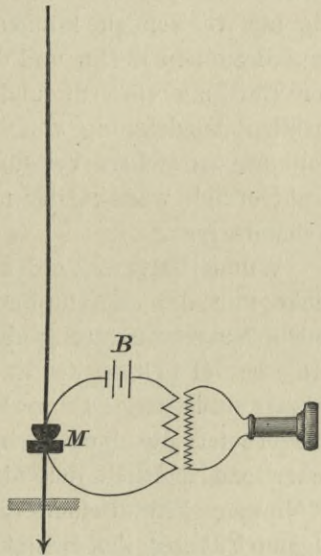


Fig. 26.

die 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 transformirt, so können wir sie mit dem Telephon wahrnehmen. Allerdings 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 Centrale 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 Eigenschaft 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 verhältnißmäßig 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.

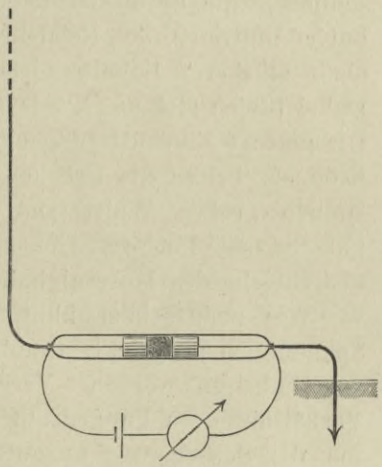


Fig. 27.

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 evakuirten Glasröhre, Fig. 27,

befinden sich zwei eingeschliffene Silberkolben, zwischen denen ein feines Metallpulver in loser Schichtung einen fast unendlich großen Uebergangswiderstand 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 pulsirenden Wechselfspannung 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 kondensirten Metalltheilen 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, thunlichst 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 Ueberlegungen 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 giebt 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. 28.

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 Störenfrieden. 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 unaufhörlichem 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, giebt mir erwünschte Gelegenheit, Ihnen 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 Eigen-

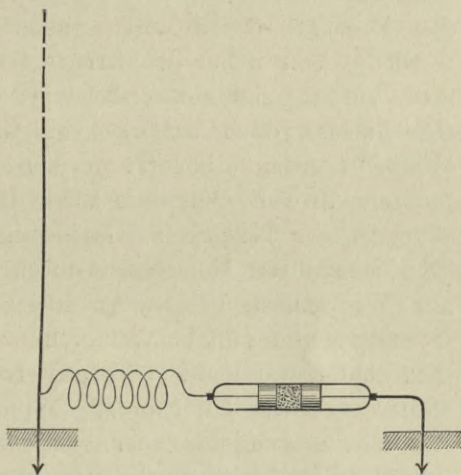


Fig. 28.

schwingungen 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 Bruchtheilen von zehntausendstel Sekunden.

Die Sicherheit der Zeichengebung ist durch Anwendung dieser Schaltungen nicht nur wesentlich erhöht, sondern die Uebertragungsweite 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 korrespondirender 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 Theil 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 Uebertragungsweite, denn sie hat zunächst den Nachweis der völligen Zuverlässigkeit zu erbringen. Man wird deshalb gut

thun, sich vorläufig mit einer geringeren Empfindlichkeit des Fritters zu begnügen.

Ein anderer Gesichtspunkt ist aussichtsvoller. Die Funken-telegraphie 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 thunlichst 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 pulsirenden 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 thun. 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. 29, 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

Funkenstrom gespeist. Um dies zu ermöglichen, ist der andere Pol der Funkenstrecke durch einen abgestimmten Kondensator C an Erde gelegt. Aehnlich wie das angeschlagene Eisenband des früheren Versuches wird der Draht hier durch elektrische Funken angestoßen und geräth in Schwingungen, deren Wellenlänge der vierfachen Drahtlänge entspricht. Wollen wir mit einer größeren Wellenlänge telegraphiren, so haben wir nur nöthig, in die Erdleitung eine Zusatzspule Z zu schalten, die ich durch Punktirung angedeutet habe. Sie entspricht einer bestimmten 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 regulirbaren Selbstinduktion S oder des Kondensators C , die zu diesem Zweck mit bestimmten Marken gezeichnet sind.

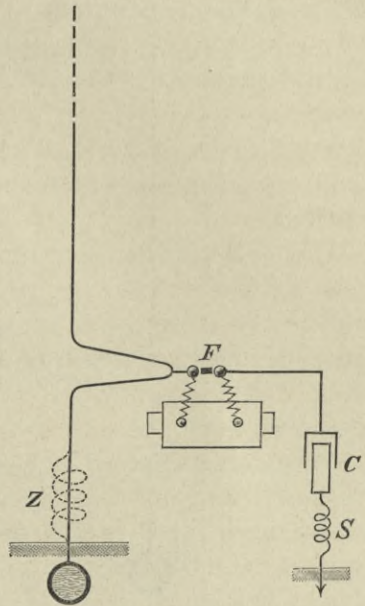


Fig. 29.

Als Empfänger, Fig. 30, 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 Wir-

kung 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. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft garantiert bei diesen Einrichtungen Abstimmung auf bestimmte Wellenlängen innerhalb der gebotenen Grenzen und sichere Verstär-

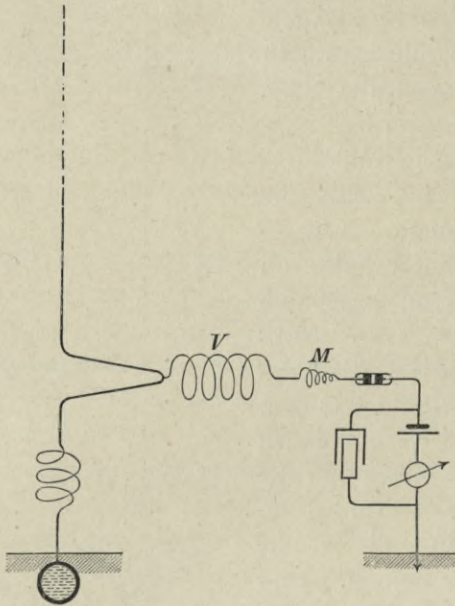


Fig. 30.

digung auf 100 km über See bei 50 m Masthöhe. Nach Schluß des Vortrages wird Herr Graf v. Arco die Freundlichkeit haben, einige Telegramme mit den im Hafen liegenden Schiffen, sowie mit der 14 km entfernten Landstation Bülk auszutauschen.*)

*) 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

Zur Beachtung:

Örtliche Adressen:
Postamt:
Telegraphenamt:
Telegraphenamt:
Telegraphenamt:

Abkürzungen:
für besondere Zeichen:
(D) Dringend:
(R) Antwort be-
zogen:
(RPP) Dringend:
Antwort bezogen:
(TC) Telegraphen-
amt:
(CB) Geschäfts-
stelle bezogen:
(PS) Geschäfts-
stelle bezogen:
(BO) Offizier zu be-
ziehen:
(AV) Gültigkeit be-
zogen:

*) Der Gebühren nach
Kategorie in Deutschland
bezogen. Die Gebühren
betragen in Deutschland
für den ersten Brief
eine Mark und für
jeden weiteren Brief
eine Mark. Die Gebühren
betragen in Deutschland
für den ersten Brief
eine Mark und für
jeden weiteren Brief
eine Mark.

Name und Wohnung
des Abnehmers:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

(AV) Gültigkeit be-
zogen:

Telegraphie des Deutschen Reiches.

Waffenstation Dufrenoy
von
Schneidhauer Deutschland.

Nr. 1 mit W. 100 den 1. Apr. 1911.

Befördert den 17. Okt. 1911.
5 Uhr - M. in 1/4.

am
durch Drahtlose Telegraphie

Cost: 150 Mm.

Die Funkentelegraphie hat, wie Sie hieraus ersehen, das Stadium der tastenden Versuche verlassen, sie ist jetzt einer zielbewußten Ingenieurthätigkeit erschlossen, und die regsamen Kräfte der Industrie werden schon das ihrige thun, 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 Funkentelegraphie 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 Funkentelegraph in Zukunft in vielen Fällen das Kabel entbehrlich machen, wengleich wir in dieser Beziehung die Erwartungen nicht allzu hoch spannen dürfen. Die Grenzen können wir heute annähernd übersehen. Lassen wir ausschweifende Pläne, wie beispielsweise 1000 m lange von Luftballons getragene Drähte, die bei einmaligem Versuch wohl möglich, aber für sicheren Dauerbetrieb praktisch wertlos sind, völlig bei Seite, so werden wir, selbst bei feinerer Ausbildung der vorhandenen Mittel, eine Uebertragung von Zeichen auf mehr als einige hundert Kilometer schwerlich erhoffen dürfen.

Auch der Weg, der für weiteren Fortschritt sich öffnet, liegt klar zu Tage. Die zum Beginn meines Vortrages er-

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

Die anliegende Tafel 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(!)nfzig Kilometer. Zweimal Schlufszeichen.“

„Anfangszeichen. Leben Sie wohl. Zweimal Schlufszeichen.“

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

örterten Gesetze zeigten uns, daß die Uebertragungsweite im wesentlichen von 3 Umständen abhängt: von der Länge der parallelen Drähte, der Frequenz der Pulsationen und dem Mittelwerth 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 induzirenden 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 Theile; 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.

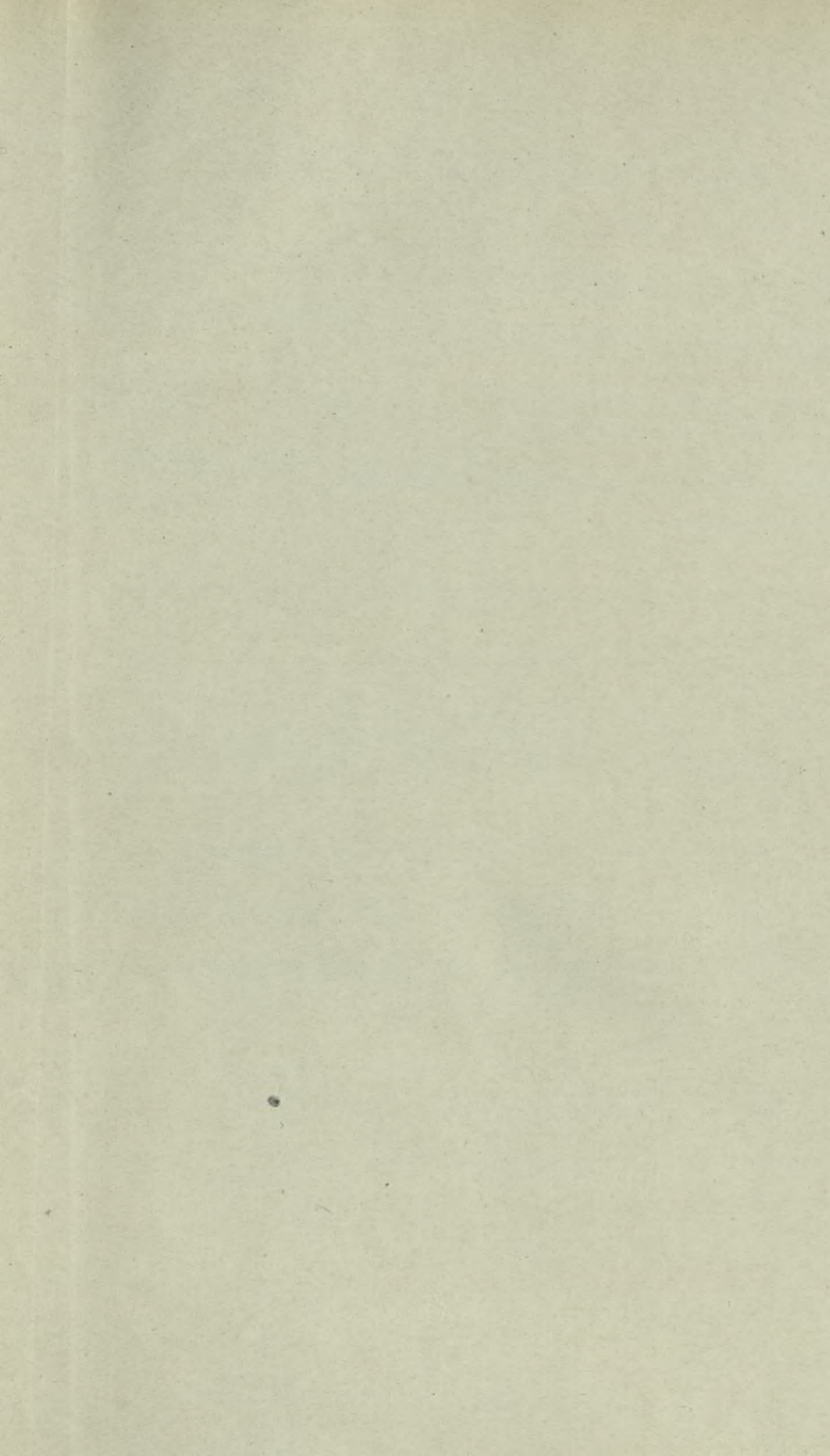
Ich hoffe somit, den überzeugenden Nachweis geführt zu haben, daß die Zukunft der Funkentelegraphie ausschließlich auf dem Gebiete der Erzeugung hoher elektrischer Spannungen liegt. Was wir in dieser Beziehung bisher verwenden und an den hier aufgestellten Apparaten zeigen, ist eine außerordentlich bescheidene Leistung, wenn wir damit vergleichen, was fern von hier, jenseits des Ozeans, Nikola Tesla erreicht hat. Ich kann nicht als Augenzeuge darüber berichten, sondern nur urtheilen nach einigen Photographien, die er in freundschaftlicher Gesinnung mir vor wenigen Tagen gesandt hat. Dieselben zeigen künstlich erzeugte Funkenentladungen, die alles in den Schatten stellen, was unsere kühnste Phantasie sich träumen läßt. Möchte er sein theoretisches Wissen und sein eminentes technisches Können bald in den praktischen Dienst der Funkentelegraphie stellen; dann könnten wir einen neuen gewaltigen Fortschritt erleben, der dem ersten genialen Impuls Marconi's würdig zur Seite tritt.

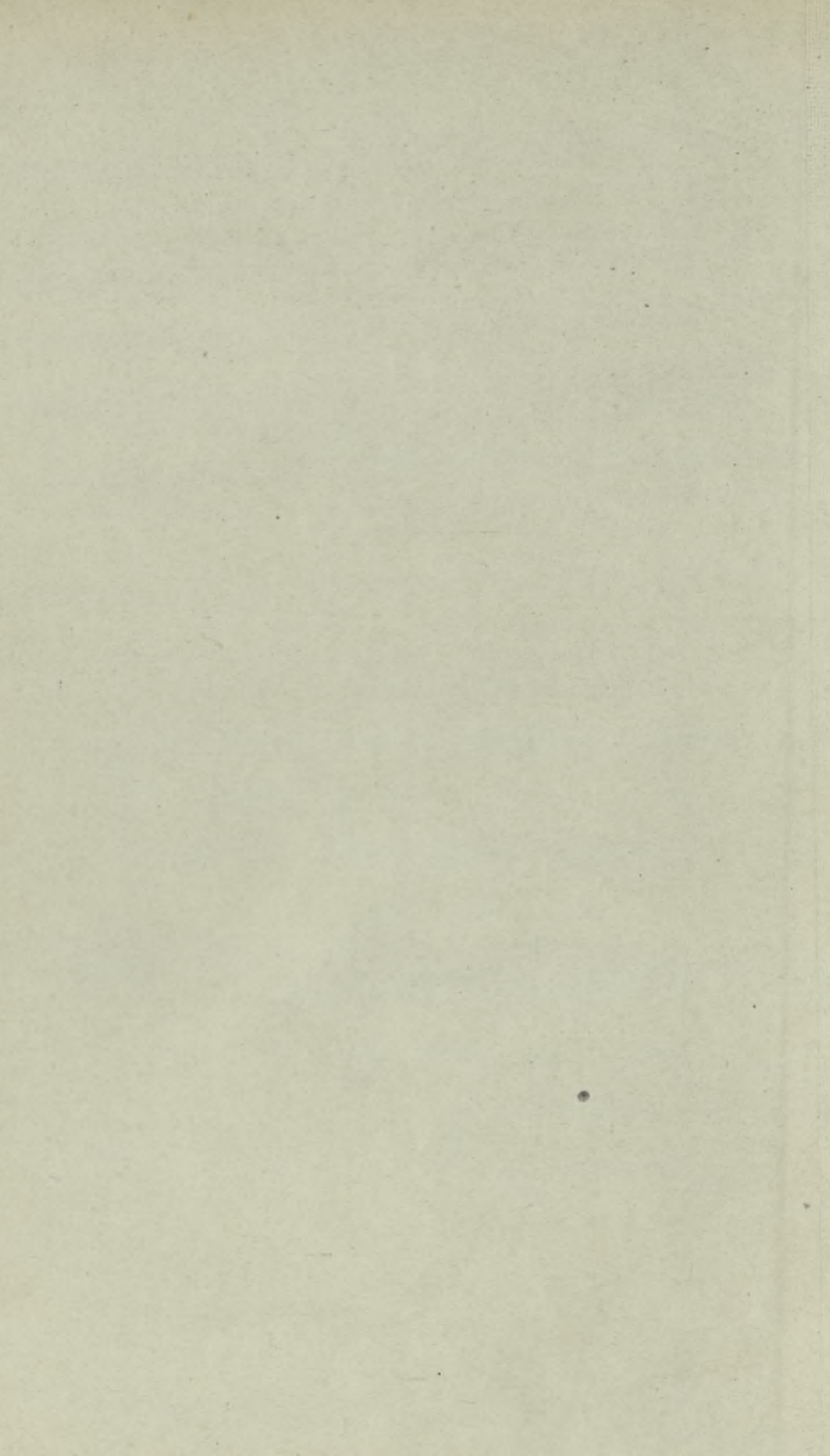
Man hat Tesla den Vorwurf gemacht, daß er bis jetzt aus seinen Versuchen keine praktischen Folgerungen gezogen

hat, und viele haben die dichterisch phantastischen Aeufferungen, die hin und wieder von ihm durch die Presse verbreitet wurden, dazu geführt, seine Leistungen überhaupt zu bezweifeln. Aber angesichts der wunderbaren Erscheinungen, welche uns die Natur in dem geheimnißvollen 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 nur 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 werthvolle Schätze aus dem unversieglichen Born der Natur.



S. 61





WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

17928

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300692