

34.

R

Waldt & Stamm:

Finken-Telegraphie

XLI - 29 -

Alle Rechte vorbehalten!

## Inhalt.

	Seite
I. Wert der Funkentelegraphie für die moderne Schifffahrt von Professor Flamm . . . . .	1
II. Die Funkentelegraphie von C. Arldt . . . . .	7
Der elektrische Funke . . . . .	7
Kapazität . . . . .	8
Kondensator . . . . .	11
Oscillationen . . . . .	12
Dämpfung . . . . .	14
Induktor . . . . .	16
Unterbrecher . . . . .	17
Hertzscher Resonator . . . . .	23
Fritter . . . . .	25
Marconis erste Telegraphie ohne Draht . . . . .	26
Elektrische Schwingungen eines Drahtes . . . . .	28
Resonanz . . . . .	32
Geber . . . . .	32
Erdung . . . . .	34
Empfänger . . . . .	35
System Braun . . . . .	38
System Slaby-Arco . . . . .	39
Abstimmung . . . . .	41
Mehrfachtelegraphie . . . . .	43
Transportable Abstimmspule . . . . .	45
Apparate der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft . . . . .	48
Demonstrationsapparat . . . . .	53
Ausgeführte Anlagen . . . . .	55
Fahrbare Feldstation . . . . .	66
Gegenwärtige Stellung der Funkentelegraphie . . . . .	68

Bemerkung: Die Abbildungen Fig. 29 bis 31 (Seite 33) sind als schematische Darstellungen der Einfachheit wegen unter Weglassung aller einzelnen Apparate, z. B. auch der Kondensatoren des Funkenstromkreises, dargestellt. Für die indirekte Kupplung, wie sie bei dem System Braun Verwendung findet und schon von Lodge und Marconi ausgeführt wurde, ist die genaue Anordnung in Abbildung Fig. 37 (Seite 36) gegeben, für die bei dem System Slaby-Arco angewendete direkte Kupplung in Abbildung Fig. 38 (Seite 37).

## Wert der Funkentelegraphie für die moderne Schifffahrt.

Von Professor Flamm.

Das Bestreben, eine Verbindung von Schiff zu Schiff und von Schiff zum Lande sowie umgekehrt herzustellen und zu unterhalten, ist so alt, wie die Schifffahrt selbst. Es war natürlich, dass in jenen Zeiten des Altertums und des Mittelalters, in denen die Technik noch den niedrigen Stand einnahm, welcher den damaligen Verkehrsbedürfnissen entsprach, hauptsächlich die menschlichen Sinne, das Auge und das Ohr in Anspruch genommen wurden, wenn es sich darum handelte, auf grössere räumliche Entfernungen hin irgend ein Signal, eine Mitteilung, den anderen Menschen rasch zukommen zu lassen. So sind in jenen Zeiten hauptsächlich das Licht und der Schall als Verständigungsmittel in Gebrauch. Wenn man sich vergegenwärtigt, dass bis zur Einführung des Kompasses im 13. Jahrhundert die ganze Schifffahrt im wesentlichen eine Küstenschifffahrt darstellte und darstellen musste, so ist es verständlich, dass jene einfachsten und primitivsten Mittel zum Zwecke einer Verständigung über die See hin lange Zeit genügt haben. Erstaunlich ist es aber auf der anderen Seite, wie sehr in jenen alten Zeiten mit eben diesen primitiven Mitteln die gegenseitige Verständigung ausgestaltet worden ist, so dass thatsächlich ausgedehnte und umfangreiche Mitteilungen rasch gegeben und empfangen werden konnten. Wesentlichste Signalmittel des Altertums waren bei Tage der Rauch und verschiedenfarbige Fahnen, welche Vorhängen nicht unähnlich gestaltet waren, sowie Zeichen mit dem „goldenen Schild“, jenem berühmten „clipeus aureus“, der im Sonnenlichte zum Reflektieren benutzt wurde; in der Nacht verwendete man Feuersignale und Laternen, welche auf grössere oder kürzere Entfernungen hin auf Grund genau fest-

gesetzter Vereinbarungen gewisse Signale übermittelten. So lässt Aeschylus den endlichen Fall Trojas 458 v. Chr. durch Feuersignale von der kleinasiatischen Küste aus über Lemnos, den Berg Athos, über Euboea und Messapion in Böotien, über die Berge Kithäron, Aegi planktos in Megaris zum Berge Arachnäon bei Mykene der griechischen Welt kundgeben, und dieses letzte Feuersignal sah der Wächter auf dem Dache des Palastes des Agamemnon!\*)

Und ferner berichtet Thucydides, dass im peloponnesischen Kriege mittels eines sehr ausgebildeten Fackelsignalisierens verschiedentlich die Ansegelung einer feindlichen Flotte bekannt gegeben werden konnte, und nicht dieses allein, sondern auch die Zahl und Grösse der einzelnen Schiffe!

Naturgemäss wurde in den damaligen Zeiten das Signalwesen am meisten in den zahlreichen Kriegen benutzt, sowohl um ein Zusammenwirken der Flotten miteinander, wie der Flotte und des Landheeres zu ermöglichen; so führte Scipio, als er im Jahre 205 v. Chr. von Sicilien nach Afrika zur Zerstörung Carthagos mit der Flotte übersetzte, die Vorschrift ein, dass zur Unterscheidung der einzelnen Schiffstypen seiner Flotte die Schnabelschiffe eine Laterne, die Transportschiffe zwei Laternen und die Kapitänsschiffe drei Laternen bei Nacht zu führen hätten.

Ferner berichtet Polybius von einem eigenartig ausgestalteten Fackelsystem, mittels dessen man mit verhältnismässiger Leichtigkeit jeden Buchstaben des griechischen Alphabetes signalisieren konnte. Parallel mit diesen Verständigungsmethoden im gegebenen Falle liefen die Bestrebungen, gewisse wichtige Punkte an befahrenen Küsten auch Nachts für die Schiffer sichtbar und erkenntlich zu machen. Allerdings war in alten Zeiten ein Bedürfnis für Befuerung der Küsten verhältnismässig nur in geringem Umfange vorhanden, weil die Schifffahrt meistens am Tage ausgeführt wurde und nur in beschränktem Masse des Nachts. So gab es in den älteren Zeiten nur etwa 18 Leuchttürme, von denen der Pharos im Hafen von Alexandrien 300 v. Chr. wohl das älteste war. Allein diese Feuer unterschieden sich nicht voneinander;

\*) Vergl. für dies und folgendes Veitmeyer, Leuchttürme und Leuchttürme.

es war nicht Sorge getragen, dem Schiffer gleich aus der Gestalt und Art des Feuers zu sagen, welchen Leuchtturm er vor sich habe; eine derartige Individualisierung der Küstenfeuer brachte erst das 18. Jahrhundert, bis dahin kannte man sie nicht. Es waren vielmehr bis zum 16. Jahrhundert die meisten Leuchttürme einfache Holzfeuer, die frei im Winde oben auf einem Turme brannten. Um das Jahr 1560 wurde zuerst in Schweden das Holzfeuer durch ein Steinkohlenfeuer ersetzt, hauptsächlich mit Rücksicht auf die grössere Sichtbarkeit gegenüber dem Holzfeuer; auch diese Feuer brannten frei im Winde entweder in grossen Körben oder auf einem besonderen Roste. Eingeglast wurden diese Feuer erst hundert Jahre später. Ihre Sichtbarkeit war trotz aller Verbesserungen der damaligen Zeit eine sehr beschränkte, nur etwa 5 bis 6 Seemeilen bei mittlerem Wetter; wenn man aber in Betracht zieht, wie gering in damaligen Zeiten im Vergleich mit heute die Schiffsgeschwindigkeiten waren, so fällt die geringe Sichtbarkeit der Feuer nicht allzu stark ins Gewicht. Dass auch andere Mittel versucht wurden, dem Schiffer draussen auf See ein Feuerzeichen zu geben, wenn er sich einem gefährlichen Küstenpunkte näherte, bewiesen die Einrichtungen verschiedener Leuchttürme an unseren deutschen, wie an den englischen Mittelmeerküsten.

Schon 1286 hatte man auf Neuwerk ein Leuchtturm, bestehend aus einer kleinen Anzahl von Talgkerzen, eingerichtet, ebenso besass Travemünde ums Jahr 1316 ein solches Kerzenfeuer, welches 300 Jahre später eine „Verbesserung“ dadurch erzielte, dass man die Zahl der Kerzen auf zwölf erhöhte und sie ausserdem einglaste! Auch der berühmte Leuchtturm auf dem Eddystone hatte sogar bis 1817 noch ein Leuchtturm aus 24 Talgkerzen! Die Sichtbarkeit derartiger Feuer war selbstredend eine äusserst geringe, höchstens 2,5 bis 3,0 Seemeilen weit, ein gleiches gilt von den in jenen Zeiten ebenfalls in Gebrauch befindlichen Ölfeuern, die durch Rüböl gespeist wurden; so besass der Hafen von Pisa gegen Ende des 13. Jahrhunderts ein solches Ölfeuer, und auch unsere Nordseeinsel Wangerooge bekam 1602 ein Ölfeuer, welches aber, nachdem es mehr als 80 Jahre in Kläglichkeit gebrannt hatte, auf Antrag der Stadt Bremen durch ein Steinkohlenfeuer ersetzt wurde.

Feuer aus Leuchtgas finden wir zuerst 1818 bei Triest und 1819 in Neufahrwasser. Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts suchte man die Sichtigkeit der Leuchtfeuer durch Scheinwerfer zu steigern, aber erst von der Mitte des 19. Jahrhunderts ab nimmt die Ausgestaltung der Küstenbefeuernngen einen erfolgreichen und intensiven Aufschwung dadurch, dass man das Petrolfeuer und das elektrische Feuer einführt und gleichzeitig unter Anwendung der Gesetze der Optik an Stelle der Reflektoren die vorzüglich konstruierten und geschliffenen durch grosse Glaslinsen gebildeten Refraktoren ersetzt. Auch wurde durch internationale Übereinkunft eine Individualisierung der einzelnen Feuer herbeigeführt, so dass ein jedes Feuer sich vom anderen in seiner Art unterscheidet und entweder als festes Feuer, intermittierendes Feuer, als Blick- oder Blinkfeuer etc. ausgebildet ist. Solcher Art ist es jedem Schiffe ohne weiteres möglich, wenn es sich irgend einem Feuer nähert, aus dessen Art sofort zu erkennen, wo es sich befindet. Zieht man die sehr gesteigerte Sichtigkeit der modernen Feuer von 40 km und mehr in Betracht, will man doch bei einzelnen besonders starken Feuern bis über 200 km weit kommen, so muss man gestehen, dass in der That während der letzten 50 Jahre ungemein viel für das Signalwesen und damit für die Sicherheit der Schifffahrt geschehen ist.

Durchaus Schritt gehalten mit dieser Vermittelung eines Verkehrs von der Küste nach dem von der hohen See aufkommenden Schiffe hat gleicherweise das Signalwesen der Schiffe untereinander und der Schiffe zur Küste hin. Hier sind es bei Tage vornehmlich Flaggen-signale, bei Nacht farbige, in neuester Zeit meistens elektrisch be-thätigte Laternen, Leucht-kugeln, Raketen etc., welche auf sichtbare Distanzen hin eine Verständigung ermöglichen; auf Grund des Ende der sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts eingeführten internationalen Signalbuches ist eine Verständigung der gesamten Schifffahrt treibenden Welt von Schiff zu Schiff ohne weiteres ermöglicht und somit der gesamte Schifffahrtsverkehr entsprechend seiner gewaltigen Ausgestaltung in den letzten Jahrzehnten wesentlich gefördert worden. In gleicher Weise sind bedeutende und wichtige Fortschritte bei der Benutzung akustischer Signale als Dampf-pfeifen, Sirenen, Nebelhörner, Glocken-signale unter Wasser etc. zu verzeichnen.

Allein alle diese selbst modernsten Verständigungsmittel haben hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit ihre leider eng gezogenen Grenzen; die Verständigung hört überall da auf, wo die menschlichen Sinne, das Auge und das Ohr auch bei Benutzung der besten Hilfsmittel versagen. Hat ein Schiff diese Grenze überschritten, so ist es so lange als abgeschnitten von der übrigen zivilisierten Welt zu betrachten, bis es wieder in den Gesichtskreis irgend eines anderen Fahrzeuges oder der Küste gelangt. Um so ungünstiger wird seine Situation, wenn die Sichtigkeit der Luft durch Nebel fast aufgehoben wird! Während also die moderne Schifffahrt mit ihren gewaltigen Geschwindigkeiten, ihrer so ungemein gesteigerten Frequenz, ihrer fortdauernd wachsenden Quote am Weltverkehr und somit am Vermögen aller Seefahrt betreibenden Nationen als dringendstes Bedürfnis eine möglichst weitgehende Verständigung von Schiff zu Schiff und Schiff und Land forderte, gelang es nicht, jene von der Natur dem Menschen gestellte Grenze der Einwirkungsfähigkeit auf seine Sinne zu überschreiten. Da wurde die Funkentelegraphie erfunden und in regstem, energischstem Arbeiten der an ihr beteiligten Männer der Wissenschaft und Technik rasch ausgestaltet und vervollkommnet. Die Hindernisse, welche bisher einem Verkehr zwischen weit entfernten und nicht miteinander verbundenen Punkten entgegenstanden, sind gefallen, und wo eine neue Grenze diesem neuen Verständigungsmittel sich entgegenstellen wird, das anzugeben ist heute unmöglich! Ist es doch Marconi bereits gelungen, funkentelegraphisch über den Atlantischen Ocean zu sprechen! Welch enormen Wert diese neue Verständigungsmethode unserer modernen Schifffahrt bringen muss, ist aus dem früher Gesagten verständlich. Die wichtige Botschaft über Begebnisse an Bord, seien sie freudiger, seien sie ernster Natur, lässt sich schon jetzt auf viel weitere Entfernungen hin von See aus mitteilen, als das bisher der Fall war. Irgend eine Gefährdung des einzelnen Schiffes, irgend eine wichtige Meldung im Seekriege, alles lässt sich viel weiterhin, viel rascher, viel sicherer den anderen Menschen, die danach ihre Massnahmen treffen sollen, mitteilen. Auch der Nebel, der gefährlichste Feind der Schifffahrt, verliert einen grossen Teil seiner Schrecken; denn das entgegenkommende fremde Fahrzeug lässt sich leichter ermitteln

und vermeiden; die Sicherheit des gesamten Seeverkehres, des gesamten Betriebes unserer Schifffahrt wird durch das neue Verständigungsmittel bedeutend gesteigert und wird ihre Rückwirkung auf den wirtschaftlichen Aufschwung der Schifffahrt treibenden Nationen ausüben müssen! Hierin liegt der grosse Wert der Funkentelegraphie für die moderne Schifffahrt, ein Wert, der kaum hoch genug eingeschätzt werden kann!

## Die Funkentelegraphie.

Von C. Arldt.

Die Funkentelegraphie ist diejenige Art der Zeichenübertragung, bei welcher die zur Erzeugung der Signale dienende Elektrizität durch elektrische Funken ausgelöst und ohne besondere Verbindung von der gebenden zur empfangenden Station fortgepflanzt wird. Frei durch die Luft, durch den Raum, bewegt sich also die hierbei wirksame elektrische Energie und der Übergang vom Geber zum Empfänger erfolgt mit einer so ausserordentlichen Geschwindigkeit, dass für die praktische Anwendung der Funkentelegraphie ein wahrnehmbarer Zeitunterschied zwischen Aussendung und Empfang eines Zeichens überhaupt nicht besteht. Hat doch die neuere Forschung auf dem Gebiete der theoretischen Physik gezeigt, dass die Elektrizität in der Luft eine gleichgrosse Geschwindigkeit besitzt wie das Licht also in einer Sekunde den ungeheuren Weg von 300000 km zurücklegt.

### Der elektrische Funke.

Der elektrische Funke, die Kraftquelle der Funkentelegraphie, ist eine ausserordentlich schnell auftretende, von einer kurzen Lichterscheinung begleitete Ausgleichung entgegengesetzter Elektrizitäten.

Hat man zwei metallische Kugeln  $a_1$  und  $a_2$  (Fig. 1), die von irgend einer geeigneten Elektrizitätsquelle  $b$  aus geladen, d. h. in der Weise mit Elektrizität versehen werden, dass auf der einen Kugel  $a_1$  positive, auf der anderen  $a_2$  negative Elektrizität erzeugt wird, so bilde sich zwischen beiden Kugeln eine Spannung aus. Das natürliche Gleichgewicht, das vor der Ladung herrschte, ist gestört. Auf der positiven Seite  $a_1$  ist eine Spannungssteigerung in positivem Sinne

also ein höheres Potential entstanden und auf der anderen Seite  $a_2$  eine Spannungssteigerung im entgegengesetzten negativen Sinne, also ein niedrigeres Potential. Je grösser der Unterschied der Potentiale, d. h. je grösser die Potentialdifferenz wird, desto mehr wächst das Bestreben beider Elektrizitäten zur Ausgleichung, zur Vereinigung. Diese findet schliesslich in Gestalt eines überschlagenden Funkens (Fig. 2) statt, sobald die Potentialdifferenz im stande ist, den Widerstand des zwischen den Kugeln befindlichen Mediums, des Dielektrikums  $d$ , hier also der Luft, zu überwinden und die Funkenstrecke zwischen  $a_1$  und  $a_2$  zu durchschlagen.

**Kapazität.**

Die auf jeder Kugel befindliche Elektrizitätsmenge  $Q$  hängt nun ab einerseits von dem Potential  $E$  und andererseits von der Aufnahme-fähigkeit der Kugel oder von ihrer Kapazität  $C$ , und es ist:

$$Q = E \cdot C.$$

Die Kapazität ihrerseits ist abhängig von Grösse und Form des die Elektrizität tragenden Körpers, also im vorliegenden Falle der Kugeln  $a_1$  oder  $a_2$ .

Zur leichteren Übersicht der Vorgänge bei der Funkenbildung lassen sich entsprechende Vorgänge aus der Mechanik vergleichsweise heranziehen. Angenommen, man habe zwei Hohlkugeln  $a_1$  und  $a_2$  (Fig. 3), die in der Mitte mit einander verschraubt und durch eine Scheidewand  $d$  (etwa aus einer Metallmembran bestehend) von einander getrennt sind. In beiden Kugeln befinde sich Dampf von etwa  $160^\circ \text{C}$ . mit einem Drucke von  $6 \text{ kg/qcm}$ . Zunächst ist also Gleichgewicht in und zwischen den beiden Kugeln vorhanden und auf das Zwischenstück  $d$  wird keinerlei Druck ausgeübt. Es soll nun die Temperatur der Kugel  $a_1$  erhöht und diejenige von  $a_2$  vermindert werden. Hierdurch wird auch der Druck in  $a_1$  vergrössert und der in  $a_2$  verkleinert, so dass also eine Druckdifferenz entsteht, welche in der Richtung von  $a_1$  nach  $a_2$  eine Wirkung auf das Zwischenstück hervorruft. Diese wächst mehr und mehr an und bei einem gewissen Grade,

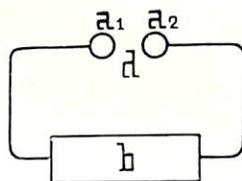


Fig. 1.

sagen wir, wenn die Kugel  $a_1$  eine Temperatur von  $170^\circ \text{C}$ . bei einem Druck von  $8 \text{ kg/qcm}$  erreicht hat und die Kugel  $a_2$  auf  $100^\circ \text{C}$ . und gleichzeitig Erwärmung und Abkühlung aufhören sollen. Der Dampf aus  $a_1$  strömt nun nach  $a_2$  und bewirkt dabei in  $a_1$  wiederum eine Verminderung und in  $a_2$  eine Erhöhung der Temperatur, so dass also auf einer mittleren Temperatur von etwa  $160^\circ \text{C}$ . mit einem mittleren Druck von etwa  $6 \text{ kg/qcm}$ , wie er zu Anfang herrschte, der Ausgleich beendet ist. Bei diesem Beispiel entspricht nun in gewisser Weise:

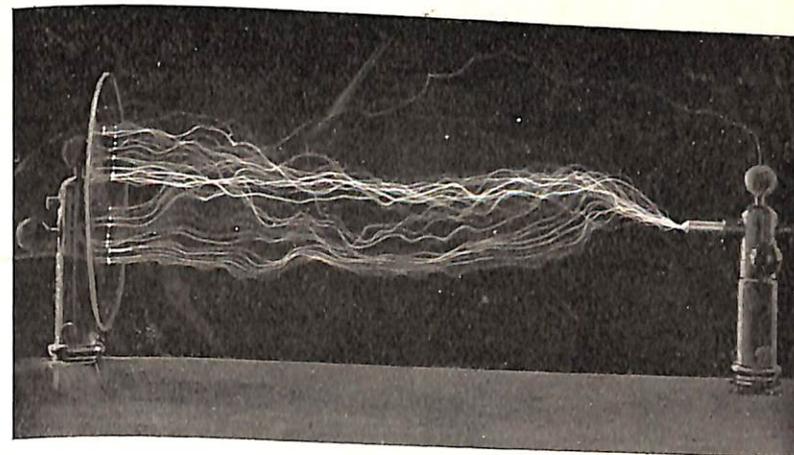


Fig. 2. Funken von 40 cm Länge (0,1 Sekunde Expositionsdauer).

Die Dampfmenge der Elektrizitätsmenge  $Q$ ,  
 der Dampfdruck dem Potential  $E$ ,  
 der Kugelhinhalt der Kapazität  $C$ ,  
 das Zwischenstück  $d$  dem Dielektrikum.

Und wie hier das Zwischenstück  $d$  die Durchleitung des Dampfes gestattet, indem es jetzt für denselben ein kurzes Durchgangsrohr bildet, so erscheint auch im Moment des Überschlagens der Elektrizität das Dielektrikum, das bisher ein Nichtleiter, ein Isolator war, als Leiter; selbst die Luft also lässt, wenn die Voltzahl des Potentiales hoch genug gestiegen ist, die Elektrizität übertreten. Die dabei vorkommenden elektrischen Spannungen sind ausserordentlich hoch; so ist für das Durchschlagen einer Luftstrecke von nur  $10 \text{ mm}$  Länge bei  $10 \text{ mm}$  Durchmesser der Kugeln eine Spannung von ca.  $30000 \text{ Volt}$  erforderlich.

Der Vorgang des Funkenüberganges ist zu unterscheiden von einer anderen Erscheinung, bei welcher ebenfalls die Elektrizität durch die Luft zu gehen scheint, nämlich dem Lichtbogen, wie er z. B. bei einer Bogenlampe sich bildet. Hier liegen die Kohlenspitzen zunächst zusammen, so dass der elektrische Strom ungehindert fließen kann. Werden nun die Kohlen etwas voneinander entfernt, so reisst die Elektrizität kleine Kohlentelchen mit, die den Raum zwischen beiden Spitzen teilweise ausfüllen, so dass sich also hier die Elektrizität selbst ihren Leiter bildet. Auch bei der Erzeugung der Funken kann es vorkommen, dass unter Umständen Metallteilchen mitgerissen werden, die in der Luft eine Brücke bilden. Die äussere Erscheinung wird dann aber eine andere und der bläuliche, knatternde Funke wird zu einem gelblichen, viel ruhiger erscheinenden Lichtbogen.

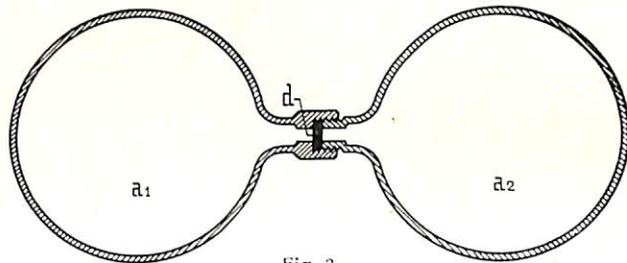


Fig. 3.

Es tritt dies z. B. ein, wenn nach Übergang des ersten Funkens zwischen den Metallkugeln  $a_1$  und  $a_2$  (Fig. 1) von

der Kraftquelle  $b$  aus fortdauernd Elektrizität mit zu hoher Spannung zugeführt wird. Ist die Luftstrecke entsprechend gross, so findet aber auch bei den höchsten Spannungen wirkliche Funkenbildung statt, wie sie uns in grossartigster Weise die Natur selbst im Blitze vorführt (Fig. 4).

Die gesamte, bei einer Funkenbildung wirksame Energie ist in erster Linie abhängig von der zwischen den Kugeln übergehenden Elektrizitätsmenge. Letztere hängt ihrerseits wiederum von der Kapazität ab. Vergrössert man also die Kugeln  $a_1$  und  $a_2$ , so erhöht man deren Kapazität und schafft damit die Möglichkeit, grössere Energiemengen wirken zu lassen. In entsprechender Weise tritt dies auch bei den Dampfzylinderkugeln  $a_1$  und  $a_2$  (Fig. 3) ein, denn die durch  $d$  übertretende Dampfmenge vermehrt sich, wenn man die Kugeln vergrössert. Den gleichen Erfolg würde man aber auch erzielen, wenn die Dampfzylinder mit beliebigen anderen Behältern in Verbindung gebracht würden. Es würde eben auch dann der Fassungsraum vergrössert.

### Kondensator.

In ganz ähnlicher Weise kann man bei den elektrischen Vorgängen die Kapazität erhöhen, wenn man die Kugeln  $a_1$  und  $a_2$  (Fig. 1) entweder vergrössert oder aber, wenn man sie mit anderen leitenden Körpern in Verbindung bringt. Als solche besonders geeignet sind nun metallische Flächen oder Platten,  $s_1$  und  $s_2$  (Fig. 5), die einander gegenüber stehen und durch einen Nichtleiter (das Dielektrikum) voneinander getrennt sind. Einen derartigen Apparat nennt man einen Kondensator. Bei der Ladung

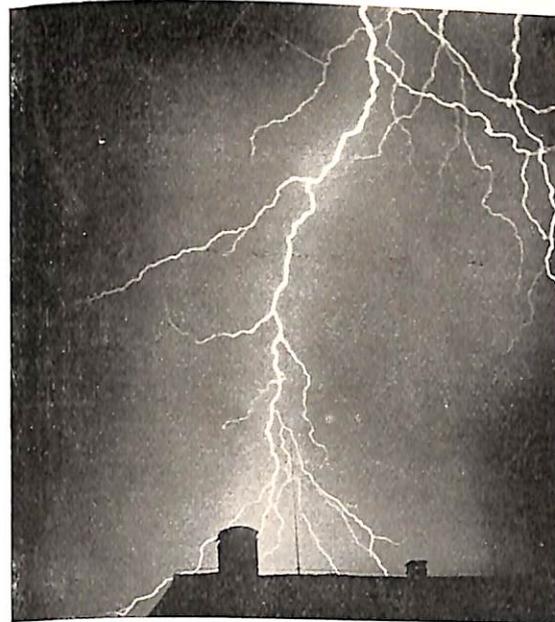


Fig. 4. Atmosphärische Entladung (Blitz).

desselben häuft sich also die Elektrizität nicht nur auf  $a_1$  und  $a_2$  an, sondern auch auf  $s_1$  und  $s_2$ , während bei dem Funkenübergang auch der Ausgleich zwischen  $s_1$  und  $s_2$  über  $a_1$  und  $a_2$  erfolgt, da ja  $a_1$  mit  $s_1$  und  $a_2$  mit  $s_2$  leitend in Verbindung stehen.

Eine der bekanntesten Formen des Kondensators ist die Leydener Flasche (Fig. 6 und 7). Sie besteht aus einem Glas-

gefäss, das zugleich das Dielektrikum  $d$  bildet (Fig. 6), und das innen und aussen mit metallischen, etwa aus Stanniol bestehenden Belägen  $s_1$  und  $s_2$  versehen ist, die aber nicht bis an den oberen Rand des Glases reichen, also gut von einander getrennt sind. Um bequem an den inneren Belag heranzukommen, ist derselbe mit einem aus dem Gefäss herausreichenden blanken metallischen Leiter  $g$ , der oben einen Kontakt  $a_1$  trägt, verbunden. Ist dieser Kondensator geladen und bringt man einen Metalldraht  $a_2$ , der mit der äusseren Belegung in Verbindung steht, mehr und mehr in die Nähe des mit der inneren Belegung in Verbindung stehenden

Kontaktes  $a_1$ , so wird bei einer gewissen Entfernung zwischen  $a_1$  und  $a_2$  der Übergang eines Funkens stattfinden. Je grösser die Belege sind, desto kräftiger wird dabei, unter sonst gleichen Verhältnissen, der Funke ausfallen.

**Oscillationen.**

Da hier die Flasche vor der Entladung von der Elektrizitätsquelle entfernt worden ist, wird nach Erfolg des einmaligen Ausgleiches eine weitere Erscheinung nicht auftreten, und es sieht aus, als ob in einfachster Weise die Elektrizität ein einziges Mal von der einen Seite zur anderen übergesprungen wäre. Thatsächlich ist aber der Vorgang ein viel mehr zusammengesetzter. Schon Helmholtz spricht sich in seiner berühmten, 1847 erschienenen Schrift „Über die Erhaltung der Kraft“ dahin aus, dass die Entladung einer Leydener Flasche nicht als einfache Bewegung der Elektrizität in nur einer Richtung anzusehen sei, sondern als eine hin- und hergehende Bewegung zwischen den Belegen, die immer schwächer und schwächer wird, bis die ganze elektrische Arbeit der Ladung aufgezehrt ist. Diese hin- und hergehende oscillierende Bewegung wird bewirkt durch die zuerst von Faraday experimentell aufgefundene und von Maxwell theoretisch begründete magnetelektrische Induktion, nach welcher jeder entstehende oder verschwindende Strom einen anderen Strom induziert, und zwar nicht nur in anderen in der Nähe befindlichen Leitern, sondern auch in seinem eigenen Leiter selbst, welche letztere Erscheinung man daher als Selbstinduktion bezeichnet.

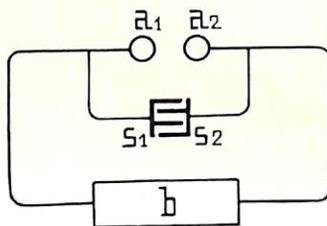


Fig. 5.

Nach einem von Lenz aufgestellten Gesetz ist nun der induzierte Strom immer so gerichtet, dass er die Bewegung, durch die er zustande kommt, selbst zu schwächen sucht. Ein entstehender Strom also induziert einen seiner Richtung entgegengesetzten, während ein verschwindender Strom einen solchen in gleicher Richtung induziert. Dieselbe Erscheinung tritt bei dem elektrischen Funken auf. Der erste Übergang der Elektrizität von der Kugel  $a_1$  zu  $a_2$  (Fig. 1) bedeutet

einen Strom in eben dieser Richtung. Dieser induziert also einen Strom in entgegengesetzter Richtung, und bei der Schnelligkeit, mit welcher der erste Strom auftritt und wieder verschwindet, hat der zweite bald den ersten während dessen Abnahme übertroffen und es folgt nunmehr ein Übergang der Elektrizität in umgekehrter Richtung von  $a_2$  nach  $a_1$ . Dieser neue Strom ist nun wieder als selbständig aufzufassen und induziert daher seinerseits einen dritten Strom, der wiederum die erste Richtung von  $a_1$  nach  $a_2$  verfolgt, und so geht es weiter.

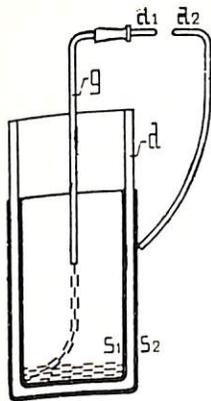


Fig. 6.

Auch hier kann man vergleichsweise ähnliche Vorgänge bei dem obenerwähnten Beispiel des Dampfüberganges (Fig. 3) heranziehen. Tritt nämlich der Dampf aus Kugel  $a_1$  nach  $a_2$  über, so wird auch diese Bewegung nicht sofort unterbrochen, sobald der eigentliche Zustand des Ausgleiches erreicht ist. Der Dampf aus Kugel  $a_1$  wird vielmehr infolge des Gesetzes von der Trägheit noch weiter auf die entgegengesetzte Seite strömen und so daselbst einen Überdruck erzeugen, der dann im nächsten Augenblick eine entgegengesetzte Dampfbewegung hervorbringt. Diese aber wird ihrerseits wiederum eine entsprechende Wirkung hervorbringen, so dass also auch hier der Ausgleich des Dampfes mittels oscillierender Bewegungen erfolgt und demnach die Trägheit sich mit der Selbstinduktion in Vergleich stellen lässt.



Fig. 7. Leydener Flasche.

Rein mathematisch hat bereits William Thomson, jetzt Lord Kelvin, im Jahre 1855 die Bedingungen für das gegenseitige Verhältnis von Widerstand, Selbstinduktion und Kapazität eines Stromkreises, in welchem ein elektrischer Funkenübergang stattfindet und den oscillatorischen Charakter des letzteren aufgestellt.\* Feddersen mit seinen

\*) Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität 1898, Band IV, Seite 289.

Spiegelversuchen 1857 und Paalzow, durch die Trennung der innerhalb einer Geisslerschen Röhre in verschiedenen Richtungen strömenden Elektrizitäten mittels des Magnetismus, haben dann den experimentellen Nachweis erbracht.

### Dämpfung.

Ein jeder Funke besteht also aus einer Anzahl von Oscillationen, und zwar derart, dass die bei jeder Oscillation wirkenden Elektrizitätsmengen  $Q$  (Fig. 8) mehr und mehr abnehmen, während die Schwingungsdauer  $T$  jeder Oscillation die gleiche bleibt. Den Unterschied je zweier aufeinander folgenden Amplituden dieser Oscillationen, also

z. B.  $Q_1 - Q'_1$  bezeichnet man als Dämpfung und mathematische Erwägungen haben zu der Erkenntnis geführt, dass für ein und denselben Funken das Verhältnis dieser Amplituden, Dämpfungsverhältnis genannt, immer gleich bleibt, also:

$$Q_1 : Q'_1 = Q_2 : Q'_2 = Q_3 : Q'_3 \text{ etc.}$$

Die Dämpfung bedeutet

dabei eine Verminderung der bei dem Funkenübergang geleisteten Arbeit, und es ist zunächst zu untersuchen, was diese abgegebene Arbeit darstellt.

Jeder Stromkreis hat einen durch Art und Abmessung seiner einzelnen Teile bestimmten Widerstand. Dies gilt auch von dem Stromkreis, in dem ein Funkenübergang stattfindet. Die zur Überwindung dieses Widerstandes bei einer gewissen Elektrizitätsmenge erforderliche Arbeit kommt in einer Erwärmung des Leiters zum Ausdruck. Ist  $W$  der Widerstand der gesamten Leitung eines Stromkreises und  $J$  die Stromstärke der durch denselben fließenden Elektrizitätsmenge, so ist nach dem Joule'schen Gesetz die für die Erwärmung aufzuwendende elektrische Arbeit gleich  $J^2 W$ . Würde keinerlei weiterer Verbrauch elektrischer Energie auftreten, so würde die Dämpfung ( $Q_1 - Q'_1$  etc., Fig. 8) für jede Oscillation genau der jeweilig in Wärme umgewandelten Elektrizität entsprechen. Es würden dann also ausser der Erwärmung der

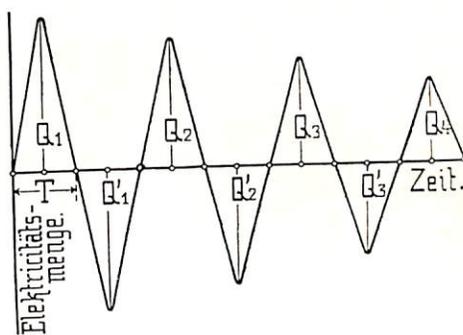


Fig. 8.

Leitung keinerlei weitere Wirkungen des elektrischen Funkens vorhanden sein können. Nun hat aber bereits Faraday darauf hingewiesen und durch seine Versuche der elektrischen Induktion zwischen zwei räumlich von einander getrennten Leitern bestätigt gefunden, dass jeder Änderung, jeder Verschiebung der Elektrizität, wie sie insbesondere bei Entstehen und Verschwinden irgend eines elektrischen Stromes stattfindet, auch eine nach aussen auftretende Wirkung zukommt. Diese bereits oben erwähnten Induktionserscheinungen hat dann Maxwell in seiner elektromagnetischen Lichttheorie mathematisch fest begründet. Er kam dabei zu dem Ergebnis, dass die Elektrizität sich ganz ähnlich wie das Licht verhalten müsse, dass der bereits von Newton und Hughsens für die Erklärung der Lichterscheinungen als Hypothese vorausgesetzte Äther auch als Träger der Elektrizität anzusehen sei. In der That wurde diese Theorie durch die epochemachenden Versuche von Hertz im Jahre 1888\*) voll bestätigt. Hertz wies nach, dass bei der Verschiebung der Elektrizität auf einem Leiter, wie sie z. B. bei Funkenbildungen (Fig. 1 und 5), und zwar in sehr kräftiger Weise bewirkt wird, die nach aussen gestrahlte Elektrizität als transversale in die Luft, in den Raum hinaustretende Wellenbewegung sich auffassen lässt, genau wie das Licht, nur mit grösseren Wellenlängen. Er zeigte ferner, dass die von einem Funken-erzeuger, auch Erreger, Oscillator oder Radiator genannt, ausgehenden wellenförmigen elektrischen Strahlen sich genau so brechen und reflektieren lassen, wie Lichtstrahlen, und dass auch andere Erscheinungen des Lichtes, so die Interferenz, die Polarisation etc. den elektrischen Strahlen zu eigen sind.

Der durch die Dämpfung angegebene Gesamtverbrauch an Elektrizität ( $Q_1 - Q_2$  etc., Fig. 8) setzt sich also aus zwei Teilen zusammen:

1. Dem für Erwärmung der Leitung (einschliesslich der Funkenstrecke) aufgewendeten Teil;
2. dem für Ausstrahlung verwendeten Teil.

Abgesehen ist hierbei von dem geringen, als Ladung in den Leitern zurückbleibenden Teil.

Bei der Funkentelegraphie ist nun die Einrichtung derartig, dass

\*) Hertz, Sitzungsbericht der Berliner Akademie, 2. Febr. 1888.

der erstere Teil fast verschwindend klein wird, so dass die Dämpfung fast nur der ausgestrahlten elektrischen Energie entspricht.

**Induktor.**

Die Erzeugung des Funkens selbst geschieht mittels eines Induktors (Fig. 9), dem entweder Wechselstrom, oder unterbrochener Gleichstrom zugeführt wird. In letzterem Falle gestaltet sich der Vorgang folgendermassen: In die primäre Wicklung  $b_1$  (Fig. 10) des Induktors werden mittels des Unterbrechers  $u$  in sehr schnellen Zwischenräumen

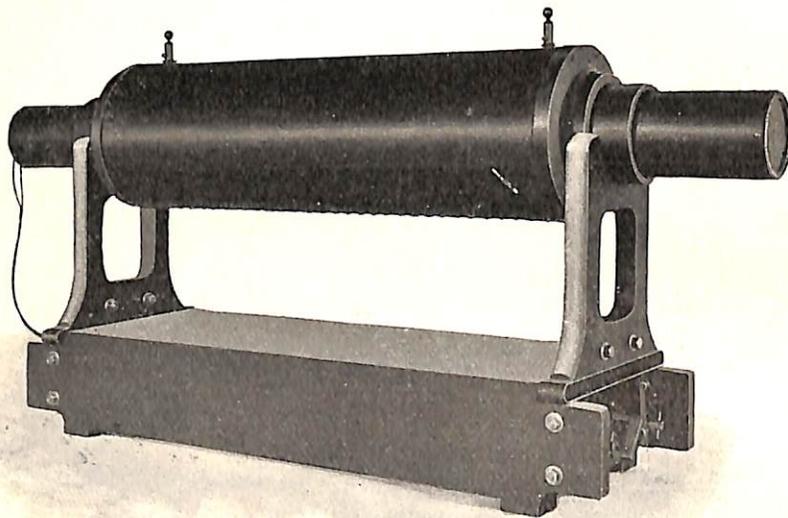


Fig. 9. Induktor.

kurze Gleichstromimpulse hineingesandt. Um den bei Öffnung des Unterbrechers auftretenden, durch Selbstinduktion entstehenden Extrastrom dabei möglichst abzuschwächen und eine Funkenbildung am Unterbrecher zu vermeiden, ist mit letzterem ein Kondensator  $c_2$  parallel geschaltet. Jeder Impuls in der primären Spule  $b_1$  bewirkt nun die Erzeugung einer elektrischen Potentialdifferenz in der sekundären Windung  $b_2$  des Induktors und damit die Ladung der Kugeln  $a_1$  und  $a_2$ , sowie die Erzeugung eines Funkens zwischen diesen. Der Verlauf desselben gestaltet sich entsprechend Fig. 8, so dass also die sekundäre Wicklung des Induktors die eigentliche Kraftquelle für den Funken bildet. Zur

Verstärkung seiner Wirkung ist der Induktor mit einem Eisenkern  $b$  ausgerüstet.

Da die Spannungen in der sekundären Wicklung selbst bei kleinen zu durchschlagenden Luftstrecken (S. 9) zu einer ausserordentlichen Höhe anwachsen, so ist auf Anordnung und Isolation der Leitungsdrähte die grösste Sorgfalt zu verwenden. Die Drähte werden daher hier als einzelne, durch gute Isolatoren  $g$  voneinander getrennte Spulen  $b_2$  hergestellt (Fig. 10) und derartig angeordnet, dass die Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Drahtlagen möglichst gering sind.

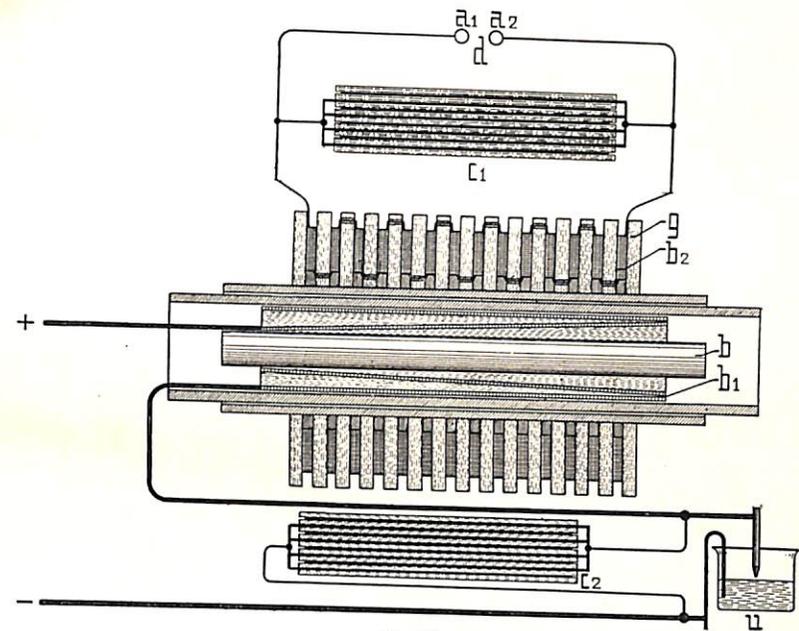


Fig. 10.

Das in Abbildung Fig. 10 dargestellte allgemeine Schaltungsschema eines Funkeninduktors giebt gleichzeitig die ausführlichere Darstellung der Abbildungen Fig. 1 und 5.

**Unterbrecher.**

Als Unterbrecher, der also den Strom für die primären Wicklungen des Induktors zu unterbrechen hat, wurde zuerst die als Neef'scher Hammer bekannte Anordnung verwendet. Bei derselben fliesst der Strom von der Stromquelle  $S$  (Fig. 11) aus durch die Primärwindung  $b_1$  des Induktors über den Hammer  $h$  und Kontakt  $k$  nach

S zurück. Durch den hierbei magnetisierten Eisenkern *b* des Induktors wird Hammer *h* angezogen und Kontakt *k* unterbrochen. Der somit entstehende Öffnungsstrom giebt den Impuls für die Funkenbildung im sekundären (in Fig. 11 nicht mit dargestellten) Stromkreis der Funkenstrecke. Durch das Anziehen des Hammers *h* ist aber gleichzeitig Kontakt *k* geöffnet und der Strom unterbrochen worden. Der Eisenkern *b* verliert daher seinen Magnetismus und lässt den Hammer los, der den Kontakt *k* und damit den Stromkreis für einen neuen Impuls wieder schliesst. Hierauf wiederholt sich der Vorgang von neuem, wobei man es durch mehr oder weniger Anspannen der Feder des Hammers *h* oder durch Verstellen des Gewichtes an dem-

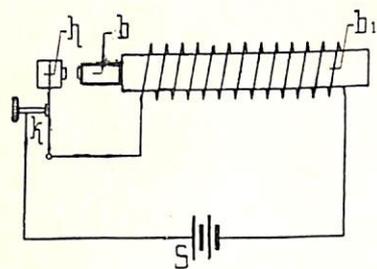


Fig. 11.

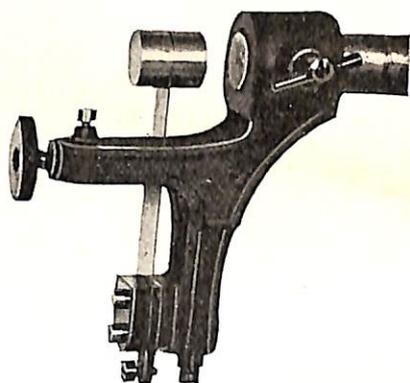


Fig. 12. Hammerunterbrecher.

selben in der Hand hat, die Aufeinanderfolge der Unterbrechungen zeitlich zu regeln.

Diese Unterbrechervorrichtung selbst (Fig. 12) wird direkt am Induktor angebracht. Sie findet jedoch in der Funkentelegraphie nur bei kleineren Leistungen, bei Demonstrationsapparaten und dergleichen Verwendung, da für grössere Leistungen der Kontakt *k*, selbst wenn er durch Platinplättchen geschützt ist, sich zu schnell abnutzt.

Für grössere Leistungen ist daher ein Quecksilberunterbrecher zweckmässiger, bei welchem das Ein- und Ausschalten des primären Stromkreises durch einen in Quecksilber ein- und austauchenden Metallstift bewirkt wird. Der Strom nimmt dabei von der Stromquelle *S* seinen Weg durch die Primärwindungen *b<sub>1</sub>* (Fig. 13), den Elektro-

magneten *g*, den Stift *h*, den Quecksilberkontakt *k* zur Stromquelle zurück. Hierdurch wird der Anker des Stiftes *h* angezogen, Stift *h* aus dem Quecksilber herausgerissen und der Strom unterbrochen. Mit der Unterbrechung verliert aber Magnet *g* seinen Magnetismus, lässt Stift *h* los, der nun wieder in das Quecksilber taucht, somit einen neuen Stromimpuls bewirkend.

Diese Quecksilberunterbrecher sind aber ebenso wenig wie die oben beschriebenen Hammerunterbrecher (da beide im günstigsten Falle nur bis zu 40 Unterbrechungen in der Sekunde zulassen) geeignet, die Unterbrechungen so rasch und bei so grossen Stromstärken zu bewirken, wie es die Funkentelegraphie für grössere Leistungen und Entfernungen erfordert.

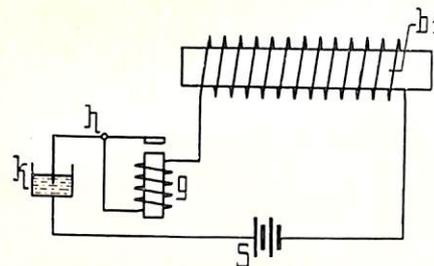


Fig. 13.

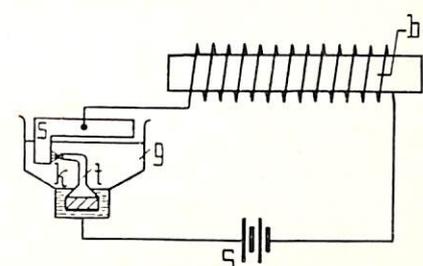


Fig. 14.

Allen Anforderungen in dieser Beziehung entspricht dagegen ein eigenartiger Quecksilberunterbrecher, bei welchem an Stelle der hin- und hergehenden Bewegungen eine drehende Bewegung stattfindet und das kontaktbildende Quecksilber selbst an der Drehung mit teilnimmt. Bei diesem durch die Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft hergestellten Turbinen-Unterbrecher taucht ein rechtwinkelig gebogenes Metallrohr *t* (Fig. 14) mit dem unteren Teile seines vertikalen Schenkels in Quecksilber, welches mit einer schlecht leitenden Flüssigkeit (Alkohol) so hoch bedeckt ist, dass auch der horizontale Schenkel noch innerhalb dieser Flüssigkeit sich befindet. Wird das Rohr in genügend schnelle Umdrehung um die Achse seines vertikalen Schenkels versetzt, so erfolgt ein Ansaugen des Quecksilbers. Der untere Teil des Saugrohres ist dabei nach Art eines Turbinenrades mit Flügeln versehen (Fig. 15). Das angesaugte Quecksilber wird nun durch die Centrifugal-

kraft aus dem horizontalen Schenkel in Form eines kräftigen Strahles herausgeschleudert. Wird um diese Turbine ein Metallring *s* (Fig. 14) derartig angeordnet, dass er ausserhalb des Quecksilbers sich befindet, während er gleichzeitig in der Höhe des ausspritzenden Rohres mit Aussparungen versehen ist, so wird der Quecksilberstrahl, indem er abwechselnd auf den Metallring trifft oder durch die Aussparungen hindurchspritzt, als Unterbrecher wirken können. Hierzu ist das Quecksilber mit dem einen Pol der Stromquelle und der Metallring mit der primären Wicklung des Induktors zu verbinden. Der Strom verläuft dann von der Strom-

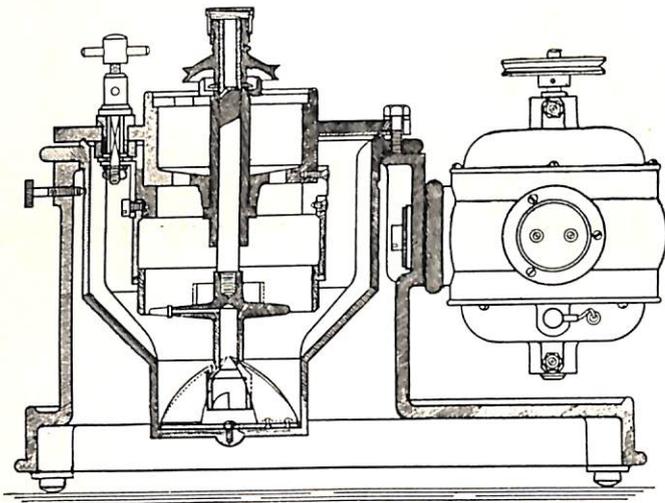


Fig. 15.

quelle *S* (Fig. 14) durch die Primärwicklung  $b_1$  nach dem Metallring *s*, durch das ausspritzende Quecksilber *k* und Metallrohr *t* nach der Stromquelle *S* zurück. Sobald dagegen das Quecksilber durch eine Ringaussparung spritzt, ist der Kontakt unterbrochen. Diese Unterbrechung findet in dem mit Alkohol gefüllten Raume statt, wodurch eine schädliche Funkenbildung hier möglichst vermieden ist. Je nach der Zahl der Umdrehungen der Turbine und der Zahl der Aussparungen in dem konzentrischen Ringe lässt sich die Anzahl der Unterbrechungen mit Leichtigkeit in den Grenzen zwischen 10 und 1000 in der Sekunde ändern.

Turbine (Fig. 16) und Metallring (Fig. 18) sind an den Deckel (Fig. 15) des Quecksilber und Alkohol enthaltenden Unterbrechergefässes

(Fig. 17) befestigt. Je nach der Dauer, welche man der Unterbrechung geben will, wird die Aussparung an dem Ringe grösser oder kleiner gehalten (Fig. 18). Ebenso lassen sich auch an einem Ringe zwei oder mehrere Aussparungen anbringen. Der Antrieb des Turbinen-Quecksilberunterbrechers erfolgt mittels Schnurübertragung von einem kleinen Elektromotor aus, welcher direkt an dem Gehäuse des Unterbrechers befestigt ist (Fig. 15 und 19).

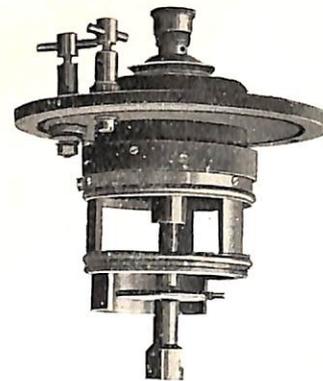


Fig. 16. Turbine.



Fig. 17. Gehäuse.

Auf elektrolytischer Wirkung beruht ein anderer Unterbrecher, der Wehnelt-Unterbrecher. Bei diesem taucht in ein Gefäss voll verdünnter Schwefelsäure einerseits eine Bleiplatte *p* (Fig. 20) und anderer-

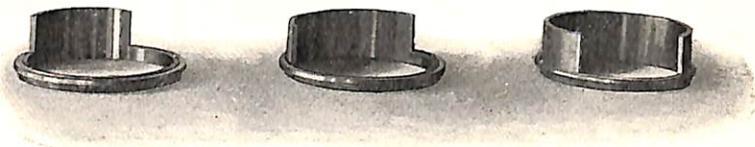


Fig. 18. Ringe zum Turbinen-Unterbrecher.

seits ein Glas- oder Porzellanrohr *a*, durch welches ein Draht hindurchgeführt ist, der eine etwas aus dem Rohre hervorragende Platinspitze *k* besitzt. Der Strom verläuft nun von der Stromquelle *S* durch die Primärwindungen  $b_1$  nach der einen Elektrode *a*, tritt bei *k* in den Elektrolyten, im vorliegenden Falle verdünnte Schwefelsäure, und kehrt über die zweite Elektrode *p* zur Stromquelle *S* zurück. Der Leitungsteil *k* bildet also, da hier der Strom eintritt, die Anode, *p* die Kathode. Bei seinem Durchgange bringt der Strom die in unmittelbarer Nähe

der Anode  $k$  befindliche dünne Schicht des Elektrolyten infolge der hier entstehenden grossen Wärme zum Verdampfen. Der schlecht leitende Dampf unterbricht den Strom, indem gleichzeitig ein Öffnungsfunke entsteht, welcher das Dampfgemenge zur Explosion bringt und somit von der Anode  $k$  hinwegschleudert. Der Elektrolyt kann infolge dessen wieder an Stift  $k$  heran und ein neuer Stromstoss tritt in Wirkung.

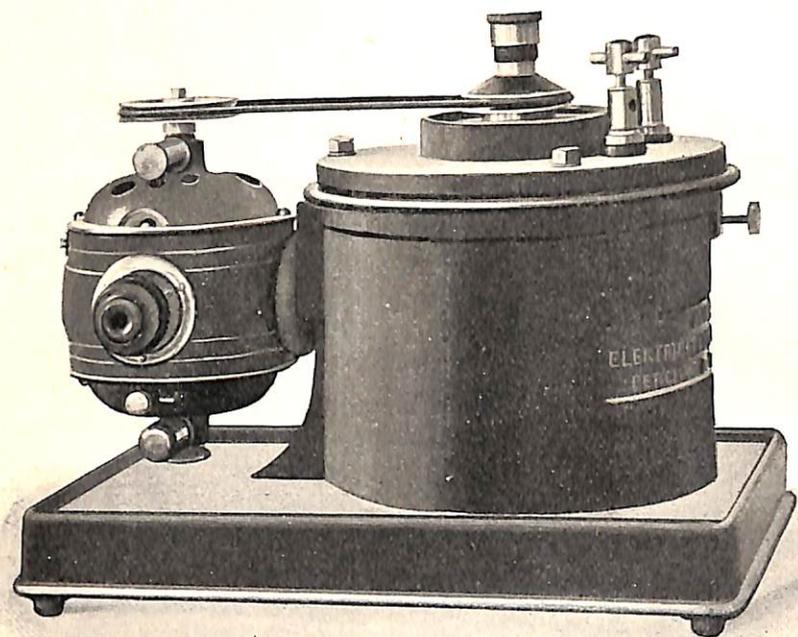


Fig. 19. Turbinen-Unterbrecher.

Die zum Verdampfen erforderliche Wärme bildet sich teils durch Erwärmung der stromführenden Teile entsprechend dem Jouleschen Gesetz, zum grössten Teile aber durch den Peltier-Effekt,<sup>\*)</sup> nach welchem bei elektrolytischen Vorgängen an der Anode unter gewissen Umständen eine lebhafte Wärmeentwicklung stattfindet, an der Kathode dagegen eine Abkühlung. Es ist dies auch der Grund, weshalb bei dem Wehnelt-Unterbrecher das Rohr  $a$  mit dem Platinstift  $k$  immer als Anode benutzt werden muss.

<sup>\*)</sup> Klupathy: Zur Theorie des Wehnelt-Unterbrechers. Annalen der Physik, 1902. Band 9, Heft 1, Seite 147.

Der Wehnelt-Unterbrecher wird ausser mit einer (Fig. 20) in entsprechender Weise auch mit zwei (Fig. 21) oder drei (Fig. 22) Anoden hergestellt, die dann an einem gemeinsamen Arme befestigt sind und einzeln oder zusammen eingeschaltet werden können.

Mit dem Wehnelt-Unterbrecher lassen sich sehr grosse Unterbrechungszahlen, 260 bis 2000 in der Sekunde, erzielen.

Für die Funkentelegraphie erscheint indessen der Turbinen-Unterbrecher am zweckmässigsten, da er dauernd ohne Unterbrechung in Betrieb gehalten werden kann, während bei dem Wehnelt-Unterbrecher durch zu langen Betrieb oder durch Überlastung eine zu grosse Erhitzung der Anode eintreten kann und dann ein Abschmelzen derselben zu fürchten ist. Auch ist in mechanischer Beziehung der Turbinen-Unterbrecher besser geeignet, äusseren Einwirkungen, Stössen und dergleichen, wie sie in der Praxis, insbesondere an Bord von Schiffen, unvermeidlich sind, zu widerstehen.

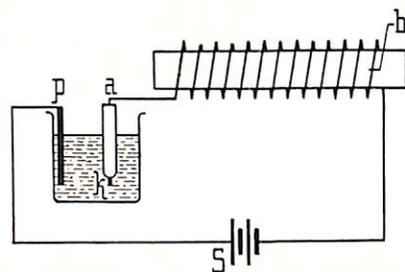


Fig. 20.

### Hertzscher Resonator.

Mit Hilfe der vorbeschriebenen Apparate lassen sich nun Erreger in zweckmässiger Weise herstellen. [Um ferner die von diesem ausgehenden elektrischen Wellen im Raume nachweisen und verwenden zu können, sind gleichfalls besondere Apparate erforderlich. Faraday und Maxwell haben diese Erscheinungen mit ihren weit voraussehenden Forscheraugen zwar schon erkannt, sie durch die Thatsachen nachzuweisen und so die Grundlagen des grossartigen Gebäudes der elektromagnetischen Lichttheorie zum Abschluss zu bringen, gelang aber erst, wie schon oben (S. 15) erwähnt, Heinrich Hertz, und zwar eben durch denjenigen Apparat, mit dem er die Existenz der elektrischen Wellen im Raume nachwies, mit seinem Resonator  $R$  (Fig. 23). Dieser ganze Apparat stellt sich in wunderbarer Einfachheit dar als ein zusammengebogener Draht, der an einer Stelle unterbrochen und hier mit gegenüberstehenden kleinen Metallkugeln,  $c_1$  und  $c_2$ , ausgerüstet war. Als Wellenerzeuger verwendete Hertz

eine Funkenstrecke, wie in Fig. 1 dargestellt; vergrößerte jedoch die Kapazität der kleinen Kugeln  $a_1$  und  $a_2$ , indem er sie mit größeren Kugeln,  $s_1$  und  $s_2$ , verband. Wurde nun in diesem so gebildeten Oscillator  $O$  ein Funkenübergang (mittels des Induktors  $b$ ) bewirkt, so zeigte sich an der Funkenstrecke  $c_1 c_2$  des Resonators, wenn letzterer in bestimmter Stellung zum Oscillator gehalten wurde, gleichfalls ein Funkenübergang. Die Kugeln  $c_1$  und  $c_2$  mussten dabei allerdings ganz ausserordentlich nahe beieinander stehen, denn das entstehende Fünkchen war so klein,

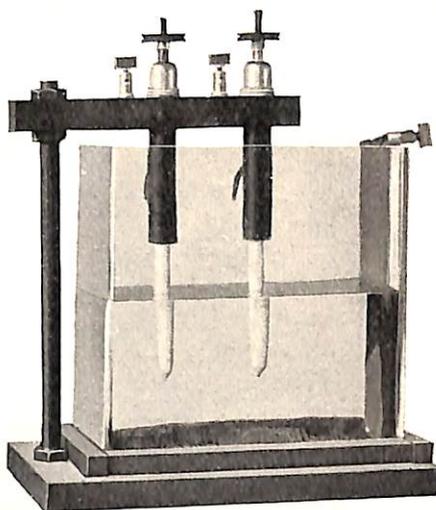


Fig. 21. Wehnelt-Unterbrecher mit zwei Anoden.

dass es nur im dunklen Raume und nur von einem geschonten Auge, d. h. einem Auge, welches längere Zeit im dunklen Raume sich ausgeruht hatte, bemerkt werden konnte.

Wenn hiermit nun auch die Übertragung elektrischer Wellen und die elektrische Induktion von einem als Geber wirkenden Funkenstromkreis auf einen Empfänger durch den freien Raum hindurch nach-

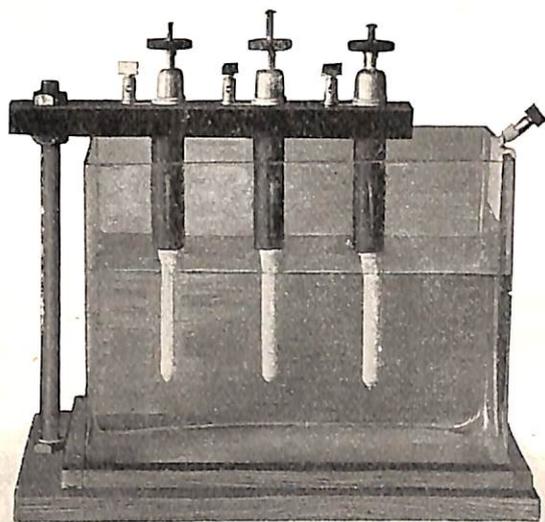


Fig. 22. Wehnelt-Unterbrecher mit drei Anoden.

gewiesen war, so konnte doch bei der Zartheit der auftretenden Erscheinungen dieser Erfolg der reinen Wissenschaft zunächst keine Bedeutung für das praktische Leben gewinnen.

### Fritter.

Da entdeckte im Jahre 1890 Branly eine eigentümliche Eigenschaft loser, in einer Glasröhre übereinander geschichteter Metallteilchen, wie Eisen-, Nickel- oder Silberfeilspäne. Eine solche Schicht  $p$  (Fig. 24) setzt dem Durchgang eines elektrischen Stromes von entsprechender Stärke und Spannung einen unüberwindlichen Widerstand entgegen. Bringt man daher die kleinen Metallteile  $p$  in der Röhre  $r$  zwischen metallische Anschlussplatten  $q_1$  und  $q_2$  und schliesst letztere an eine

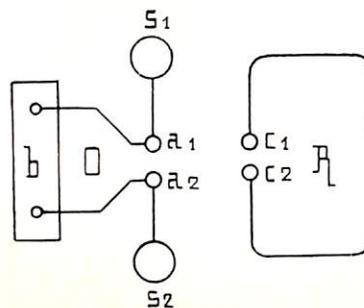


Fig. 23.

Stromquelle  $S$  und ein Galvanometer  $G$  an, so wirken die Metallteilchen zunächst wie ein Ausschalter, so dass im Galvanometer kein Ausschlag sich zeigt. Sobald aber diese Röhre, die ihr Erfinder Radiokondaktor nannte, von elektrischen Strahlen, wie sie ein Funkenstromkreis, ein Hertzscher Oscillator aussendet, getroffen wird, wird sie zu

einem Leiter des elektrischen Stromes und das Galvanometer schlägt aus. Eine leise Erschütterung der Röhre nach erfolgter Bestrahlung stellt den früheren Zustand wieder her, nach welchem also die Röhre wiederum als vollständiger Widerstand wirkt.

Eine befriedigende Erklärung dieser eigentümlichen Erscheinung vermochte bisher noch nicht gegeben zu werden.

Lodge nimmt an, dass unter dem Einfluss der elektrischen Wellen in den feinen Metallteilchen elektrische Ladungen auftreten, die zu ganz feinen Funken Veranlassung geben. Durch diese Funken werden die sehr nahe beieinander liegenden Teilchen in zartester Weise zusammengeschmolzen; es bilden sich zwischen ihnen äusserst feine Brücken, die indessen für das Zustandekommen eines Stromes in einem angeschlossenen Kreise genügen. Da also hier eine Art Kohäsionswirkung vorliegen würde, so hat Lodge für das Branlysche Instrument den Namen

Kohärer gewählt. Auf Veranlassung Slabys ist dann dieser Name durch Reuleaux in Fritter verdeutscht worden, und in der That lässt sich ja auch die nach der Erklärung von Lodge auftretende Wirkungsweise der Metallteilchen als ein Zusammenfritten derselben bezeichnen.

Bei dem Aufhören der elektrischen Wellen bleiben aber die einzelnen Teilchen im Zusammenhang. Um den Strom zu unterbrechen, ist es deshalb erforderlich, den Fritter durch einen leichten Schlag oder Stoss zu erschüttern, wodurch die feinen vorher gebildeten Brücken sofort zusammenfallen. Das Instrument hat somit wiederum seinen ursprünglichen Zustand als Nichtleiter erlangt, es ist entfrittet worden.

### Marconis erste Telegraphie ohne Draht.

Marconi benutzte als erster einen derartigen Fritter, um auf grössere Entfernungen praktisch zu telegraphieren, indem er dem Instrument diejenige Gestalt gab, die es im wesentlichen noch heute besitzt. Er schloss eine Mischung von Pulver aus Hartnickel und Silber in eine Glasröhre (Fig. 25) zwischen zwei Kolben aus Silber ein, wobei die zwischenliegende Schicht nur etwa eine Dicke von einem halben Millimeter hatte. Die Röhre wurde hierauf luftleer ausgepumpt und zugeschmolzen, während zwei mit Silberkolben verlötete Platindrähte die Zuleitung bewirkten.

Das unzweifelhafte Verdienst Marconis besteht darin, dass er unter Anwendung des eben beschriebenen Fritters, sowie unter Benutzung lang ausgestreckter Drähte, mit denen er Geber sowohl wie Empfänger ausrüstete, als erster ein Telegraphieren durch den freien Raum mit sicherer technischer Wirkung ermöglichte, wie es seine Versuche auf der Rhede von Spezia im Jahre 1896 klar erwiesen haben.

Die Anordnung und Wirkungsweise war dabei folgende: Der Geber enthält die Funkenstrecke  $d$  (Fig. 26), welche mit den sekundären Wicklungen des Induktors  $b$  verbunden ist. Im primären Stromkreise liegt die Stromquelle  $S_1$  und der Taster  $t$ . An der einen Seite der

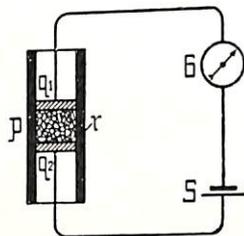


Fig. 24.

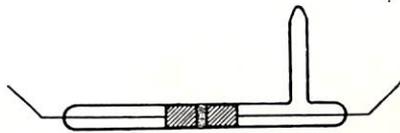


Fig. 25.

Funkenstrecke ist ferner der lang ausgestreckte gerade Draht  $a_1$  angeschlossen, während die andere Seite der Funkenstrecke bei  $E$  an die Erde gelegt ist.

Im Empfänger ist der Fritter  $f$  an einer Seite ebenfalls in Verbindung gebracht mit einem lang ausgestreckten senkrechten Draht  $a_2$  und die andere Seite geerdet. An den Fritter ist ausserdem ein Stromkreis mit Relais  $r_1$  und Stromquelle  $S_2$  angeschlossen, wobei das Relais  $r_1$  einen weiteren Stromkreis mit Stromquelle  $S_3$  und den Relais  $r_2$  und  $r_3$ , letzteres für den Morseschreiber  $M$ , betätigen kann.

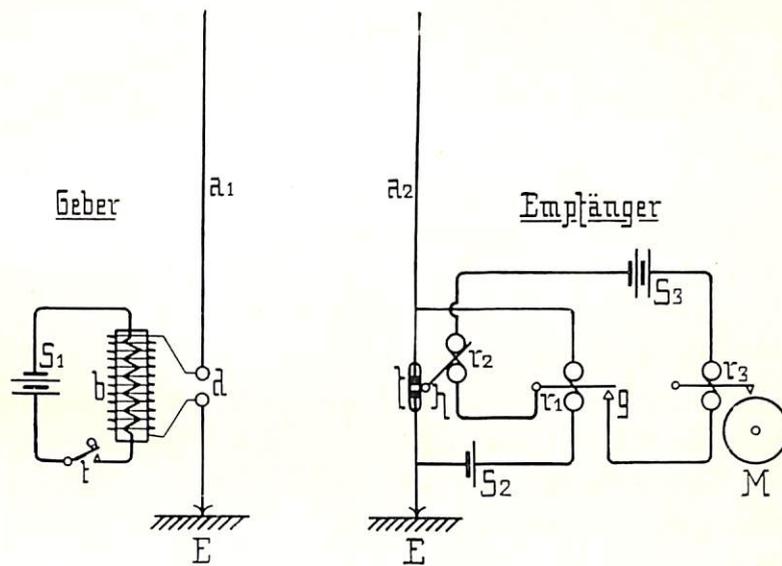


Fig. 26. Marconis erste Schaltung.

Wird nun im Geber der Taster  $t$  niedergedrückt, so springt bei  $d$  ein Funken über, wodurch Draht  $a_1$  in elektrische Schwingungen gerät und elektrische Wellen aussendet. Diese treffen zum Teil auf den Draht  $a_2$  im Empfänger, gelangen hierdurch zur Einwirkung auf den Fritter  $f$ , so dass der Stromkreis  $S_2 f r_1$  geschlossen und das Relais  $r_1$  zur Wirkung kommt. Der angezogene Anker desselben schliesst den Kontakt  $g$  und damit den Stromkreis  $S_3 r_2 g r_3$ , womit auch das Relais  $r_3$  zu wirken beginnt und ein Zeichen durch den Morseschreiber  $M$  hervorbringt.

In dem letztgenannten Stromkreis befindet sich also auch das Relais  $r_2$ , dessen Anker mit einem Klöppel  $h$  ausgerüstet ist. Sobald durch Relais  $r_1$  und Kontakt  $g$  der Stromschluss stattfindet, schlägt durch Relais  $r_2$  der Klöppel  $h$  gegen den Fritter, letzteren erschütternd. Da aber die vom Geber kommenden Wellen weiter wirken, bleibt der Fritter in Thätigkeit und der Morseschreiber gibt ein fortlaufendes Zeichen, das ohne weiteres als Strich zu erkennen ist. Wird dagegen der Taster  $t$  im Geber wieder losgelassen, so hören die elektrischen Wellen auf und der Fritter bleibt nach dem letzten Schlage des Klöppels  $h$  entfristet, der Morseschreiber kommt also zur Ruhe.

Ein ganz kurzer Druck auf Taster  $t$  erzeugt in entsprechender Weise das Punktzeichen der Morseschrift.

Aus vorstehendem ist zu ersehen, dass die an Geber und Empfänger angeschlossenen Drähte einen wesentlichen Teil der Entdeckung Marconis bildet. Die Bezeichnung drahtlose Telegraphie oder Telegraphie ohne Draht ist daher ungenau, und Slaby sagt dafür richtiger Funkentelegraphie.

### Elektrische Schwingungen eines Drahtes.

Um zu erkennen, in welcher Weise die elektrischen Schwingungen in einem geradlinigen Drahte verlaufen, sei an die Funkenstrecke  $a_1 a_2$  (Fig. 27) einerseits das Drahtstück  $h_1 a_1$  und andererseits  $a_2 h_2$  angeschlossen. Die Länge jedes dieser beiden Drahtteile sei  $l$  cm. Wird nun die Funkenstrecke  $a_1 a_2$  in Thätigkeit gesetzt, so treten beim Überspringen des Funkens an jeder Stelle der beiden geraden Drähte elektrische Schwingungen auf.

Für einen beliebigen Punkt, der um die Strecke  $x$  von  $h_1$  entfernt ist, hat Slaby\*) bei seinen Untersuchungen folgende Gleichung für den Strom  $i$  zur Zeit  $t$  verwendet:

$$i = A \sin \left( \frac{\pi}{2l} x \right) \cdot e^{-\frac{W}{2L} t} \cdot \cos \left( \frac{\pi \cdot t}{\sqrt{CL}} \right).$$

Hierin bedeutet  $A$  den Maximalstrom, während  $W$ ,  $L$  und  $C$  Widerstand, Selbstinduktionskoeffizient und Kapazität der ganzen Schwingungsbahn darstellen.

\*) A. Slaby, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Funkentelegraphie. Elektrotechnische Zeitschrift 1902, Heft 9, Seite 165.

Der Faktor  $A \sin \left( \frac{\pi}{2l} x \right)$  zeigt dabei, dass es sich um einen harmonisch verlaufenden Strom handelt. Denn für  $x=0$  und für  $x=2l$  wird der Sinus und damit auch der Strom  $i$  jederzeit, also für jedes  $t$ , zu Null. Für  $x=l$  dagegen erreicht der Sinus seinen grössten

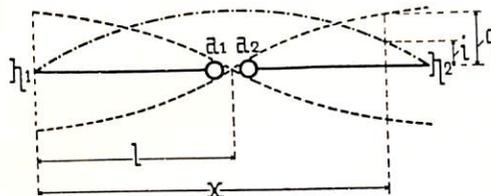


Fig. 27.

Wert (= 1), so dass also an dieser in der Mitte zwischen  $a_1$  und  $a_2$  gelegenen Stelle der Strom  $i$  seinen Maximalwert erreichen wird. Es bildet sich demnach für den Strom eine stehende Welle

mit dem Schwingungsbauch in der Mitte und mit Knotenpunkten an den Enden der Strecke  $h_1$  und  $h_2$ .

Der zweite Faktor  $e^{-\frac{W}{2L} t}$  lässt erkennen, dass der Strom mit der Zeit, also mit wachsendem  $t$ , eine Dämpfung (d. h. eine allmähliche Abnahme, entsprechend Fig. 8) erfährt.

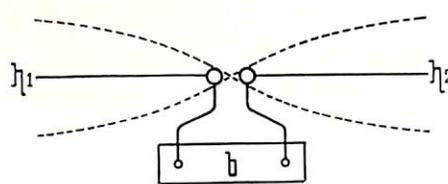


Fig. 28.

Der letzte Faktor endlich,  $\cos \left( \frac{\pi t}{\sqrt{CL}} \right)$  ergibt, wenn man für  $t$  die Schwingungsdauer  $T$  einsetzt, aus der Gleichung  $\frac{\pi}{\sqrt{CL}} \cdot T = 2\pi$  den Wert dieser Schwingungsdauer:

$$T = 2 \sqrt{CL}.$$

Nun ist für jede Wellenbewegung, wenn  $\lambda$  die Wellenlänge, d. h. den Abstand zweier aufeinander folgender Stellen mit gleicher Schwingungsphase, und  $v$  die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle bezeichnet  $\frac{\lambda}{T} = v$  oder für  $T$  seinen Wert eingesetzt:

$$\lambda = 2v \sqrt{CL} \text{ oder}$$

$$\lambda = 2 \sqrt{(v^2 \cdot C) L}.$$

Hierbei ist die Selbstinduktion  $L$  in Centimetern ausgedrückt (wie es nach den elektromagnetischen Einheiten der Fall ist). Soll die Kapazität auch in Centimetern gemessen werden, so ist der bisherige Wert  $C$  noch mit  $v^2$  zu multiplizieren und, da dieser Faktor in der Gleichung gerade vorhanden ist, so kann man statt  $v^2 C$  einfach schreiben  $C$  (wobei nun letzteres auch in Centimetern, aber in elektrostatischen Einheiten ausgedrückt ist). Es ist jetzt also:

$$\lambda = 2 \sqrt{CL}$$

$L$  lässt sich nun im vorliegenden Fall ausdrücken durch die Gleichung

$$L = 4 \cdot l \cdot \ln(2l:r)$$

und  $C$  durch die Gleichung

$$C = \frac{2l}{2 \cdot \ln(2l:r)}$$

wobei  $r$  den Drahtdurchmesser bedeutet.

Die Multiplikation beider Gleichungen ergibt:

$$CL = 4 \cdot l^2,$$

und dies in den Wert für  $\lambda$  eingesetzt, ergibt schliesslich:

$$\lambda = 2 \sqrt{4 \cdot l^2} = 4 \cdot l.$$

Diese Rechnung führt also zur vollen Bestätigung des folgenden, durch Experimente gefundenen Ergebnisses:

„Die Gesamtlänge eines schwingenden Drahtes bestimmt die halbe Wellenlänge der erzeugten Schwingungen; jede Drahthälfte ( $l = a_1 h_1 = a_2 h_2$ ) nimmt eine Viertelwellenlänge auf.“

Für die den Spannungen entsprechenden Ladungen  $Q$  ergibt sich die Gleichung:

$$Q = a \frac{\pi}{2l} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2l} \cdot x\right) \cdot \int_0^{\frac{T}{4}} e^{-\frac{W}{2L} t} \cdot \cos\left(\frac{\pi t}{\sqrt{CL}}\right) dt.$$

Das erste Glied enthält hier den Wert  $\cos\left(\frac{\pi}{2l} x\right)$ , während bei der Stromstärke der Wert  $\sin\left(\frac{\pi}{2l} x\right)$  vorhanden war. Es erfolgt also hier der Verlauf gleichfalls nach einem harmonischen Gesetz. Aber  $Q$  wird für  $x=0$  und für  $x=2l$  (da hier  $\cos\left(\frac{\pi}{2l} x\right)=1$  wird) zu einem Maximum und für  $x=l$  zu Null. Die Schwingungen gestalten sich hier also derart, dass die grössten Ausschläge an den Enden  $h_1$  und

$h_2$  erfolgen, hier also die Spannungsbäuche liegen, während in der Mitte des Ganzen zwischen  $a_1$  und  $a_2$  der Knoten sich befindet.

Das zweite Glied, das die Dämpfung angeht,  $e^{-\frac{W}{2L} t}$ , und das dritte Glied,  $\cos\left(\frac{\pi t}{\sqrt{CL}}\right)$ , aus welchem die Schwingungsdauer gefunden wird, sind gleich den entsprechenden Gliedern in der Gleichung für den Strom  $i$ . Die Schwingungsdauer ist also bei Stromstärke und Spannung die gleiche, und ebenso decken sich die Dämpfungswerte. Auch hier ist endlich wiederum die Drahtlänge  $l$  ( $h_1 a_1 = a_2 h_2$ ) gleich eine Viertelwellenlänge.

Jeder Draht, der durch eine angeschlossene Funkenstrecke erregt wird (Fig. 27), hat also eine ganz bestimmte Eigenschwingung, der gleichzeitig auch die von ihm in den Raum hinausgesandten elektrischen Wellen entsprechen. Treffen nun diese Wellen auf einen anderen Draht  $h'_1 h'_2$  (Fig. 28), so suchen sie auch diesen, infolge der bereits oben erwähnten Induktionserscheinungen, in Schwingungen zu versetzen. Dieser zweite empfangende Draht ist aber durch seine Dimensionierung gleichfalls nur für besondere Schwingungen geeignet, was ohne weiteres klar wird, wenn man diesen Draht an Stelle des gebenden Drahtes  $h_1 h_2$  (Fig. 27) setzt. Durch den Funken erschüttert, wird er dann in die ihm eigentümlichen Schwingungen versetzt werden.

Die Verteilung von Spannung und Stromstärke in dem induzierten Draht  $h'_1 h'_2$  (Fig. 28) ist dabei ganz entsprechend derjenigen des induzierenden Drahtes  $h_1 h_2$ . Der grösste Ausschlag der Spannungsschwingungen befindet sich an den Drahtenden (Fig. 28), während das Maximum der Stromschwingungen in der Mitte zwischen  $h_1 h_2$ , bzw.  $h'_1 h'_2$  liegt. (In Fig. 28 nicht gezeichnet.)

Mechanisch lassen sich die hierbei auftretenden Vorgänge veranschaulichen an einem in der Mitte festgeklemmten geraden Stahldraht. Wird gegen diesen ein Schlag geführt, so gerät er in mechanische Schwingungen, deren Schwingungszahl um so länger oder kürzer ist, je nachdem Länge und Durchmesser des Drahtes grösser oder kleiner gewählt sind. Der die Erschütterungen hervorrufende Schlag entspricht bei dem elektrischen System dem Funken des gebenden Drahtes, bzw. den ankommenden

Wellen bei dem empfangenden Draht. Die Bewegungsausschläge des mechanischen Drahtes, die an den Enden am stärksten sind, entsprechen den elektrischen Spannungen; den Biegungsbeanspruchungen, die ihren höchsten Wert in der Mitte des mechanischen Drahtes erreichen, sind dagegen in ihrem Verhalten den elektrischen Strömen zu vergleichen.

**Resonanz.**

Es hat sich nun gezeigt, dass die auf den empfangenden Draht übertragene Energie am kräftigsten zur Wirkung gelangt, wenn die Eigenschwingungen dieses Drahtes mit denjenigen des gebenden Drahtes möglichst genau übereinstimmen, d. h. also beide Drähte gleiche Schwingungszahlen besitzen oder beide Drähte in Resonanz sind.

**Geber.**

Die Einrichtung des Gebers war bei den ersten Versuchen und Anwendungen der Funkentelegraphie derartig, dass der Sendedraht  $a_1$  (Fig. 26) direkt an die Funkenstrecke  $d$  angeschlossen wurde. Die Anordnung war also genau entsprechend derjenigen eines Hertz'schen Oscillators ( $O$ , Fig. 23), bei welchem die eine Kugel  $s_1$  durch den Sendedraht ( $a_1$ , Fig. 26) und die andere Kugel  $s_2$  durch Anschluss an Erde ( $E$ , Fig. 26) ersetzt ist.

Sehr bald wurde aber eine Geberordnung angenommen, bei welcher der in Schwingungen zu versetzende Sendedraht durch einen besonderen, mit ihm verbundenen, gekuppelten Schwingungskreis erregt wird. Die Erzeugung der elektrischen Schwingungen erfolgt dabei also nicht in dem, eine starke Dämpfung besitzenden Sendedraht selbst, sondern in einem primären Stromkreise mit schwacher Dämpfung aber grosser Kapazität, d. h. grosser aufgespeicherter elektrischer Energie. Die Kuppelung kann dabei auf zweierlei Art ausgeführt werden, nämlich in indirekter oder direkter Weise.

Bei der indirekten Kuppelung, die zuerst Braun für die Funkentelegraphie verwendete, findet ein für hohe Wechselzahlen und Spannungen geeigneter Transformator, wie ihn Tesla für seine Versuche gebrauchte, Anwendung. Die Primärwicklung dieses Transformators  $u$  (Fig. 29) steht mit der Funkenstrecke in Verbindung, während an die sekundäre Spule die beiden Hälften des Sendedrahtes  $a_1 a_1$  angeschlossen sind.

Diesem Geber gegenüber befindet sich der entsprechend dimensionierte Empfängerdraht  $a_2 a_2$ .

Bei überspringenden (durch Induktor  $b$  erzeugten) Funken wird die primäre Windung des Transformators  $a'$  von raschen Strömen durchflossen, welche infolge der elektromagnetischen Induktion entsprechende elektrische Verschiebungen in der sekundären Windung dieses Transformators, sowie in den beiden Teilen des angeschlossenen Drahtes  $a_1 a_1$  erzeugen und letzteren daher zum Schwingen und Ausstrahlen veranlassen. Das indirekte System beruht demnach auf einer induktiven Kuppelung.

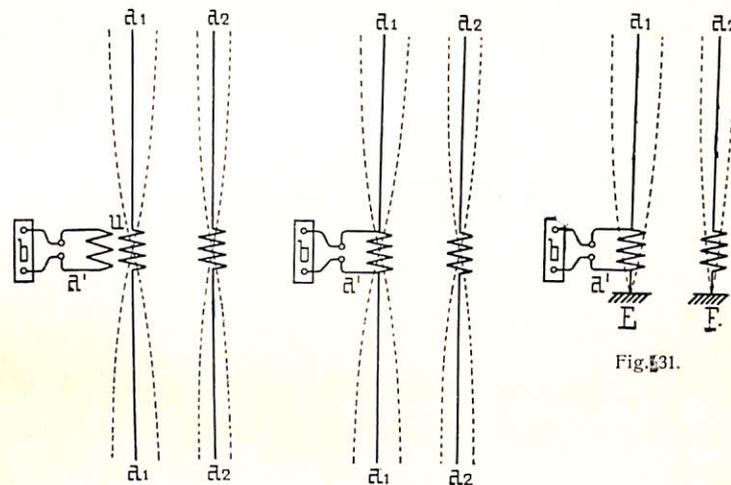


Fig. 29.

Fig. 30.

Fig. 31.

Im Gegensatz hierzu ist bei der direkten Kuppelung der Funkenstromkreis  $a'$  (Fig. 30) direkt mit beiden Teilen des Sendedrahtes  $a_1 a_1$  in Verbindung gebracht, so dass sich also die durch den überspringenden Funken hervorgerufenen Erschütterungen unmittelbar auf diesen Draht übertragen. Man kann daher dies System auch als elektrische Kuppelung bezeichnen.

Der Hauptvorteil der Kuppelung, und zwar nach beiden genannten Arten, liegt darin, dass die im Funkenstromkreise sich aufstapelnde Elektrizität sofort die durch Ausstrahlung verbrauchte Energie des Sendedrahtes ersetzt, und so eine intensivere Ausstrahlung ermöglicht.

Wie M. Wien\*) angiebt, kann man die Wirkungsweise eines gekuppelten Systemes mit folgendem Vorgange aus der Akustik vergleichen: Eine Stimmgabel lässt sich durch eine gleichgestimmte andere aus grösserer Entfernung zum Mittönen bringen, wenn beide Gabeln auf Resonanzkästen sitzen. Die Stimmgabeln allein ohne die Kästen wirken dagegen nur sehr wenig aufeinander, weil ihre Ausstrahlung zu schwach ist. Die Resonanzkästen allein würden, falls sie in Erschütterung gesetzt wären (ohne Gabeln), noch weniger Wirkung aufeinander ausüben, da ihr Energievorrat nur klein ist, die Ausstrahlung dagegen gross, die Schwingungen also sehr schnell gedämpft sind. Die Resonanzkästen müssen vielmehr mit den Stimmgabeln gekuppelt werden, so dass die von dem aussendenden Resonanzkasten abgegebene Energie wieder durch die Schwingungen ihrer vorher angeschlagenen Stimmgabel ersetzt werden kann.

Es entspricht also bei diesem Vergleich der Funke dem Anschlagen der gebenden Stimmgabel, letztere dem Funkenstromkreis und der zur angeschlagenen Stimmgabel gehörige aussendende Resonanzkasten dem Sendedraht des Gebers.

### Erdung.

Die Schwingungsverhältnisse für Strom und Spannung und die Anordnung der verschiedenen Amplituden an den verschiedenen Stellen der Drähte ist bei den gekuppelten Systemen genau dieselbe, wie bei der ursprünglichen Anordnung (Fig. 27 und 28), bei welcher die Funkenstrecke unmittelbar am Geberdraht selbst sich befindet. Insbesondere liegen also die Spannungsmaxima an den beiden Aussenenden des Sendedrahtes (bei  $a_1 a_1$ , Fig. 29 und 30), wie auch des Empfangsdrahtes (bei  $a_2 a_2$ ).

Es hat sich nun als zweckmässig herausgestellt, die eine Hälfte sowohl von dem Sendedraht, wie von dem Empfangsdraht durch die Erde zu ersetzen, d. h. diejenige Stelle, an welcher die untere Hälfte dieser Drähte angeschlossen ist, mit der Erde in Verbindung zu bringen (EE, Fig. 31), die unteren Drahthälften selbst aber wegzulassen. Hier-

\*) M. Wien: Über die Verwendung der Resonanz bei der drahtlosen Telegraphie. Annalen der Physik, 1902. Band 8, Heft 7, Seite 686.

durch gestalten sich die Verhältnisse derartig, dass der weggelassene Draht, der als Spiegelbild des noch vorhandenen aufgefasst werden kann, gewissermassen als in der Erde befindlich anzusehen ist. Der früher (Fig. 27 bis 30) in der Mitte befindliche Knotenpunkt der Spannungsschwingungen ist damit in den Erdungspunkt verlegt. Wiederum bleiben dabei die Spannungsmaxima an den äusseren, hier oben gelegenen Enden  $a_1$  und  $a_2$  (Fig. 31). Es wird also jetzt eine Viertelwellenlänge in jedem Drahte erzeugt.

### Empfänger.

Der wichtigste Apparat des Empfängers, der Fritter, spricht am besten an, d. h. er zeigt sich in seiner Wirkung am empfindlichsten,

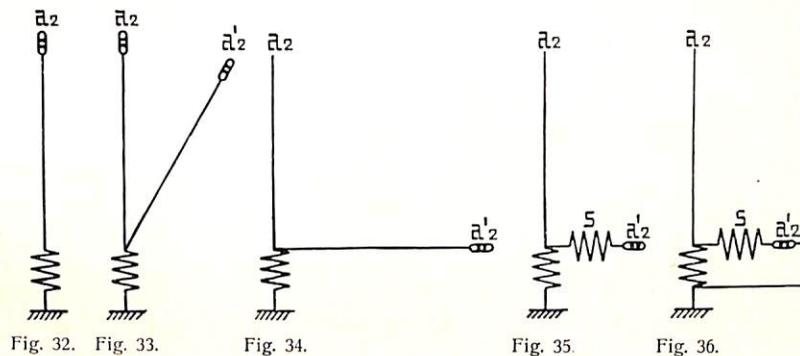


Fig. 32. Fig. 33. Fig. 34. Fig. 35. Fig. 36.

wenn er im Spannungsmaximum liegt. Da in der Nähe der Erdung die Spannung am schwächsten ist, so muss also hier der Fritter am unzuverlässigsten arbeiten. Dies ist auch der Hauptgrund, weshalb die ersten Versuche mit der Funkentelegraphie bezüglich ihrer Genauigkeit noch recht unsicher waren, denn damals waren diese Verhältnisse noch nicht bekannt und der Fritter beim Erdungspunkt (Fig. 26), also im Spannungsminimum, angebracht gewesen.

Die Anordnung im Spannungsmaximum dagegen verlangt das Anbringen dieses Apparates gerade am entgegengesetzten, also oberen Ende des Drahtes  $a_2$  (Fig. 32). Da nun diese Drähte oft 30 bis 50 m hoch gewählt werden müssen, so würde das Einfügen des Fritters für die praktische Ausführung grosse Schwierigkeiten hervorrufen. Diese lassen sich aber umgehen durch Anwendung eines zweiten Drahtes,

der in der Nähe des Erdungspunktes an den ersten senkrechten Draht angeschlossen wird. Ist dieser Draht nur wenig gegen den ersten geneigt, so wird man auch an dessen oberem Ende  $a'_2$  (Fig. 33) den Fritter anbringen können, denn beide Drähte,  $a_2$  und  $a'_2$ , werden in ihrem vom Erdungspunkte abgekehrten Ende das Spannungsmaximum besitzen. Dies Verhältnis bleibt auch dasselbe, wenn der zweite Draht in eine horizontale Lage (Fig. 34) gebracht wird. Es wird hierbei durch den senkrechten Draht der gleich dimensionierte wagerechte Draht mit erregt.

Auch dieser Vorgang lässt sich durch ein Beispiel aus der Mechanik versinnlichen. Hat man nämlich einen rechtwinkelig gebogenen Stahldraht mit gleichlangen Schenkeln, und befestigt diesen an seinem Biegepunkt, wo die beiden Schenkel zusammenstossen, so wird eine auf den einen Schenkel ausgeübte Erschütterung auf den anderen Schenkel übertragen und beide Schenkel werden an ihrem freien Ende in Schwingungen geraten.

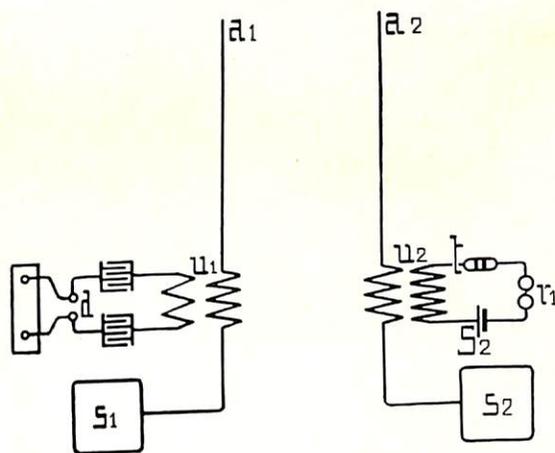


Fig. 37. Schaltung Braun (Siemens & Halske).

Man kann also den Fritter zweckmässig an das Ende  $a'_2$  des horizontalen Drahtes (Fig. 34) anordnen. Für elektrische Verhältnisse ist es jedoch nicht nötig, hier einen gerade ausgestreckten Draht zu haben, der ja auch infolge seiner bedeutenden Länge recht unbequem würde. Dieser horizontale Draht wird vielmehr in eine Spule  $s$  (Fig. 35) aufgewunden, deren freies Ende an die eine Seite des Fritters angeschlossen ist.

Wie nun bei dem Geber durch Anwendung eines gekuppelten Funkenstromkreises (Fig. 29 bis 31) die Intensität der Ausstrahlung gesteigert werden kann, so lässt sich auch entsprechend bei dem Empfänger eine stärkere Wirkung der aufgenommenen elektrischen Energie erreichen, wenn hier ein besonderer Stromkreis für den Fritter geschaffen wird, indem dessen von der Spule  $s$  abliegendes freies Ende mit dem

Erdungspunkt verbunden wird (Fig. 36). Dabei werden die im Empfängerdraht  $a_2$  aufgenommenen Schwingungen in diesem Stromkreis aufgespeichert.

Zurückgreifend auf das oben (S. 34) erwähnte Beispiel aus der Akustik lässt sich der dort ausgeführte Vergleich folgendermassen weiterführen: Die zum Mittönen zu bringende Stimmgabel, die also den Empfangsapparat darstellt, wird nur schwach ansprechen, wenn kein Resonanzboden vorhanden ist, mit einem solchen gekuppelt dagegen wesentlich lauter klingen. Auf elektrische Verhältnisse übertragen wird dabei der Empfängerdraht durch den Resonanzboden dargestellt, der Fritter durch die Stimmgabel.

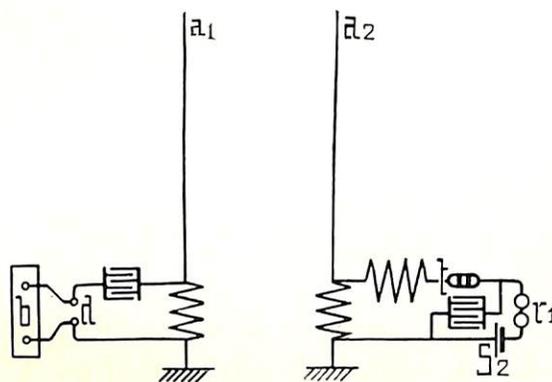


Fig. 38. Schaltung Slaby-Arco (A. E.-G.).

Wie bei dem Geber die Kuppelung des Funkenstromkreises mit dem Sendedraht, so kann auch bei dem Empfänger die Kuppelung des Empfängerdrahtes mit dem Fritterstromkreis sowohl direkt (Fig. 36), als auch indirekt (Fig. 37) bewirkt werden.

Die Spule  $s$  (Fig. 35 und 36) hat aber nicht nur den Zweck, den Fritter in den maximalen Wirkungsbereich der Spannung zu bringen, sie übt vielmehr für die Funkentelegraphie, wie Slaby gezeigt hat, noch einen zweiten wichtigen Einfluss aus. Durch eigentümliche Selbstinduktions- und Ladungserscheinungen, wie sie bei schnellen Schwingungen auftreten, erfährt nämlich die Spannung am Ende dieser Spule eine ganz wesentliche Erhöhung gegenüber demjenigen Werte, den sie nur infolge der vom Empfängerdraht aufgenommenen Energie haben sollte. Die Wirkung auf den Fritter wird hierdurch um ein Vielfaches vermehrt und die Spule daher als Multiplikatorspule\*) bezeichnet.

\*) Seibt: Zur Theorie des Multiplikators. Elektrotechnische Zeitschrift 1901. Heft 29, Seite 280.

Auf den bisher erörterten Grundlagen beruhen die drei gegenwärtig für die Praxis bedeutsamsten Systeme der Funkentelegraphie, nämlich dasjenige von Marconi, ausgeführt durch die Marconi Wireless-Telegraph-Company, London, ferner dasjenige von Braun, ausgeführt durch die Aktien-Gesellschaft Siemens & Halske, Berlin, und das von Slaby-Arco, ausgeführt durch die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

### System Braun.

Die besonderen Merkmale des Systemes der Funkentelegraphie nach Braun sind die indirekte Kuppelung und das Fehlen des Erdanschlusses. \*) Der Stromkreis der Funkenstrecke ist unter Zwischenschaltung besonderer Kondensatoren durch die primäre Wicklung des Transformators  $u_1$  (Fig. 37) geschlossen. Der Sendedraht  $a_1$  steht mit der sekundären Wicklung des Transformators in Verbindung, an deren anderer Seite an Stelle der Erde eine als Kapazität wirkende Platte  $s_1$  angebracht ist, welche die untere Hälfte des Sendedrahtes  $a_1 a_1$  (Fig. 29) vertritt. Ganz entsprechend ist der Empfangsdraht mit Platte  $s_2$  angeordnet. Nur wirkt bei diesem die an den Draht  $a_2$  angeschlossene Spule des Transformators  $u_2$  als Primärwindung. [Mit ihr in Parallelschaltung liegt ausserdem ein (in Fig. 37 nicht mit aufgeführter) Kondensator. An die sekundäre Spule des Transformators ist der Stromkreis des Fritters  $f$  angeschlossen. Es ist also in diesem System kein direkter Anschluss an die Erde vorhanden, wohl aber können die Platten  $s_1$  und  $s_2$ , die an Stelle der direkten Erde getreten sind, auch als abgeschwächte indirekte Erde angesehen werden.

Hierbei ist indessen zu beachten, dass der genaue Einfluss der direkten oder indirekten Erdung bei der Funkentelegraphie bis jetzt überhaupt noch nicht völlig klargelegt ist, wengleich verschiedene Versuche und Beobachtungen die Zweckmässigkeit des Erdanschlusses sehr wahrscheinlich gemacht haben. So wird der Knotenpunkt der im Luftdraht wirkenden Spannungsschwingungen durch die Erdung sehr genau festgelegt. Ferner lassen sich elektrostatische Ladungen aus der Atmosphäre, wie sie insbesondere bei Gewitterneigung auftreten, ohne weiteres in die

\*) F. Braun, Über drahtlose Telegraphie. Physikalische Zeitschrift 1902. Heft 7, Seite 143.

Erde ableiten, während anderenfalls hauptsächlich bei dem Empfangen sehr unangenehme Störungen auftreten können. Es ist weiterhin die Möglichkeit gegeben, vorhandene unten geerdete vertikale Leiter, wie sie als Blitzableiter, eiserne Masten, eiserne Schornsteine etc. oft vorhanden sind, als Geber- und Empfängerdrähte benutzen zu können. Endlich ist der geerdete Luftdraht für das Bedienungspersonal ohne jede Gefahr, während bei dem Fehlen der Erdung sehr gefährliche Spannungen auftreten können.

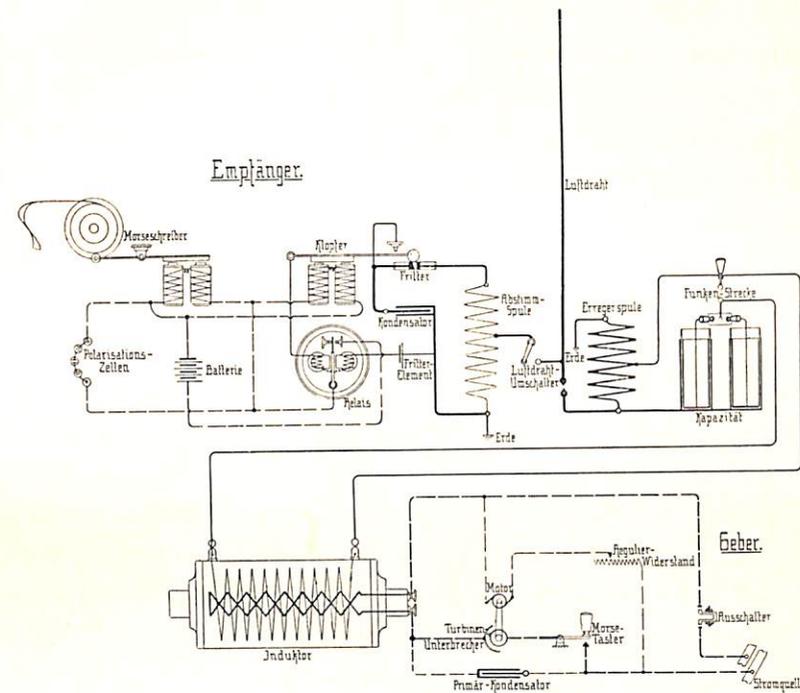


Fig. 39. System Slaby-Arco (A. E.-G.).

### System Slaby-Arco.

Das von Slaby in Gemeinschaft mit Graf Arco ausgearbeitete System verwendet geerdete Sende- und Empfangsdrähte (Fig. 38) und ausserdem die direkte Kuppelung an den gebenden und empfangenden Stromkreisen. Auch das Marconische System beruht auf einer gleichen Schaltung.

Wie die weiter unten beschriebenen ausgeführten Anlagen zeigen, hat das System Slaby-Arco bereits ausgedehnte Verwendung gefunden und soll im folgenden genauer betrachtet werden.

Der Stromkreis der Funkenstrecke  $d$  (Fig. 38) steht einerseits direkt in Verbindung mit dem Sendedraht  $a_1$ , andererseits mit der Erde. In entsprechender Weise ist es auch beim Empfänger der Fall, woselbst der Stromkreis des Fritters  $f$  einmal in direkter Verbindung sich befindet mit dem Empfindungsdraht  $a_2$ , das andere Mal mit der Erde.

Hiermit ist jedoch nur das grundlegende Schema gegeben. Für die Praxis dagegen ist vor allem zu berücksichtigen, dass von zwei Stationen, die miteinander sprechen wollen, Signale in beiden Richtungen möglich sein müssen, jede Station also in der Lage sein muss, als gebende oder empfangende zu arbeiten.

Die Schaltung wird nun so getroffen, dass ein- und derselbe Luftdraht zum Aussenden oder zum Aufnehmen der elektrischen Wellen dienen kann, je nachdem er mit den Geberapparaten oder mit den Empfangsapparaten verbunden wird. Jede Station muss also alle für diese beiden Zwecke erforderlichen Apparate enthalten (Fig. 39). Der Primärstromkreis für den Induktor (in Fig. 39 bei Geber gestrichelt) enthält ferner einen Ausschalter. Dieser steht bei der tatsächlichen Ausführung der Apparate mit dem Hebel des Luftdrahtumschalters am Empfänger derartig in Verbindung, dass bei geschlossenem Ausschalter der Luftdraht durch den Umschalter vom Empfänger abgeschaltet ist (wie in Fig. 39 dargestellt). Die bei dem Geben auftretenden Schwingungen des Luftdrahtes können also den Fritter nicht beeinflussen. Soll empfangen werden, so wird der Luftdrahtumschalter umgelegt und der Luftdraht hierdurch mit den Empfangsapparaten in Verbindung gebracht. Gleichzeitig ist aber auch der Ausschalter am Geber geöffnet worden, so dass der Turbinen-Unterbrecher still steht und somit keine Zeichen gegeben werden können. Die Schaltung ist also derartig eingerichtet, dass entweder nur gegeben oder nur empfangen werden kann.

Die einzelnen Stromkreise am Geber sind folgende: 1. Motorstromkreis: Stromquelle, Ausschalter, Motor, Regulierwiderstand, zurück zum anderen Pol der Stromquelle; 2. Unterbrecherstromkreis: Stromquelle, Ausschalter, Primärwicklung des Induktors, Turbinen-Unterbrecher, Morsetaster, zurück zum anderen Pol der Stromquelle. Parallel zum Unterbrecher liegt ausserdem der Primärkondensator; 3. Hochspannungsstromkreis des Induktors: Sekundärwindung

des Induktors, von deren einer Seite nach Funkenstrecke und zurück zur anderen Seite der Sekundärwindung; 4. Funkenstromkreis: Funkenstrecke, Kapazität (Leydener Flaschen), Erregerspule und zurück zur Funkenstrecke.

Die einzelnen Stromkreise am Empfänger sind folgende: 1. Fritterstromkreis: Fritter, Abstimmspule, Fritterelement, Windungen des Relais, Klopfer und Anschluss an der anderen Seite des Fritters. Parallel zur Abstimmspule und zum Fritter liegt ausserdem ein Kondensator; 2. Batteriestromkreis: hier werden durch die Batterie, nachdem der Anker des Relais seinen Kontakt geschlossen hat, in Parallelschaltung bethätigt der Elektromagnet des Klopfers, der Elektromagnet des Morseschreibers und die Polarisationszellen.

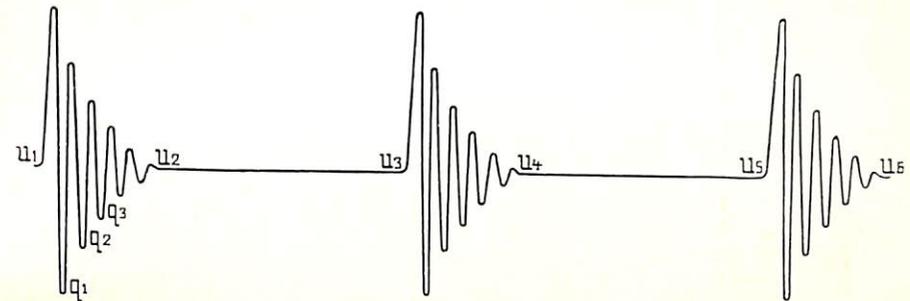


Fig. 40.

### Abstimmung.

Wie bereits oben (S. 32) erwähnt, ist es erforderlich, dass Geberdraht und Empfangsdraht sich miteinander in Resonanz befinden. In jeder Station müssen aber auch die angekuppelten Stromkreise, und zwar sowohl der Funkenstromkreis der Geberseite, wie auch der Fritterstromkreis der Empfängerseite mit den zugehörigen Luftdrähten in Übereinstimmung sein, da ja ein- und dieselbe Wellenbewegung in dem ganzen System arbeitet. Je genauer diese Übereinstimmung sich einstellen lässt, desto sicherer wird die Übertragung erfolgen. Es ist daher für ein sicheres Funktionieren der Funkentelegraphie die folgende Bedingung, auf welche besonders Slaby erfolgreich hingewiesen hat (S. 44), unerlässlich, nämlich dass für Stationen, die miteinander in Verbindung treten wollen, alle gleichzeitig zusammen thätigen Teile genau aufeinander abgestimmt sein müssen.

Mit jedem länger oder kürzer ausgeführten Niederdrücken des Tasters am Geber (Fig. 39) werden infolge der raschen Umdrehungszahlen des Turbinen-Unterbrechers sofort eine Anzahl Unterbrechungen bewirkt. Jede Unterbrechung erzeugt ihren Funkenübergang und dieser eine Anzahl Oscillationen, die als abnehmende Erschütterungen  $u_1 u_2, u_3 u_4$  etc. (Fig. 40) auftreten. Die hierdurch ausgestrahlten Wellen treffen nun teilweise auf den als Empfangsdraht wirkenden Luftdraht, und die zuerst ankommende, bei  $q_1$  gelegene Welle stösst den Empfangsdraht an, der also seinerseits in Schwingungen gerät. Je nachdem diese Schwingungen bezüglich Zeit und Richtung mit dem zweiten auftreffenden Wellenstoss  $q_2$  mehr oder weniger zusammenfallen, erfolgt eine Verstärkung oder Abschwächung der durch  $q_1$  eingetretenen eigenen

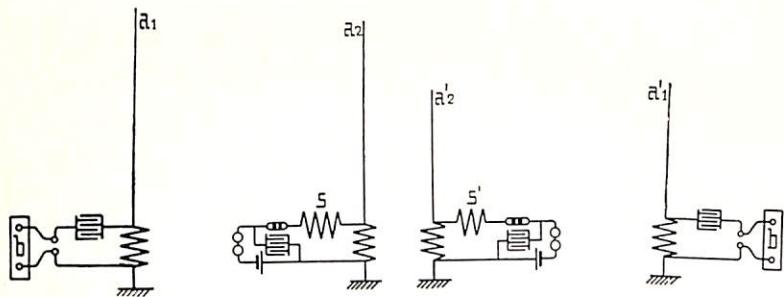


Fig. 41.

Schwingungen des Luftdrahtes. Es ist daher notwendig, diesen Draht so zu dimensionieren, dass seine eigenen Schwingungen mit den auftretenden Wellen genau sich decken, und dies wird in der Hauptsache, nachdem die Länge des Luftdrahtes bestimmt ist, erreicht durch Einstellen der zwischen Luftdraht und Erde eingeschalteten Spulen. Die Länge des Luftdrahtes selbst ist meist durch die örtlichen Verhältnisse gegeben.

Bei den ganz verschiedenen Energieverhältnissen, die im Geber und Empfänger zur Wirkung kommen und die in letzterem ganz ausserordentlich schwach, gegenüber denjenigen in ersterem, sind, ist es zweckmässig, für jeden Teil besondere Spulen zur Abstimmung zu verwenden. Für den Geber dient die Erregerspule, für den Empfänger besonders die Abstimmspule (Fig. 38) und ist letztere ausserdem derartig eingerichtet,

dass sie gleichzeitig als Multiplikator für den Fritter dient. Zurückkommend auf die oben (S. 30) angeführte Gleichung für die Wellenlänge  $\lambda = 4l$  ist also die Grundbedingung einer richtigen Abstimmung die, dass die Wellenlänge  $\lambda$  der durch die Luft übertragenen wirksamen Elektrizität auch allen einzelnen Eigenschwingungen der einzelnen Stromkreise zu eigen sein muss. Die Länge  $l$  bestimmt sich aber jetzt aus der Luftdrahtlänge einschliesslich der angeschlossenen Spule. Da die Geschwindigkeit  $v$  gleich derjenigen des Lichtes, also konstant ist, so ändert sich also proportional mit der Wellenlänge  $\lambda$  die Schwingungsdauer  $T$ , d. h. die Dauer einer Schwingung. Die kürzeren Wellen haben auch die kürzere Schwingungsdauer, sie schwingen also rascher, haben eine grössere Frequenz oder Schwingungsgeschwindigkeit. Es müssen also

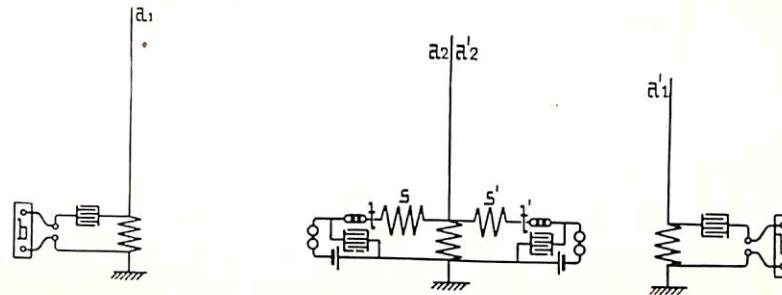


Fig. 42.

die auftreffenden Wellen möglichst mit derselben Geschwindigkeit schwingen, mit welcher die Eigenschwingungen der Stromkreise verlaufen, um eine gute Abstimmung zu erzielen.

Ist die Frequenz der auftretenden Wellen nur wenig von derjenigen der eigenen Schwingungen des Empfängers verschieden, so werden die Zeichen am Morseschreiber immer noch deutlich auftreten. Je mehr indessen die beiden Geschwindigkeiten voneinander abweichen, je schlechter also die Abstimmung ist, desto ungenauer wird die Zeichengabe sein, bis schliesslich keine Wiedergabe der Zeichen mehr erfolgt.

### Mehrfachtelegraphie.

Ist nun ein System, bestehend aus Geber  $a_1$  und Empfänger  $a_2$  (Fig. 41) genau auf eine bestimmte Wellenlänge abgestimmt und befindet sich in der Nähe dieses Empfängers ein zweiter  $a'_2$ , der aber nicht

für diese Wellenlänge eingerichtet ist, so wird nur der erste  $a_2$  die vom Geber  $a_1$  ausgesandten Zeichen wiedergeben. Ist dagegen an irgend einer anderen Stelle ein weiterer Geber  $a'_1$  vorhanden, der mit dem zuletzt genannten Empfänger  $a'_2$  in Abstimmung gebracht ist, so wird auf die Zeichen des Gebers  $a'_1$  nur der Empfänger  $a'_2$  ansprechen, nicht aber  $a_2$ . Es bringt also jeder der beiden Geber nur in seinem, mit ihm abgestimmten Empfänger Signale hervor. Dies tritt auch ein, wenn beide Geber gleichzeitig arbeiten, und zwar selbst dann, wenn die Empfänger dicht nebeneinander sich befinden. Es können also mehrere Systeme zu derselben Zeit arbeiten, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen, wenn nur die Abstimmung mit genügender Genauigkeit bewirkt ist.

Slaby, welcher diese Mehrfachtelegraphie als erster der Öffentlichkeit vorführte, ging noch weiter. In einem Vortrage, den er am 22. Dezember 1900 im Sitzungssaale der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zu Berlin hielt, und welchem auch der deutsche Kaiser beiwohnte, führte er zwei Empfänger vor, die einen gemeinsamen Luftdraht besaßen. Dieser Luftdraht  $a_2, a'_2$  (Fig. 42) war auf der einen Seite mit dem Fritter  $f$  verbunden, der nur auf den Empfänger  $a_1$

anspruch; auf der anderen Seite des Luftdrahtes war der Fritter  $f'$  angeschlossen, der nur durch die vom Geber  $a'_1$  ausgehenden elektrischen Wellen in Tätigkeit gesetzt wurde. Der erste Geber befand sich dabei in Oberschöneweide an der Oberspree, 15 km von den Empfängern entfernt, während der zweite Geber in der 4 km abliegenden Technischen Hochschule zu Charlottenburg aufgestellt war. Die Wellenlänge des ersten Systemes betrug 640 m, die des zweiten 240 m. Die Vorführung ergab eine völlig fehlerfreie gleichzeitige Korrespondenz, wobei etwa 72 Buchstaben in der Minute geschrieben wurden. Durch entsprechende Dimensionierung der Spulen  $s$  und  $s'$ , sowie der übrigen Teile der angekuppelten Stromkreise ist also hiermit die Aufgabe des gleichzeitigen Sprechens mehrerer Stationen in beliebiger Weise durcheinander, selbst bei ge-

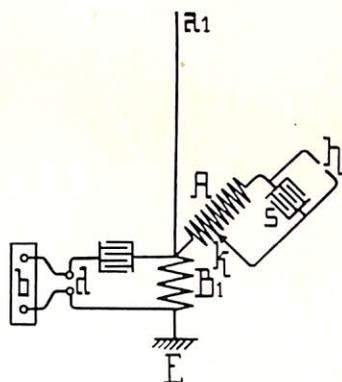


Fig. 43.

meinsamem Luftdraht, gelöst. Die diesbezüglichen Untersuchungen und Vorführungen stellen also einen der bedeutsamsten Fortschritte in der Funkentelegraphie dar, denn sie haben erst die Grundlage geschaffen, auf welcher eine Signalübertragung in grossem Masse, wie es die Praxis erfordert, möglich wird.

### Transportable Abstimmspule.

Bei den grossen Entfernungen, auf welche die Funkentelegraphie Anwendung findet, ist nun eine einfache Weise der Abstimmung von

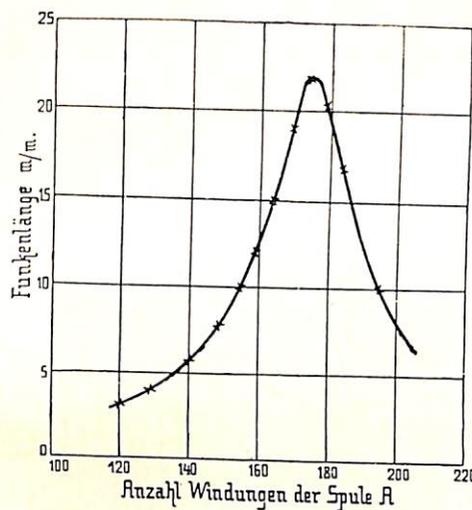


Fig. 44.

hoher Bedeutung. Graf Arco\*) hat hierfür einen Apparat angegeben, der die genaueste Abstimmung gestattet, ohne dabei die andere Station in Tätigkeit zu setzen; die Abstimmung kann also ohne Zuhilfenahme von Fernwirkungen an jeder Station selbst ausgeführt werden. Der hierzu verwendete Apparat besteht in einer transportablen Abstimmspule, die es gestattet, eine beliebige Anzahl von Stationen mit einem

Geber in Übereinstimmung zu bringen. Zunächst wird diese transportable Spule  $A$  (Fig. 43) mit ihrer einen Seite an das untere Ende des Luftdrahtes  $a_1$  angeschlossen. Das andere Spulenende steht mit einem Pol der Prüfungsfunkenstrecke  $h$  in Verbindung; an den anderen Pol der letzteren ist ein beweglicher Kontakt  $k$  angeschlossen, welcher derartig verschiebbar an der Spule  $A$  angeordnet ist, dass die Windungen der letzteren beliebig eingestellt werden können. Parallel mit der Prüfungsfunkenstrecke liegt ausserdem ein kleiner Konden-

\*) Arco, Über ein neues Verfahren zur Abstimmung funkentelegraphischer Stationen mit Hilfe des Multiplikators. Elektrotechnische Zeitschrift 1903. Heft 1, Seite 6.

sator *s*, dessen Kapazität gleich derjenigen des anzuwendenden Fritters zu wählen ist.

Wird jetzt die Geberfunkenstrecke *d* in Wirksamkeit gesetzt, so treten gleichzeitig auch bei *h* Spannungserscheinungen auf, die hier um so eher zu einer Funkenbildung führen, je mehr die Eigenschwingungen der Spule *A* mit denen des Gebers und seines Luftdrahtes übereinstimmen. Am besten wird die Spule *A*, die hier gleichzeitig als Multiplikatorspule (S. 37) wirkt, mit dem Geber in Einklang sich befinden, wenn die bei *d* auftretenden Funken ihren höchsten Wert, d. h. ihre grösste Länge erreicht haben.

Um dies festzustellen, bringt man zunächst den Kontakt *k* an eine derjenigen Windungen der Spule *A*, welche dem Geber zugelegen sind. Beispielsweise kann dies, wie es bei der zur vorstehenden Kurve (Fig. 44) zugehörigen Anlage der Fall war, etwa bei der 120. Windung geschehen. Die hierbei an der Funkenstrecke *h* gemessene Funkenlänge war etwa 3 mm. Je mehr man nun den Kontakt *k* nach der Funkenstrecke zu verschiebt, desto länger werden die Funken, die in dem Beispiel (Fig. 44) etwa bei der Windung 176

mit 22 mm ihre grösste Länge erreichen. Da von hier ab bei weiterem Verschieben des Kontaktes die Funkenlänge wieder abnimmt, so würde also (bei dem gewählten Beispiel) die Spule *A* durch Einstellen auf die Windung 176 in ihrer besten Abstimmung mit dem Geber sich befinden, und durch das Verhältnis der auf beiden Seiten der Kontaktstelle *k* liegenden Anzahl von Windungen dieser Spule *A* ist somit ein Mass für die Schwingungen der Geberstation festgelegt.

Soll nun eine beliebige Anzahl von Gebern und Empfängern in beliebiger Weise mit dem ursprünglichen Geber und miteinander

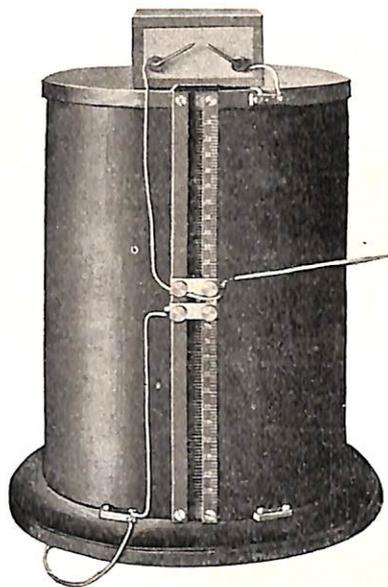


Fig. 45. Transportable Abstimmspule.

signalisieren können, so müssen alle übrigen Geber und alle Empfänger auf die für den ersten Geber eingestellte Spule angestimmt werden.

Hierzu wird bei den einzustellenden Gebern die Abstimmspule *A* in derselben Weise angeschlossen wie bei dem ursprünglichen, grundlegenden Geber (Fig. 43). Der Kontakt *k* dieser Spule bleibt aber jetzt an seiner Stelle, und es wird durch Einstellen der Erregerpule *B*<sub>1</sub> oder der Kondensatorflaschen des Geberkreises diejenige Anordnung gesucht, bei welcher wiederum an der Prüfungsfunkenstrecke die längsten Funken auftreten, was anzeigt, dass die bestmögliche Abstimmung zwischen transportabler Spule und Geber erreicht ist. Hiermit ist aber dieser Geber auch gleichzeitig mit dem ursprünglichen

Geber in Übereinstimmung gebracht, und man weiss jetzt, dass beide elektrische Wellen gleicher Frequenz aussenden.

In ähnlicher Weise erfolgt mittels der gleichen Spule *A* die Abstimmung der Empfänger. Der Luftleiter wird aber hierbei nicht mittels Fernwirkung von einer anderen Station aus erregt, sondern

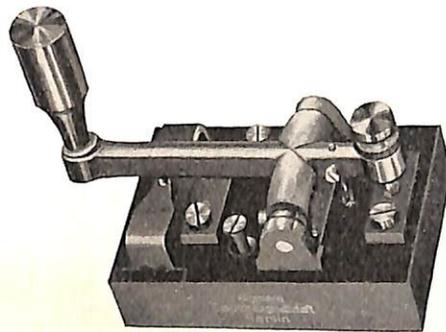


Fig. 46. Taster.

durch irgend eine in geeigneter Weise eingeschaltete Hilfsfunkenstrecke. Die gesamte Abstimmung kann also auch hierfür ohne weiteres an Ort und Stelle vorgenommen werden, da ein genaues Mass in der bereits eingestellten Abstimmspule gegeben ist. Letztere wird an den Empfänger angeschlossen und darauf wiederum Funken an der Prüfungsfunkenstrecke der Abstimmspule erzeugt, ohne indessen die letztere selbst zu ändern. Die Stromkreise für den Empfangsdraht und für den Fritter werden nun so dimensioniert, daß diese Funken ihre grösste Länge erreichen, womit gleichzeitig der Empfänger auf die früher eingestellten Geber abgestimmt ist.

Ein aus Deutschland ausfahrendes Schiff kann also ohne weitere Vorbereitungen sofort mit einer etwa in Südamerika gelegenen Station,

sobald die richtige Entfernung erreicht ist, sprechen, wenn nur die letztgenannte Station nach einer vorher eingesandten, entsprechend eingestellten Arcoschen Spule (Fig. 45) abgestimmt ist.

### Apparate der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft.

Die nachfolgend beschriebenen Apparate und Anlagen beziehen sich auf diejenigen Konstruktionen, welche die Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft, Berlin, nach ihren umfangreichen Erfahrungen herstellt und welche sich in mehr als hundert in Betrieb befindlichen Stationen bewährt haben.

Das dabei verwendete Flaschengehäuse (Fig. 47), welches gleichzeitig die Funkenstrecke (Fig. 48) trägt, besteht aus einem cylindrischen Behälter, zwischen dessen oberer und unterer Abschlussplatte die Flaschen (Fig. 49) unter Zwischenlegen von Filzringen festgeklemmt sind und dessen Mantelhüllung durch einen Papp- oder Mikanitcylinder gebildet wird.

Die Flaschen (Fig. 49) sind ineinander gestellte Doppelflaschen mit einer Kapazität von je 0,001 Mikrofarad. Ihre Aussenbelegungen sind durch eine auf der unteren Holzplatte aufgelegte Stanniolbekleidung miteinander verbunden. Ihre inneren Belegungen sind einzeln an eine gut isolierte Sammelplatte geführt.

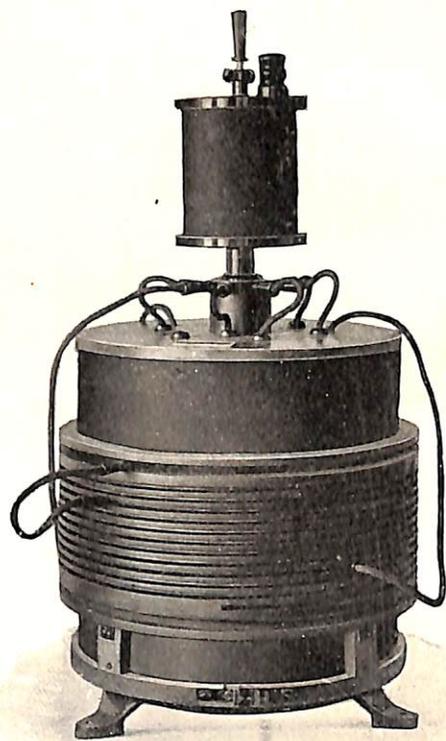


Fig. 47.  
Flaschengehäuse mit Funkenstrecke und Abstimmspule.

Die Funkenstrecke (Fig. 48) ist auf die Sammelplatte des Flaschengehäuses vertikal aufgesetzt und mit einem Papp- oder Mikanitcylinder zum Zwecke der Schalldämpfung umgeben.

Für die Ventilation des Inneren desselben ist durch ein aufgesetztes Abzugsrohr aus Hartgummi gesorgt. Von beiden Polen der Funkenstrecke führen Gummikabel nach der Sekundärklemme des meist an der Wand befestigten Induktors. Die Schaltung ist derart, dass der obere verstellbare Pol der Funkenstrecke geerdet und dadurch ungefährlich gemacht ist. Der untere Pol, welcher bei der Berührung starke physiologische Wirkungen (Schläge etc.) geben würde, ist durch rote Farbe kenntlich gemacht und durch seine versteckte Lage schwer zugänglich.

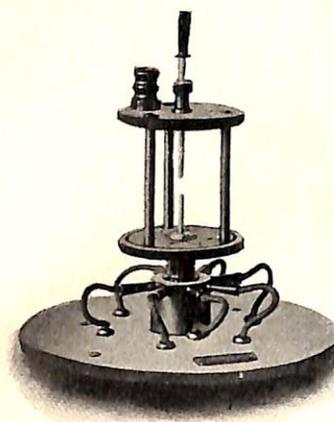


Fig. 48. Funkenstrecke.

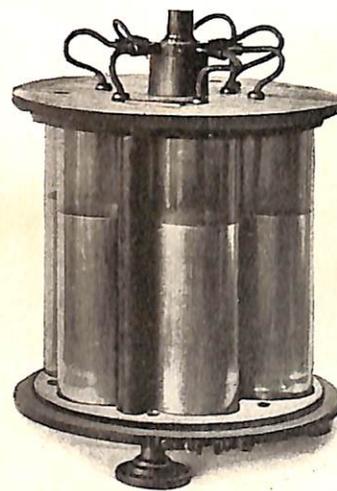


Fig. 49. Flaschen im Gehäuse.

Die Erregerspule wird meist um die cylindrische Hülle des Flaschengehäuses gewunden. Für kleinere Leistungen besteht sie aus Draht, der in die Nuten eines Hartgummiringstückes eingelegt ist (Fig. 47). Für grössere Leistungen sind diese Windungen aus Metallrohr hergestellt (Fig. 50). Hierbei ist ausserdem das Flaschengehäuse noch mit einer besonderen Schutzkappe versehen, die erst abgenommen werden muss (Fig. 51), ehe man zu der Funkenstrecke und zu den Anschlüssen der Flaschen gelangen kann.

Der zum Geben verwendete Morsetaster (Fig. 46) ist mit einer magnetischen Funkenlöschung ausgerüstet.

Der eigentliche Empfangsapparat (Fig. 52) enthält hauptsächlich den Fritter mit Klopfer und das Relais. Der Morseschreiber, sowie

der zum Anrufen dienende Wecker gleichen genau den auch bei der gewöhnlichen Telegraphie verwendeten derartigen Apparaten.

Der A.E.-G.-Fritter (Fig. 54) besteht aus einem luftleer ausgepumpten Glasröhrchen. Die Evakuierung kommt zur Anwendung, um einerseits

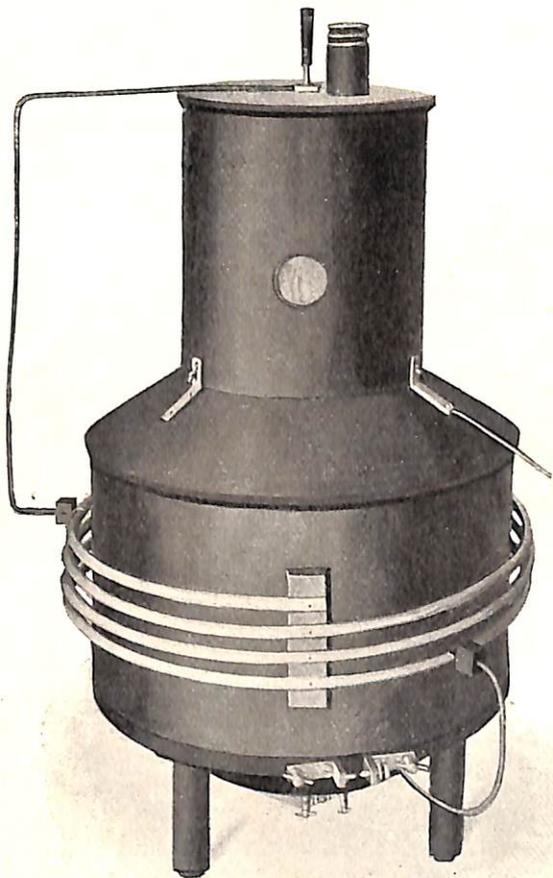


Fig. 50. Grosses Flaschengehäuse mit Funkenstrecke und Spule (mit Schutzkappe).

das Fritterpulver zu schützen gegen Oxydationsveränderungen durch den Einfluss der atmosphärischen Luft, und um es andererseits trocken und dadurch leicht beweglich zu erhalten. Gleichzeitig erreicht man hierdurch, dass die Gruppierung des Pulvers nach jedem Klopferschlage wieder ähnlich wie vorher wird. Die aus Silber bestehenden Kolben sind in die Glasröhre sehr genau eingepasst, so dass zwischen Kolben

und Glasrohr das feine Pulver nicht eindringen kann. Als Zuführungen dienen Platindrähte, welche zu den auf die Fritterenden fest aufgegipsten Metallkapseln führen.

Die Konstruktion des durch die Kolben gebildeten Spaltes (durch

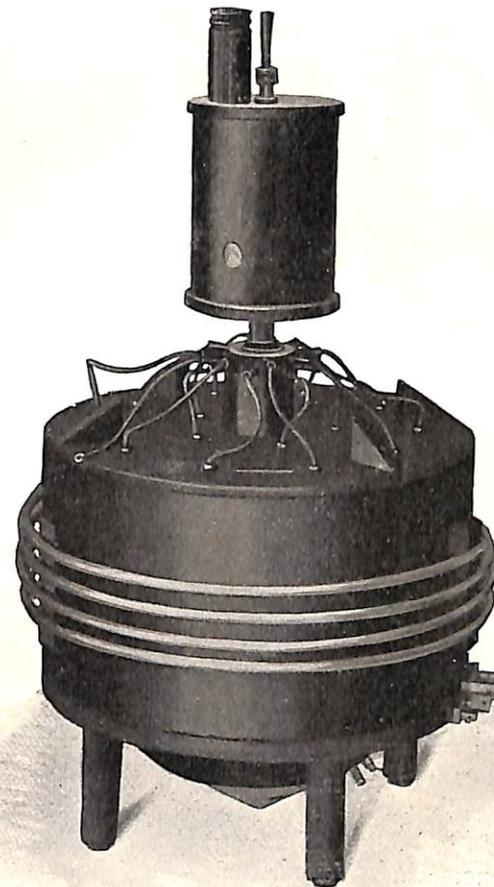


Fig. 51. Grosses Flaschengehäuse mit Funkenstrecke und Spule (ohne Schutzkappe).

Patent geschützt) gestattet trotz des luftdichten Abschlusses eine Regulierung der Empfindlichkeit. Die Stirnwände der Silberkolben sind hierzu nicht parallel angeordnet; die eine Kolbenfläche ist vielmehr abgeschrägt, so dass der Spalt, der aber nur teilweise, noch nicht bis zur Hälfte, mit dem Pulver gefüllt ist, einen keilförmigen Ausschnitt bildet. Wird der Fritter so eingestellt, dass der schmälere Teil des

Spaltes nach unten steht, so füllt das Pulver den Spalt in grösserer Höhe aus und der Pulverdruck vermehrt sich. Die Empfindlichkeit des Fritters ist alsdann am grössten. Steht umgekehrt der breitere Teil des Spaltes nach unten, und ist das Pulver dadurch auf grössere horizontale Fläche verteilt, so vermindert sich der Pulverdruck und die Empfindlichkeit des Fritters ist am geringsten. Der Fritter ist in Lagern um seine Längsachse drehbar, so dass man im stande ist, ihm jeden beliebigen Grad von Empfindlichkeit zu geben

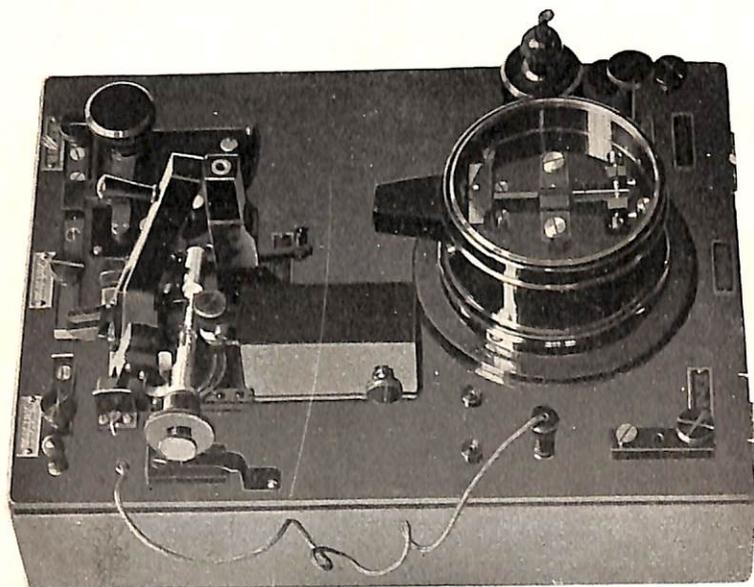


Fig. 52. Empfangsapparat.

und nach vorgenommener Veränderung eine bestimmte beabsichtigte Empfindlichkeit stets wieder aufs neue herzustellen. Durch diese Klopfer- und Fritterordnung ist es möglich, die Fritterempfindlichkeit auch während des Telegraphierens beliebig zu verändern.

Ausser Betrieb werden die Fritter in einem Holzkasten aufbewahrt, der zum Schutze gegen elektrische Wellen mit Stanniol ausgekleidet (Fig. 53) und daher geschlossen zu halten ist.

Die gesamte Anordnung der Apparate einer Station beansprucht nur sehr wenig Raum und lässt sich bequem und übersichtlich auf einem Tische unterbringen (Fig. 55). Der Induktor kann dabei

an der Wand befestigt werden, wozu er in einem vorn offenen Holzkasten eingebaut ist.

### Demonstrationsapparat.

Mit Rücksicht auf das allgemeine Interesse, welches die Funken- telegraphie in wissenschaftlicher und praktischer Beziehung sich erworben

hat, ist dieselbe auch auf höheren Lehranstalten und Schulen zu einem bedeutsamen Lehrgegenstand geworden. Zur übersichtlichen Vorführung der wichtigsten dabei auftretenden Erscheinungen hat die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft besondere Demonstrationsapparate gebaut, die indessen genau den in der Praxis wirklich verwendeten Einrichtungen entsprechen.

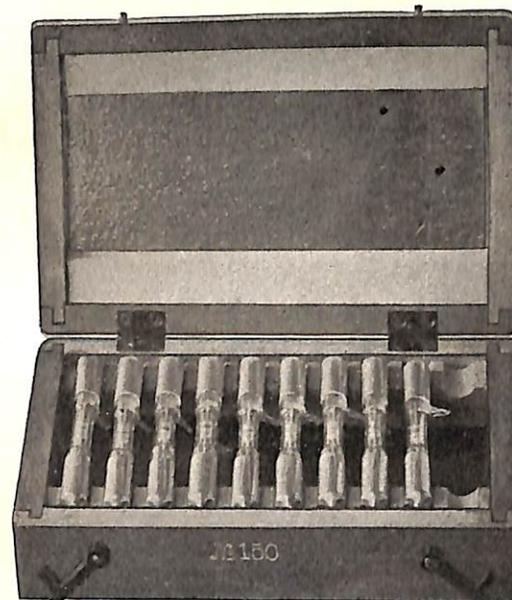


Fig. 53. Fritter im Kasten.

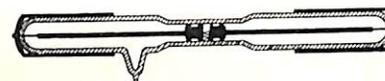


Fig. 54. A. E.-G.-Fritter.

Die Geberanordnung (Fig. 56), welche genügt, um in einem Luftleiter von 5 bis etwa 25 m Länge Schwingungen zu erregen, besteht im wesentlichen aus einem Induktor mit Hammerunter-

brecher und verstellbarer Funkenstrecke, einem Morsetaster, zwei Leydener Flaschen und einer Erregerspule. Der zugehörige Empfangsapparat setzt sich zusammen aus dem Fritterstromkreis mit Fritterelement, Relais und Kondensator, sowie einer einstellbaren Abstimm- spule (Fig. 57).

Mittels dieser Demonstrationsapparate lassen sich folgende elektrischen Vorgänge vorführen: 1. Hervorrufung von Schwingungen in Luftleitern

oder Resonatorspulen durch einen auf diese abgestimmten Erreger (Geber); 2. Abstimmung eines Empfangsleiters auf die Schwingungen

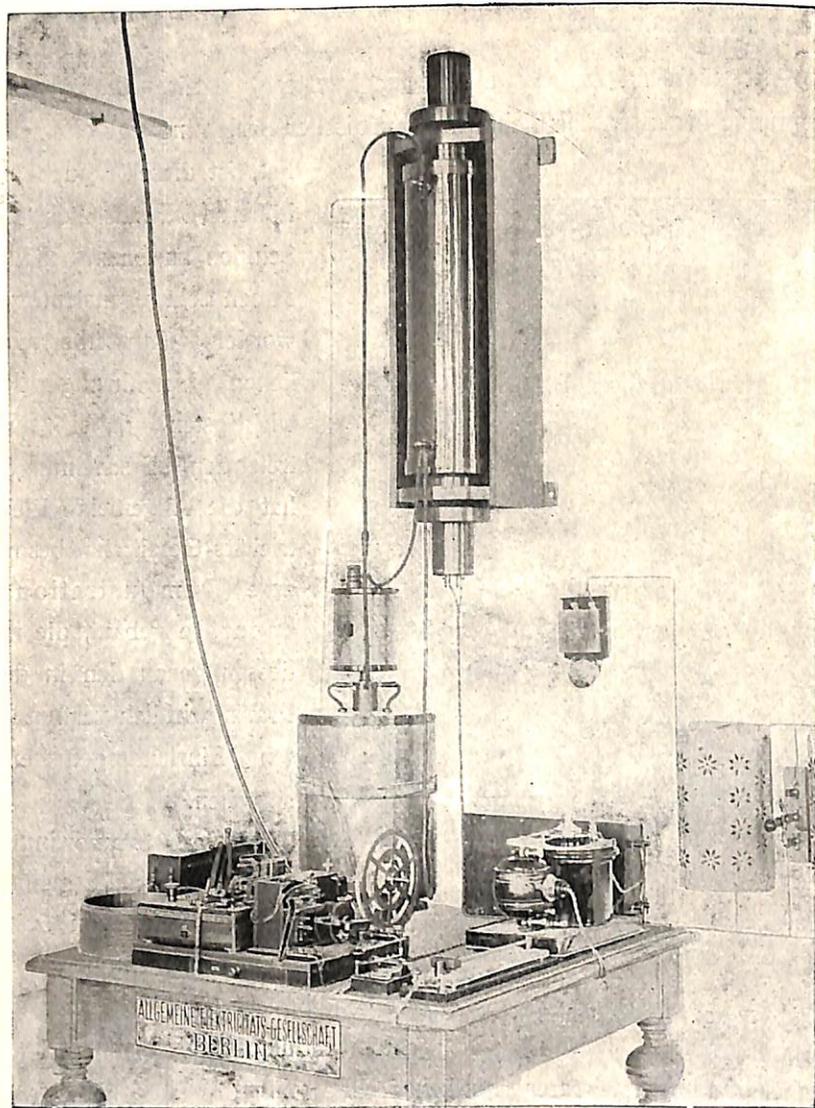


Fig. 55. Station für Funkentelegraphie.

dieses Gebers; 3. Abstimmung eines Fritterschwingungskreises auf die Schwingungen des Luftleiters; 4. eine genaue und schnelle Übertragung von Morsezeichen, unter günstigen Umständen bis auf Entfernungen von mehreren Kilometern.

### Ausgeführte Anlagen.

Die vorstehenden Erörterungen lassen erkennen, wie sorgfältig die funkentelegraphischen Apparate bereits durchgebildet sind. Die An-

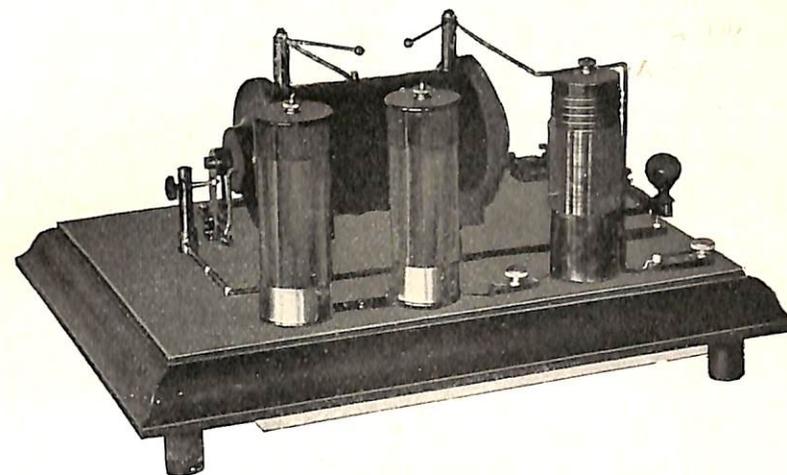


Fig. 56. Demonstrationsapparat, Geber.

wendung, welche dieselben bisher gefunden haben, ist denn auch eine recht umfangreiche. Hat doch die Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft nach ihrem System Slaby-Arco allein über 100 Anlagen ausgeführt.

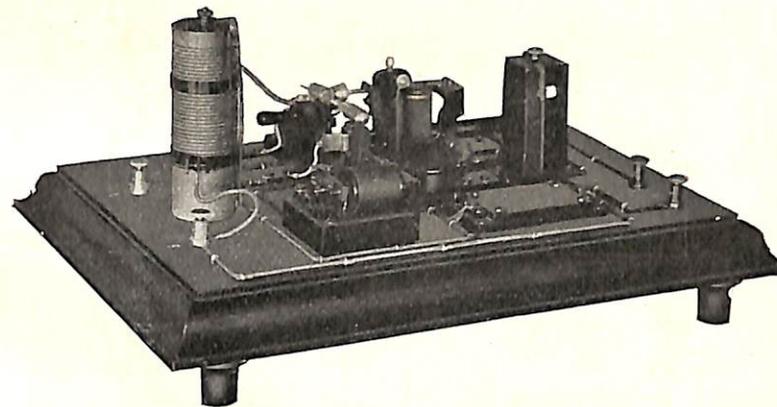


Fig. 57. Demonstrationsapparat, Empfänger.

Zu den ersten derselben gehört die Verbindung des Verwaltungsgebäudes der A. E.-G. (Fig. 58), in der Luisenstrasse zu Berlin gelegen, mit der Centrale Oberspree (Fig. 59) der Berliner Electricitäts-Werke zu Oberschöneweide. Bei beiden Stationen sind die Luftdrähte an Schorn-

steinen befestigt. Die zugehörige Station selbst ist in Berlin in dem Verwaltungsgebäude untergebracht, während der Luftdraht in Oberschöneweide mit einer Station in Verbindung steht, welche in dem neben der genannten Centrale liegenden Kabelwerk der A. E.-G. sich befindet. Diese Anlage wird von der ausführenden Firma gleichzeitig auch als

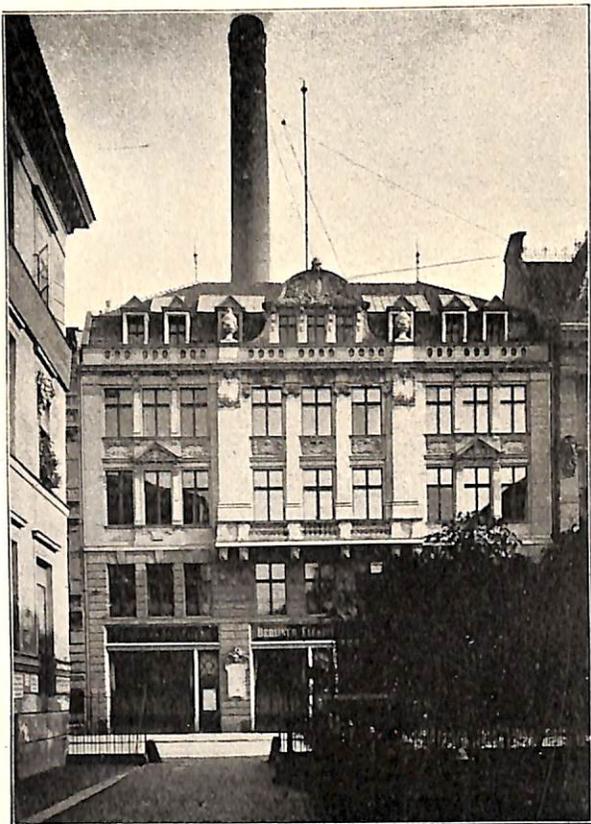


Fig. 58. Verwaltungsgebäude der A. E.-G. Berlin, Luisenstrasse.

Versuchs- und Prüfungsstation für neu gebaute funkentelegraphische Apparate, für Untersuchung der Fritter etc. verwendet. Trotzdem hierbei die von und nach der Luisenstrasse gesandten elektrischen Wellen auf ihrem etwa 15 km langen Wege halb Berlin durchqueren müssen und zahlreiche Hindernisse, als Schornsteine, Türme, oberirdische Telephonleitungen etc., zu überwinden sind, ist doch die Verbindung eine gute und sichere.

Die hervorragendste Bedeutung hat die Funkentelegraphie aber für die Schifffahrt erlangt, denn hier ermöglicht sie im ausgedehnten Masse

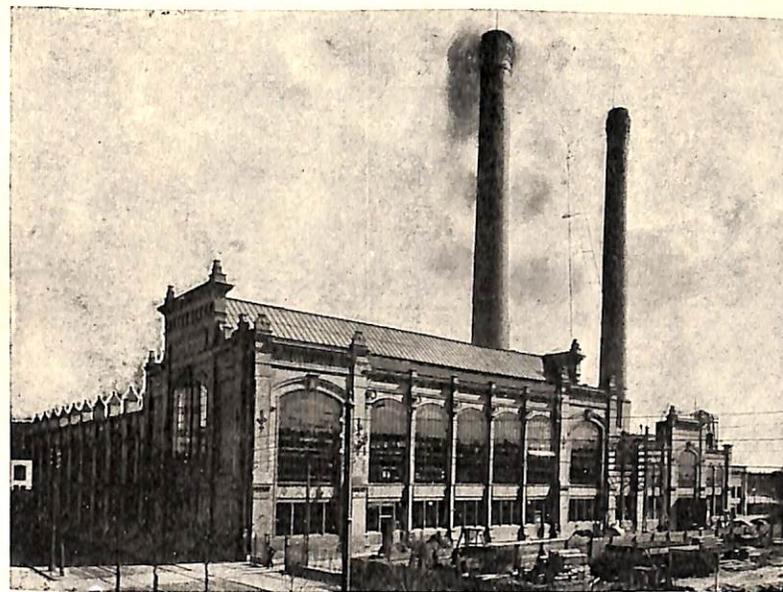


Fig. 59. Centrale Oberspreewald.



Fig. 60. Duhnen bei Cuxhaven.

sowohl eine Verbindung der Schiffe mit dem Lande, wie der Schiffe untereinander. Der Hauptgrund für die schnelle und ausgedehnte Einführung der neuen Signal-Übertragungsart an Bord liegt darin, dass



die Verbindung auch ohne weiteres aufrecht erhalten bleibt, wenn das Schiff in Bewegung sich befindet. Weder die Fahrtrichtung noch die Schiffsgeschwindigkeit sind von bestimmendem Einfluss auf das gute Arbeiten der Stationen. Dies war aber durch keine andere Art der Signalgebung bisher möglich; sobald vielmehr die kurze Entfernung der Sicht- und Hörweite überschritten war, sah sich das betreffende Schiff von jeder Verbindung mit der übrigen Menschheit völlig abgeschlossen,

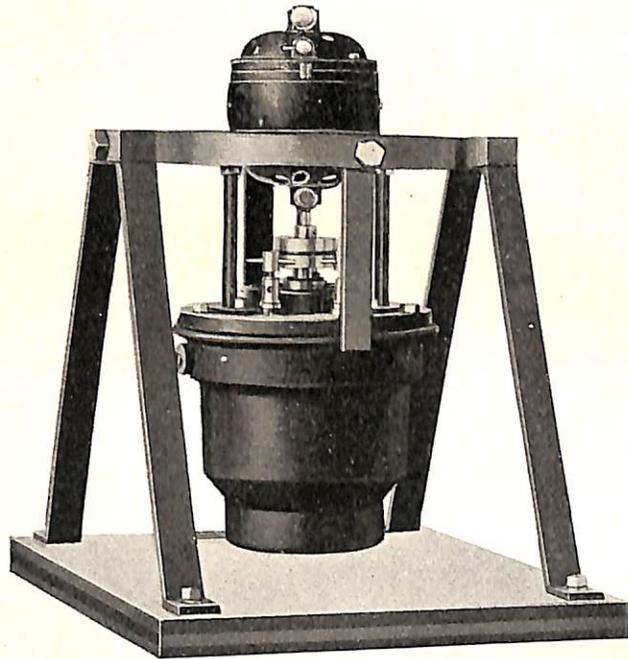


Fig. 64. Turbinen-Unterbrecher für Schiffe.

und erst nachdem ein Hafen oder wenigstens die Nähe eines Feuerschiffes oder eines Leuchtturmes erreicht war, konnten wieder Nachrichten ausgetauscht werden. Durch die Funkentelegraphie ist hier eine durchgreifende Verbesserung erzielt worden. Auf hunderte von Kilometern bleibt jetzt das Schiff dauernd in Verbindung mit dem Lande, und an manchen Stellen, insbesondere an der deutschen Ost- und Nordseeküste (Fig. 75), ist die Errichtung von Landstationen bereits soweit vorgeschritten, dass ein Schiff schon mit der nächsten Station in Verbindung treten kann, ehe es ganz aus dem Bereiche der vorhergehenden gekommen ist.

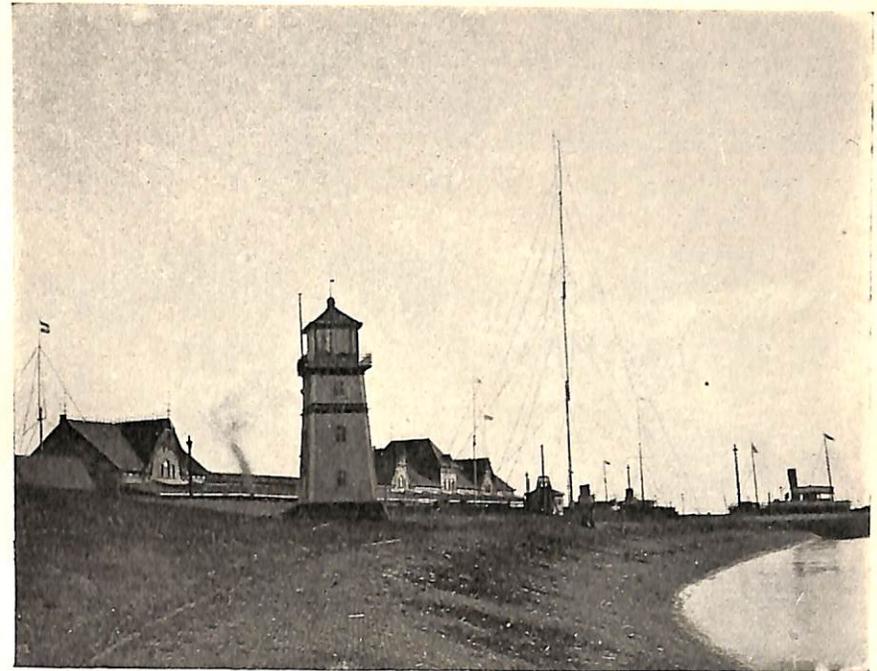


Fig. 65. Bremerhaven.

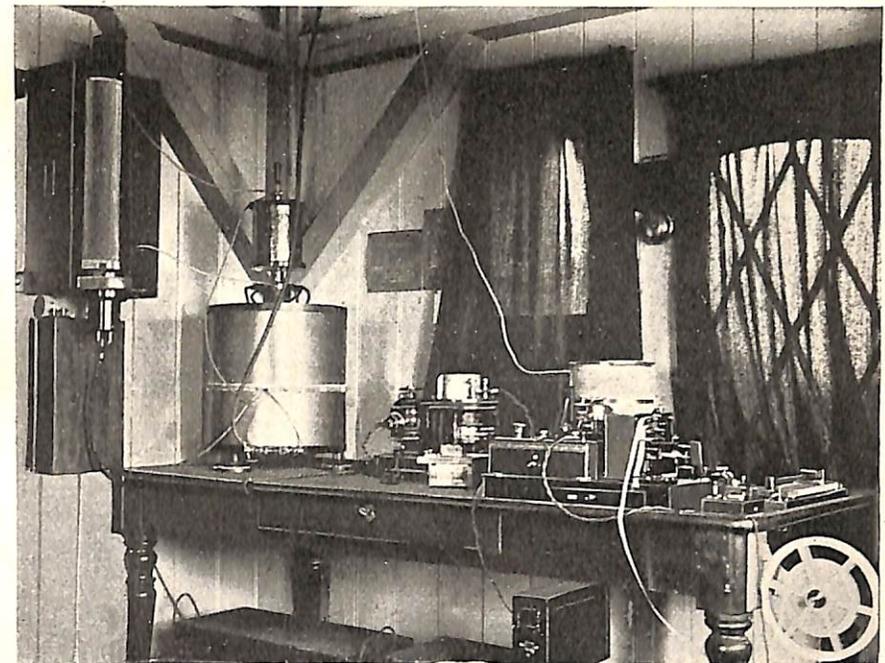


Fig. 66. Apparateraum der Station Bremerhaven.

So ist an der Elbmündung in Duhnen bei Cuxhaven eine Station (Fig. 60) errichtet, und der ausfahrende Schnelldampfer „Deutschland“ der Hamburg-Amerika-Linie (Fig. 62) konnte bereits am 17. Oktober 1901 bis auf 150 km mit dieser Station Duhnen klare Depeschen wechseln. Die letzte, welche damals auf diese Entfernung übertragen wurde,

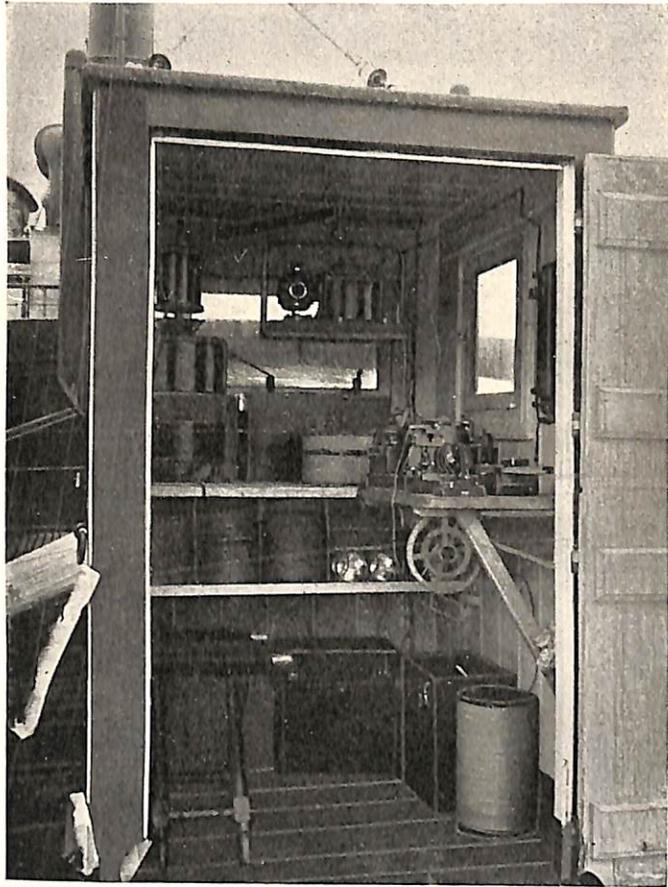


Fig. 67. Apparateraum an Bord des „Seeadler“.

lautete: Hundertfünfzig kl (an Stelle km) Leben Sie wohl auf Wiedersehen (Fig. 63).

Mit Rücksicht auf die Schwankungen des Schiffes werden die Turbinen-Unterbrecher an Bord kardanisch aufgehängt (Fig. 64), so dass sie bei jeder Schiffslage die senkrechte Einstellung der Achse beibehalten und keinerlei Störungen erfahren.

Für den Norddeutschen Lloyd wurde die Lloydhalle in Bremerhaven mit dem 68 km weiter in See liegenden Weserfeuerschiff verbunden. In Bremerhaven kam dabei für den Sendedraht ein besonderer 50 m hoher Mast (Fig. 65) in Anwendung, während die Apparate (Fig. 66) in einem kleinen daneben liegenden Häuschen, vom Lloyd als Villa „Drahtlos“ bezeichnet, untergebracht sind. Bevor die endgültige Er-

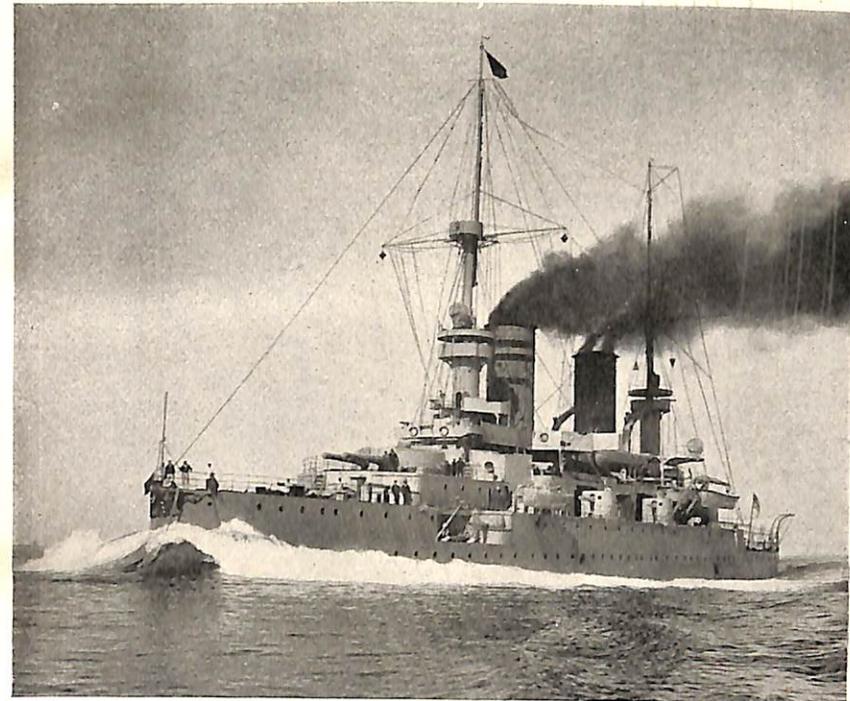


Fig. 68. S. M. Panzer „Kaiser Barbarossa“.

richtung dieser Stationen stattfand, wurden mittels des kleinen Tenders „Seeadler“, den der Norddeutsche Lloyd zur Verfügung stellte, Vorversuche ausgeführt. Hierbei zeigte es sich besonders klar, welchen geringen Raumbedarf die Apparate haben. In einem kleinen Aufbau am Oberdeck (Fig. 67) wurden sämtliche Apparate leicht untergebracht.

Neben der Handelsflotte war es besonders die Kriegsmarine, welche sich der Funkentelegraphie zuwandte. Hierbei wurde der Beweis, dass diese neue Art der Übertragung bereits wirkliche Betriebssicherheit gewährt und insbesondere das System Slaby-Arco einwandfrei arbeitet, dadurch

erbracht, dass die Kaiserlich deutsche Marine nach eingehenden Versuchen dieses System allgemein annahm. Sämtliche Schlachtschiffe, wie S. M. S. „Kaiser Barbarossa“ (Fig. 68) etc., die Küstenpanzer, alle grossen Kreuzer, sowie ein Teil der kleinen Kreuzer und Torpedoboote,

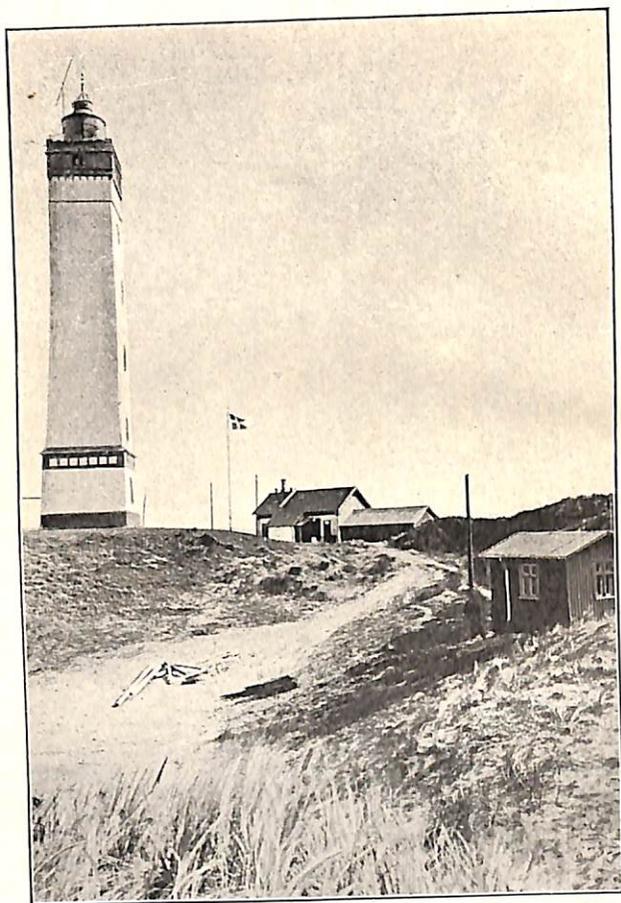


Fig. 69. Leuchtturm zu Blaavandshuk.

zusammen über 50 Schiffe, darunter S. M. Yacht „Hohenzollern“ (Fig. 61), sind mit derartigen Apparaten ausgerüstet. Der Sendedraht ist dabei an einer kleinen Gaffel, die meist am Hintermast sich befindet, angebracht.

Es wurden ferner Stationen errichtet in Österreich, Schweden, Norwegen, Holland, Portugal und Chile für die Marine, in Russland für die Telegraphenverwaltung, in Dänemark für das dänische Leuchtfeuerwesen zur Verbindung des Leuchtturmes Blaavandshuk (Fig. 69

und 70) mit dem 30 km entfernten Feuerschiff Vyl. Letztgenannte Anlage zeigt die Vorteile der Funkentelegraphie für Küsten- und Seezwecke besonders deutlich. Es liegt nämlich das Feuerschiff an einer dem heftigsten Seegange ausgesetzten Stelle, so dass sich bisher jede Verbindung durch Telephon- oder durch Telegraphenkabel als unmöglich erwies. Bei schwerer See und nebligem Wetter war dem Schiff jede Verbindung mit dem Lande abgeschnitten. Durch die Funken-



Fig. 70. Apparateraum der Station zu Blaavandshuk.

telegraphie konnte hier mit einem Schlage in gründlichster Weise Abhilfe geschaffen werden.

Auch der höchste Berg Deutschlands, die Zugspitze (Fig. 71), wurde auf Veranlassung der Generaldirektion der Bayerischen Posten und Telegraphen mit der 2000 m niedriger gelegenen Station Eibsee (Fig. 72) verbunden. Dem auf der Zugspitze Sommer und Winter befindlichen Beamten der dortigen meteorologischen Station ist also eine von Wind und Wetter fast vollkommen unabhängige Verbindung mit der Aussenwelt, von der er sonst wenigstens im Winter so gut wie abgeschlossen war, gegeben.

### Fahrbare Feldstation.

Die ausserordentliche Wichtigkeit einer schnellen und zuverlässigen Nachrichtenvermittlung zwischen gemeinsam operierenden Truppenteilen war ferner die Veranlassung, dass dieser Telegraphie auch in militärischen Kreisen besondere Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Hier machte indessen die notwendige Strombeschaffung grosse Schwierigkeiten; denn so lange man die Abstimmung nicht genügend kannte, war zur Überbrückung einer Entfernung von etwa 30 km ein

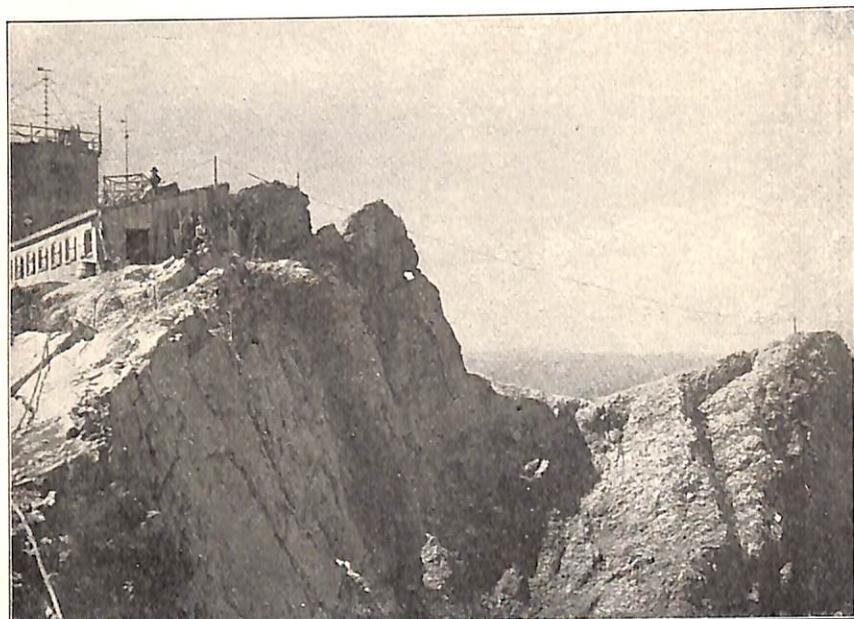


Fig. 71. Station auf der Zugspitze.

Energieaufwand erforderlich, der einer mechanischen Leistung von 2 bis 3 PS. entspricht. Erst die Anwendung der Abstimmung auch auf die militärischen Feldstationen gab die Möglichkeit, für die in Betracht kommenden Entfernungen mit so kleinen Stromstärken auszureichen, dass dieselben leicht von einer Trockenelementbatterie geliefert werden können.

Auf dieser Grundlage, welche die von Feldstationen unbedingt zu verlangende Einfachheit und Beweglichkeit gewährleistet, konnte zur Konstruktion einer fahrbaren funkentelegraphischen Station für Feld-

zwecke geschritten werden. Hierbei sind die Apparate nebst Stromquelle in einem Fahrzeug untergebracht, welches aus einem Vorder- und einem Hinterwagen besteht, die nach dem Protzsystem zusammengehängt werden (Fig. 74).

Im Vorderwagen befinden sich alle Sende- und Empfangsapparate gebrauchsbereit aufgestellt, sowie eine Hälfte der Trockenelementbatterie (Fig. 73). Im Hinterwagen sind die zweite Hälfte der Batterie und die Reserveteile untergebracht. Durch diese Verteilung besitzt die Station eine



Fig. 72. Station in Eibsee.

sehr weitgehende Beweglichkeit; denn obwohl die ganze Einrichtung infolge des geringen Gewichtes von ca. 1800 kg auch ausserhalb gebahnter Wege leicht fortgebracht werden kann, ist man doch im stande, in besonders schwierigem Terrain den Hinterwagen einfach zurückzulassen und mit dem Vorderwagen, der nur 900 kg wiegt, allein vorzugehen, da sich alle notwendigen Teile der Station in demselben befinden und auch die darin untergebrachte eine Hälfte der Batterie den Strombedarf noch zu decken vermag.

Zur Aufführung der aus Phosphorbronze- oder Stahldrahtlitze bestehenden Sendedrähte werden bei genügend starkem Winde Drachen verwendet, bei Windstille mit Wasserstoff gefüllte Ballons.

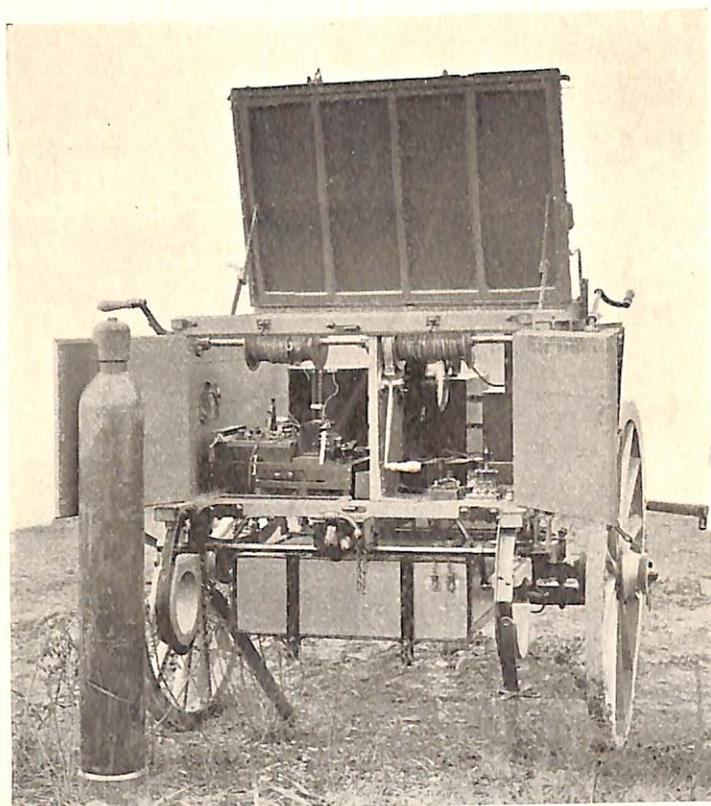


Fig. 73. Fahrbare Feldstation, Apparate.

### Gegenwärtige Stellung der Funkentelegraphie.

Das Ergebnis der gesamten vorstehend ausgeführten Erörterungen lässt sich dahin zusammenfassen, dass sowohl die Ausgestaltung der wissenschaftlichen Grundlagen der Funkentelegraphie wie auch die Herstellung und Anordnung der für dieselbe zur Verwendung kommenden Einrichtungen und Apparate trotz des kurzen, für die Entwicklung zur Verfügung stehenden Zeitraumes als außerordentlich erfolgreich zu bezeichnen ist. Zahlreiche Anlagen sind bereits ausgeführt worden. Etwa 160 Stationen teils zu Wasser teils zu Lande sind nach Marconis

System errichtet, 110 Stationen nach Slaby-Arco. Ferner bestehen noch eine Anzahl Anlagen nach Brauns System und nach einigen französischen, englischen und amerikanischen Abarten. Mit Apparaten nach Slaby-Arco sind unter anderem zahlreiche Plätze der deutschen Nordsee- und Ostseeküste ausgerüstet (Fig. 75), so dass hier bereits für eine weite Strecke eine ununterbrochene Verbindung vorhanden ist. Die dabei erreichbaren Entfernungen der einzelnen Stationen betragen 300 bis 500 km. Marconi allerdings hat es erreicht, zwischen Nordamerika und England über die ganze Breite des atlantischen Oceans zu



Fig. 74. Fahrbare Feldstation.

telegraphieren, also eine Entfernung von annähernd 4000 km zu überbrücken. Dieser grossartige Erfolg war indessen nur zu erzielen durch Aufwendung sehr bedeutender Kräfte für die Erzeugung der erforderlichen elektrischen Energie und durch Errichtung eines sehr umfangreichen Luftdrahtnetzes. Letzteres besteht z. B. bei der Station zu Poldhu in Südengland aus 180 einzelnen Drähten, die zwischen vier turmartigen Gerüsten in Form einer 60 m hohen, mit der Spitze nach unten gerichteten vierseitigen Pyramide angeordnet sind. Diese Anhäufung von Drähten ermöglicht eine sehr kräftige Ausstrahlung, die aber ihrerseits die Aufwendung erheblicher elektrischer Energiemengen verlangt, so dass grosse Strom erzeugende Maschinen mit entsprechenden Apparaten erforderlich sind. Die starken hierbei wirksamen elektrischen Ströme, die fortdauernd den Morsezeichen entsprechend zu schliessen



Entfernungen zu sprechen. Der bedeutungsvollste Teil der telegraphischen Verbindung, welcher es unter anderem auch ermöglichen soll, in der Not Hilfe herbeizurufen, wäre nicht verfügbar.

Das eigentliche Gebiet der Funktelegraphie umfasst nach dem gegenwärtigen Stande ihrer Entwicklung die Signalgebung auf Entfernungen bis zu etwa 500 km. Hier haben Wissenschaft und Praxis ein Werk geschaffen, das von höchster Bedeutung für das Verkehrswesen geworden ist. Durch die Ermöglichung eines Verkehrs von Schiff zu Schiff und zwischen Schiff und Land, auch wenn beide sich längst ausser Sicht gekommen sind, ist eine Lücke ausgefüllt worden, die sich oft schwer schädigend bemerkbar machte, deren Überwindung aber vorher aussichtslos erschien. Eine sichere, einwandfreie, nur noch ausnahmsweise durch atmosphärische Erscheinungen beeinflusste Verständigung ist in wirtschaftlicher Weise ermöglicht und bereits ist eine Einigung der massgebenden Staaten in die Wege geleitet, um eine internationale Regelung dieses neuen Signalwesens zu bewirken.

Die Funktelegraphie hat also eine äusserst wichtige und schwierige Aufgabe in überraschend einfacher Weise gelöst, so dass sie als neues bedeutsames Glied sich einfügt in die Kette der glänzenden technischen Errungenschaften, welche die gegenwärtige Kulturperiode kennzeichnen.

---

Statstelegrafens  
Bibliothek.