Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 2 (1911)

Heft: 11

Artikel: Der heutige Stand der Radiotelegraphie und Radiotelephonie

Autor: Eichhorn, Gustav

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059649

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen **„Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz"** sowie **„Jahresheft"** und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an die

Redaktion: Ing.-Consulent Dr. W. Kummer, Mythenstrasse 15, Zürich II (Telephon 5806)

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den

Verlag: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei Akt.-Ges., Zürich
Bahnhofstrasse 61, Zürich I (Telephon 6741)

Est publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin parait mensuellement et comporte comme annexes annuelles la **„Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse"**, ainsi que l'**„Annuaire"**.

Toutes les communications concernant la matière du „Bulletin" sont à adresser à la

Rédaction: Ing.-Conseil Dr. W. Kummer Mythenstrasse 15, Zurich II (Téléphone 5806)

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les insertions sont à adresser à

l'éditeur: Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei Akt.-Ges., Zurich
Bahnhofstrasse 61, Zurich I (Téléphone 6741)

II. Jahrgang
IIe Année

Bulletin No. 11

November
Novembre 1911

Der heutige Stand der Radiotelegraphie und Radiotelephonie.

Von *Dr. Gustav Eichhorn,* Zürich.

Die nachstehenden Ausführungen sollen in grossen Zügen ein Bild von dem heutigen technischen Stand der Radiotelegraphie und Radiotelephonie geben. Wegen der grossen Ausdehnung des Gebietes können wir dabei auf Einzelfragen und wissenschaftliche Diskussionen nicht eintreten; das muss späteren Spezialaufsätzen vorbehalten bleiben. In dieser Zeitschrift genügt es wohl auch, den historischen Entwicklungsgang nur kurz zu streifen. Die Ergebnisse der klassischen Untersuchungen von *Heinrich Hertz* „über die Ausbreitung der elektrischen Kraft" (vielmehr der Energie, wie wir heute richtiger sagen), bezw. die sich auf die Anschauungen des grossen englischen Physikers *Michael Faraday* stützende *Maxwell*'sche elektromagnetische Lichttheorie, bilden das eigentliche Fundament der neuen Verkehrsmittel. Alle Strahlungserscheinungen sind nach der letztern elektromagnetische Oszillationen im Weltäther, unterschieden von einander nur durch die Grösse der Wellenlänge. Wir haben als erste Relation

$$\frac{\lambda}{T} = n\lambda = V$$

wo bedeuten: λ = Wellenlänge, T = Schwingungsdauer, $n = \frac{1}{T}$ = Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, V = Fortpflanzungsgeschwindigkeit (3,10 ^{10}cm/sec.). Die Arbeiten von Hertz stammen aus der Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, aber erst eine (im Jahre 1890 erfolgte) Entdeckung des französischen Physikers *Branly,* die zur Ausbildung des bekannten Kohärers[1]) als Detektor elektromagnetischer Wellen führte, ermöglichte ihre praktische Anwendung. Eine erste solche war die von dem russischen Physiker *Popoff* (Kronstadt) erzielte automatische Registrierung luftelektrischer Entladungen vermittels des Kohärers, dessen einer Pol an einen Blitzableiter angeschlossen, dessen anderer Pol geerdet

[1]) Der Kohärer wirkte als Relais und wurde durch eine an seinen Polen auftretende Mindestspannung betätigt. Die neueren Detektoren arbeiten dagegen in der Mehrzahl in der Weise, dass sie die ankommende Schwingungsenergie gleichrichten; mit dem so erzeugten pulsierenden Gleichstrom wird dann eine Telephonmembran bewegt oder ein Galvanometer betätigt.

war, in Verbindung mit einem Klopfer, Relais und Morseschreiber. Prinzipiell die gleichen Anordnungen benützt dann endlich 1895 *Marconi* in seinen Versuchen auf dem Landgute seines Vaters in Bologna mit der ausgesprochenen Absicht, eine Telegraphie ohne Draht auszubilden. Der Marconi-Sender war ein Hertz'scher Oszillator, anfangs in der Form, welche *Righi* ihm gab, dessen Vorlesungen Marconi besuchte, später in der Weise verändert, dass der Luftdraht oder Antenne und die Erdverbindung an die Stelle der beiden Hälften des Hertz'schen Oszillators traten. In das Jahr 1896 fallen Marconis Versuche in England mit Unterstützung des Chefs des englischen Telegraphenwesens Sir *William Preece,* und in das Jahr 1897 seine Versuche im Hafen von Spezia, woselbst er 15 km überbrückte. Mit wesentlich den gleichen Anordnungen kamen *Slaby* und *Graf Arco* kurz darauf auf 21 km durch Benutzung von 300 m langen Luftdrähten. Die Fragestellung, warum sich der weiteren Vergrösserung der Reichweite immer grössere Schwierigkeiten entgegenstellten, führte dann *Ferdinand Braun* zur Ausbildung seiner sogenannten gekoppelten Systeme, die dann bald ausschliesslich benutzt wurden und die Reichweite schliesslich auf tausende von Kilometern erhöhten. Eine theoretische Abhandlung von *Max Wien* „über die Verwendung der Resonanz in der drahtlosen Telegraphie" aus dem Jahre 1902 klärte gründlich die Schwingungsvorgänge in gekoppelten Systemen; hervorzuheben sind auch analytische Arbeiten von *P. Drude,* J. Zenneck, L. Mandelstam u. a. Epochemachend wurde dann *M. Wiens* Entdeckung der sogenannten Löschfunken, d. h. die Benutzung sehr kleiner Funkenstrecken an Stelle der relativ grossen Funkenstrecke des gewöhnlichen Braun-Senders. Hieraus entstand, hauptsächlich durch das Verdienst von *Graf Arco* und *Rendahl,* das neue vorherrschende Telefunken-System der „tönenden Funken". Eng hiermit verwandt ist der *Rein*'sche „Tonsender" der C-Lorenz Aktiengesellschaft. Die Analyse des Braun-Senders wies dann aber auch auf den diskontinuierlichen Charakter seiner Schwingungen hin. Der englische Physiker *Duddell* hat schon seit längerer Zeit die Entdeckung relativ schneller kontinuierlicher elektrischer Schwingungen gemacht, indem er unter gewissen Bedingungen einen Schwingungskreis an einen Gleichstromlichtbogen anschloss. Durch Einbettung des Lichtbogens in Wasserstoff oder eine Wasserstoff enthaltende Atmosphäre, sowie durch andere Mittel (transversales Magnetfeld, Verwendung verschiedenartiger Elektroden, einseitige Kühlung derselben etc.) gelang es dann *Valdemar Poulsen* solche kontinuierlichen Schwingungen mit genügender Hochfrequenz und Intensität zu erzeugen. Die letzte Epoche dieser Bestrebungen gipfelt aber in der jüngst erfolgten Ausbildung der Hochfrequenzmaschine durch *Rudolf Goldschmidt* [1]).

Für die Einzelbetrachtung der einzelnen Epochen kann ich mich hinsichtlich des Marconi-Senders [2]) kurz fassen. Seine Energiekapazität ($^1/_2\ C\ V^2$, wo C die Kapazität und V die Spannung an der Funkenstrecke bedeuten) ist gering. Die Notwendigkeit der Verwendung dieses offenen Hertz'schen Oszillators liegt in seinem spezifischen Vermögen, die Energie auszustrahlen, wie es *Hertz* auch theoretisch durch seine bekannten Strahlungsdiagramme gezeigt hat. *Hertz* hatte aber schon gefunden, dass eine übermässige Vergrösserung der Funkenstrecke (zwecks Vergrösserung von V) den Funken „inaktiv" machte; er wies bereits auf die starke Dämpfung [3]) seiner Oszillatoren hin. *Bjerknes* führte im Jahre 1891 seine heute noch grundlegenden Messungen der Dämpfung aus und ermittelte das Dekrement für einen linearen Oszillator zu 0,26, wenn derselbe nur kleine Funkenstrecken enthielt. Wurde letztere aber bis auf 5 mm vergrössert, so stieg das Dekrement bis auf 0,40. Bei der vorhandenen kleinen Kapazität verzehrte der Funke offenbar einen grossen Bruchteil der Energie. Es war seit *Helmholtz, Feddersen, W. Thomson (Lord Kelvin), Kirchhoff* eine viel bessere Methode der Erzeugung elektrischer Schwingungen bekannt,

---

[1]) Früher konstruierten Maschinen von *Duddell, S. G. Brown, Fessenden, M. Wien* u. a. fehlte es entweder an genügender Frequenz oder Leistung.

[2]) Da die vom Marconi-Sender erregten stark gedämpften Schwingungen sehr unangenehme Störungen anderer benachbarter Stationen hervorrufen, ist er neuerdings in Deutschland für den öffentlichen Verkehr nicht mehr zugelassen.

[3]) Das Verhältnis zweier aufeinanderfolgenden Amplitudenwerte von Schwingungen bezeichnet man als ihre Dämpfung und den natürlichen Logarithmus desselben als Dekrement, das als bequemes Mass der Dämpfung benützt wird.

nämlich die oszillatorische Entladung von Leidener Flaschen. *Thomson (Lord Kelvin)* hatte zuerst die bekannte Differentialgleichung aufgestellt, aus deren Lösung man Aufklärung über die Vorgänge ersehen konnte, die dann vielfach experimentell verifiziert wurden [1]). Zu beachten ist zunächst, dass nur Schwingungen entstehen, wenn

$$W < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

wo W den Gesamtwiderstand, L die Selbstinduktion und C die Kapazität im Schwingungskreis bedeuten. $W = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ trennt also die Gebiete der periodischen und aperiodischen Entladungen von einander; für letztere ist also $W > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$. Als praktisch besonders wichtig ist der Ausdruck für die Schwingungsdauer $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{W^2}{4L^2}}}$ der, wenn $\frac{W^2}{4L^2}$ gegen $\frac{1}{LC}$ zu vernachlässigen ist, wie es meistens der Fall ist, in die einfache Form

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

übergeht. Hieraus lässt sich dann nach vorher angegebener Relation die Wellenlänge berechnen, wie es in der drahtlosen Telegraphie früher in jedem einzelnen Falle geschah; heute steht dafür der später zu beschreibende Wellenmesser zur Verfügung, der eine sofortige Ablesung gestattet.

Der aus der Thomson'schen Formel sich ergebende Ausdruck für das Dekrement $\delta = \pi W\sqrt{\frac{C}{L}}$ ist nicht ohne weiteres für die Rechnung anwendbar, da in Kreisen mit Funkenstrecke W nicht einen konstanten Ohm'schen Widerstand darstellt, sondern eine unbekannte Funktion der Elektrizitätsmenge, des Potentials und der Frequenz ist; auch sind Energieverluste (selbst bei Kreisen ohne Funkenstrecke), die das Dekrement vergrössern, unvermeidlich. *Braun*s Ueberlegungen gingen nur dahin, dass, wenn es gelingt, eine *funkenlose* Antenne aus einem durch eine Funkenstrecke geschlossenen Flaschenkreis grosser Kapazität (der selbst nicht merklich strahlt), zu Potentialschwankungen zu erregen, deren Mittelwert dem der Anfangladung im Marconi-Sender gleich ist — dass man dann einen wirksamen Sender besitzen würde. Die drei resultierenden Schaltungen, die direkte (magnetisch-galvanische), induktive (elektromagnetische) [2]), sowie die aus beiden gemischte, zeigten bald die Richtigkeit dieser Ueberlegungen in der grossen Ueberlegenheit der gekoppelten Systeme über den einfachen Marconi-Sender. An Stelle der schwachen stossartigen Ausstrahlungen des letzteren traten relativ lang anhaltende kräftige Wellenzüge, deren Energie unaufhörlich aus dem grossen Energiereservoir des primären Kreises nachgeliefert wurde. Durch zwangläufige Verbindung mehrerer Kreise gleicher Schwingungszahl wurde *Braun* dann ferner noch zu seiner „Energieschaltung" geführt. *Braun* erkannte auch von Anfang an die Wichtigkeit der Resonanz zwischen den von einander abhängigen Schwingungssystemen.

In seinen gründlichen theoretischen Untersuchungen, die dann *M. Wien* über die gekoppelten Systeme anstellte, rekurrierte er auf die interessanten akustischen Experimente von *Warburg* aus dem Jahre 1868, auf die theoretischen Arbeiten von *J. von Geitler* über ungedämpfte gekoppelte elektrische Systeme (elektrische oder Kraftkoppelung) und die Arbeit von *Galitzin* und *Oberbeck* (1895) über magnetische oder Beschleunigungskoppelung.

---

[1]) Speziell auch für funkenlose Schwingungskreise an den Zürcher Hochschulen mittels Helmholtz-Pendel durch Schüler von *Prof. Dr. A. Kleiner* (Universität) und von *Prof. Dr. H. F. Weber* (Eidgen. Technische Hochschule).

[2]) Wie zuerst *L. Mandelstam* mathematisch gezeigt hat, sind die Schaltungen prinzipiell nicht von einander verschieden und können theoretisch von einander abgeleitet werden.

Wien erörtert die induktiv gekoppelten Systeme und behandelt jedes mit einem Grade der Freiheit, ein spezieller Fall in dem Bereich der Schwingungen mit mehreren Graden der Freiheit, deren Gesetze *Lord Rayleigh* in seinem Werke „Theory of Sound" ermittelt hat. Das Ergebnis der Wien'schen Rechnung[1]) ist kurz folgendes: Sind beide Systeme — primärer Kreis und offene Antenne (sekundäres System) — auf gleiche Schwingungszahl gebracht, so resultiert trotzdem eine einzige Schwingungszahl nur dann, wenn die Koppelung[2]) zwischen beiden Systemen „lose" ist. Die Dämpfung der ausgesandten Welle kann dann im günstigsten Falle auf den relativ kleinen Dämpfungswert (der hauptsächlich durch die Funkendämpfung bestimmt ist) des primären Kreises herabgedrückt werden. Bekanntlich hat jede Koppelung zwischen zwei Systemen nicht nur eine Wirkung des Primärsystems auf das sekundäre, sondern auch eine Rückwirkung des Sekundärsystems auf das primäre zur Folge. Ist die Rückwirkung so gering, dass sie die Schwingungen im Primärsystem nicht merklich beeinflusst, so spricht man von «loser» Koppelung, bei starker Rückwirkung von «fester» Koppelung. Bei ganz fester Koppelung zweier Schwingungssysteme, die aber, wie schon erklärt, in der Radiotelegraphie unmöglich ist, würde in Uebereinstimmung mit der Theorie auch nur eine einzige Schwingung entstehen, die aber eine gegen den gemeinsamen Eigenton differierende Schwingungszahl aufweist. Braun's Systeme arbeiten in der Regel mit einer mittleren Koppelung; es tritt dann nicht eine einzige Schwingung auf, sondern es sind stets zwei sogenannte Koppelungswellen von verschiedener Schwingungszahl und Dämpfung vorhanden, die um so weiter auseinanderliegen je enger die Koppelung ist. Zusammen ergeben sie Schwebungen (siehe später Abb. 5 obere Kurven). Man muss sich natürlich fragen, wie es möglich ist, dass trotz der nach jeder Entladung offenen Funkenstrecke, die Energie zwischen den beiden Systemen hin- und herpendeln kann. Die Erklärung liegt darin, dass leider nach jeder primären Entladung und dem Hinüberfluten der Energie auf die Antenne bei der im Braunsystem benutzten grossen Funkenstrecke letztere niemals vollständig nichtleitend wird infolge der nicht instanten verschwindenden Jonisation. Die unmittelbare Folge dieser Eigentümlichkeit ist eine grosse Energievergeudung durch den beim Rückfluten wieder entstehenden Funken und das somit ermöglichte Auftreten von zwei Koppelungswellen, von denen nur die eine im Empfänger[3]) ausgenützt wird, was natürlich gleichfalls wieder eine Energievergeudung bedeutet. Die Beseitigung dieses Uebelstandes spielt gerade eine wichtige Rolle hinsichtlich des Wirkungsgrades des neuen Wien-Telefunken-Systems der tönenden Funken, auf das wir nachher zu sprechen kommen werden.

Es ist klar, dass bei loser Koppelung die Energieübertragung an sich reduziert wird; in diesem Falle erhält man deshalb einen schwachen, dafür aber auch schwach gedämpften Wellenzug in Analogie zu einem sanften, langsam abklingenden Stimmgabelton, der nur einen genau gleichgestimmten Empfänger erregt. Im Falle festerer Koppelung dagegen ensteht ein kräftiger, dafür aber stark gedämpfter Wellenzug, zu dem etwa ein Kanonenschuss, der weithin hörbar ist, in Analogie steht. Die ganz lose Koppelung im Sender kam wegen der resultierenden unvermeidlichen Reduktion der Reichweite nur selten zur Anwendung. Dagegen erwies sich dieselbe im Empfänger als sehr fruchtbar. Wie zuerst von *Mandelstam*

---

[1]) Eine zusammenfassende Uebersicht der Theorie findet sich in meinem englischen Buche „Wireless Telegraphy" London 1906, Seite 24—28.

[2]) Eine genügende Definition für die Koppelung ist: $\tau^2 \; L_1 \; L_2 = L_{12}{}^2$, wo $L_1 \; L_2$ die Selbstinduktions-Koeffizienten des primären und des sekundären Systems, L_{12} den Koeffizienten der gegenseitigen Induktion und $\tau^2 = \tau_1 \; \tau_2$ die Koppelungs-Koeffizienten bedeuten. Die Grenzen für den Koppelungsgrad sind $0 \leqq \tau \leqq 1$. Eine vollständig feste Koppelung $\tau = 1$ oder $L_1 \; L_2 = L_{12}{}^2$ d. h. wo alle magnetischen Kraftlinien des primären Systems die Stromfläche des sekundären Systems durchsetzen, ist bei der praktischen Radiotelegraphie wegen der Art der Anordnung bezw. der Selbstinduktion des freien Luftdrahtes unmöglich. Bei magnetischer Koppelung wird die Koppelung um so loser, je weiter man unter sonst gleichen Umständen die Systeme von einander entfernt, bei kombinierter, magnetischer und galvanischer Koppelung (direkte Schaltung), je mehr man den gemeinsamen Teil der beiden Systeme reduziert.

[3]) Verschiedene Versuche z. B. von *Fleming,* dem wissenschaftlichen Berater von *Marconi,* beide Koppelungswellen im Empfänger auszunützen, sind nicht zu allgemeiner Durchführung gelangt (vergl. Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie **3,** 191. 1909).

in Strassburg, dann auf den meiner Leitung unterstellt gewesenen Ostseeversuchsstationen *(Braun-Siemens & Halske)* festgestellt wurde, stieg mit loser Koppelung die Wirkung; dieses Resultat im Empfänger war nicht an die Bedingung einer ebenfalls losen Koppelung im Sender gebunden. Hieran anknüpfend gab *Prof. Braun* in seinem Nobelpreisvortrag folgende Schilderung der damaligen weiteren Entwicklung:

„Aus diesen Versuchen ergaben sich zwei wichtige Resultate: Erstens eine grosse Störungsfreiheit des Empfängers, zweitens ein für die drahtlose Technik wertvolles Messinstrument. Als nämlich *Franke* von der mit uns arbeitenden Firma *Siemens & Halske* die Versuche sah, schlug er vor, darauf einen technisch brauchbaren Apparat zu gründen. Bisher war der Resonanzkreis aus vorhandenen Stücken zusammengestellt worden, je nach den vorliegenden Bedürfnissen und dem, was Passendes zur Hand war. Durch Kombination eines *Köpsel*schen geeichten variablen Drehkondensators mit einer Anzahl berechneter Selbstinduktionen wurde ein Apparat konstruiert, welcher bequem und stetig ein grosses Gebiet von Wellenlängen umfasste. Der Stromeffekt wurde mit einem *Ries*sschen Luftthermometer gemessen, welches ich schon seit langem für die Intensitätsmessung schneller Schwingungen benutzt hatte. *Dönitz* fiel die technische Ausarbeitung zu. So entstand der von ihm beschriebene und meistens nach ihm benannte Wellenmesser[1]), ein Apparat, welcher unter Benutzung der von *Bjerknes* schon im Jahre 1891 entwickelten Theorie gestattete, gleichzeitig die Dämpfung von elektrischen Schwingungen zu messen, eine Grösse, deren numerische Ermittlung immer notwendiger wurde."

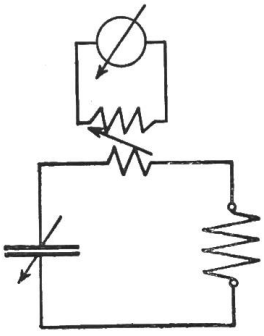


Abbildung 1: Schema des Wellenmessers

Die Abbildung 1 zeigt das Schema für dieses wichtige Messinstrument, das man also durch das zu untersuchende schwingende System erregt, z. B. induktiv durch eine im Luftdraht angebrachte Messschleife, und auf Resonanz einstellt. Die Kurven nach Abbildung 2 ergaben sich aus einer solchen Wellenmessung (besser Frequenzmessung), bei der die beobachteten Stromeffekte als Ordinaten, die dazu gehörigen Frequenzen als Abszissen aufgetragen sind. Die strichpunktierte Kurve ist der einzigen Welle bei loser Koppelung zugehörig; die stark ausgezogene Kurve zeigt die beiden Koppelungswellen bei normaler Koppelung. Wir fügten bei den Messungen schliesslich noch eine zusätzliche Dämpfung im Messkreis zu, wodurch die ohnehin stark gedämpfte Schwingung weniger beeinflusst werden musste, als die schwach gedämpfte, und ermittelten so durch die gestrichelte Kurve welche der beiden Wellen die schwächer gedämpfte war. Die neueren Modelle Wellenmesser, in denen auf die Ver-

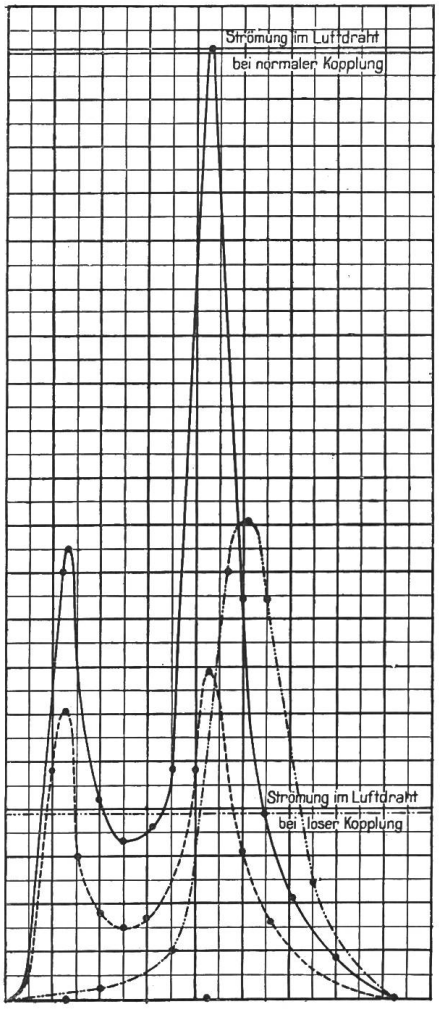


Abbildung 2: Resonanzkurven.

[1]) Die sonst noch benutzten einfachen Wellenmesser mit offener Strombahn, z. B. der sogenannte Multiplikationsstab von *Slaby,* werden wegen ihrer nicht genauen Angaben heute nur noch selten benutzt. Neuerdings ist noch eine prinzipiell andere Methode zur Bestimmung der Dekremente und Schwingungszahlen elektrischer Schwingungskreise die sogen. Nullmethode von *Mandelstam* und *Papalexi* ausgebildet worden (siehe Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie u. Telephonie **4,** 605. 1911). Auf ein neuerdings ausgebildetes, sehr praktisches, direkt anzeigendes Wellenmessinstrument der Dr. Erich F. Huth G. m. b. H. in Berlin sei auch hingewiesen (vergl. Jahrbuch **4,** 250. 1911).

ringerung der inneren Verluste und auf die Gleichmässigkeit der Energieabgabe an das Hitzdrahtinstrument (ein empfindlicher Strommesser an Stelle des alten Riess'schen Luftthermometers) besonders hingearbeitet wurde, sind noch durch eine von mir angegebene Schaltung für Stosserregung zu einem sehr schwach gedämpften Sender mit einer grossen Wellenskala und dadurch auch geeignet als Mess- und Untersuchungs-Instrument für Empfangskreise gemacht worden.

Es ist neuerdings von *Mandelstam* ein Pendelmodell[1]) angegeben worden, mit dem man sehr anschaulich alle Schwingungsvorgänge in gekoppelten Kondensatorkreisen demonstrieren kann. Dieses Modell besteht gemäss Abbildung 3 aus zwei Hauptpendeln, welche durch ein System von Zahnrädern und ein drittes — mittleres — Pendel miteinander „gekoppelt" sind (mechanisches Analogon für *Braun*'s „direkte" Schaltung). In der linken Seite der Abbildung sind ferner drei kleine Pendelresonatoren zu sehen; diese leichten Pendelchen sind auf der Achse einer der Hauptpendel befestigt und dienen zur Analyse des Schwingungsvorganges. Die Hauptpendel sind auf der Achse befestigt und tragen verstellbare Gewichte. Das mittlere Pendel, welches die beiden Hauptpendel verkoppelt, ist so beschaffen, dass die Drehungsachse durch seinen Schwerpunkt geht. Jedes der Pendel hat eine getrennte Achse, die auf derselben Geraden liegen. Mit den Enden der Achsen der beiden Hauptpendel sind zwei gleiche Zahnräder starr verbunden, deren Zähne in die Zähne eines dritten Zahnrades eingreifen, welches lose auf der Stange des mittleren Pendels sitzt und sich frei um dieselbe drehen kann. Von den kleinen Pendelresonatoren ist das mittlere Pendelchen auf die gleiche Eigenschwingung jedes der beiden Teilsysteme, und die beiden äussern Pendelchen auf die nach der Verkoppelung entstehenden Partialschwingungen abgestimmt. Es lassen sich mit dem Modell nun folgende Versuche anstellen:

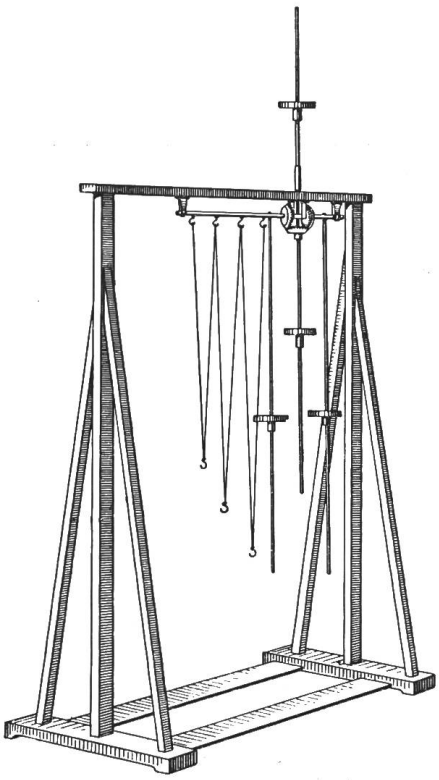


Abbildung 3:
Pendelmodell nach Mandelstam.

1. Zunächst kann man die Eigenschwingung eines der beiden Teile des Systmes zeigen. Bei dem elektrischen System mit Funkenerregung wird in diesem Fall der Kondensator des einen Kreises geladen, bis der Funke durch ein plötzliches Ueberspringen die Schwingungen auslöst. Dabei bleibt der zweite Kreis unterbrochen. Analog wird beim Pendelmodell das eine Hauptpendel (das linke in Abbildung 3) aus der Gleichgewichtslage um einen gewissen Winkel herausgedreht und dann losgelassen, wobei das zweite Hauptpendel mit der Hand festgehalten wird. Man sieht dabei folgendes: Das erste Hauptpendel führt einfache Schwingungen um seine Gleichgewichtslage aus. Alle drei kleinen Pendelchen-Resonatoren fangen an sich zu bewegen, doch sind die Amplituden recht klein. Allmählich wächst die Amplitude des mittleren Resonators, wird viel grösser als die der übrigen und bleibt eine Zeit lang konstant.

2. Um den Schwingungsvorgang bei dem gekoppelten System zu demonstrieren, bringt man eines (zweckmässig das rechte der Figur) der Hauptpendel wieder aus der Gleichgewichtslage und überlässt es dann sich selbst; dabei wird aber jetzt das andere Pendel nicht festgehalten. Dies entspricht elektrisch dem gewöhnlichen Fall, dass man zwei direkt gekoppelte Kondensatorkreise hat, von welchen nur der eine geladen wird. Wir beobachten am Modell nun das Folgende: Zunächst macht nur das eine Hauptpendel Schwingungen; allmählich kommt dann das andere Hauptpendel in Bewegung, seine Amplituden werden

[1]) Ausführlichere Beschreibung und theoretische Erklärung, vergl. Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie **4**, 515. 1911. Es ist ein Ersatz für das bisher vielfach benützte Pendelmodell nach *Oberbeck*, das den vorliegenden elektrischen Verhältnissen nicht recht entsprach.

grösser, indem gleichzeitig die Amplituden des ersten Pendels abnehmen, dann wieder der umgekehrte Vorgang usw. Wenden wir uns zur Analyse der Schwingungen mittelst der kleinen Resonatoren, so sehen wir hier, dass zunächst wieder alle drei Pendelchen in schwache Schwingungen geraten, dass dann aber die Amplituden der beiden äusseren stark anwachsen, während das mittlere Pendelchen beinahe vollständig zur Ruhe kommt. Man sieht hier also unmittelbar, dass durch die Koppelung zwei Schwingungen entstehen, von denen eine tiefer und die andere höher als die Eigenschwingung jedes der beiden Teilsysteme ist.

Es sei ferner schon vorweg genommen, wie man mit dem Modell auch die Vorgänge bei der Stosserregung elektrischer Schwingungen („tönende Funken", vide Seite 266) einfach demonstrieren kann. Das Bild, welches man sich hiervon macht, ist folgendes[1]): Man hat zwei gekoppelte Kreise, von denen der eine — Stosskreis — geladen wird. Bei der Entladung geht die Energie auf den anderen Kreis über, und sobald die ganze Energie im zweiten Kreis angesammelt ist, erlischt der Funke; der Stromkreis wird somit unterbrochen und der zweite Kreis schwingt von nun an mit seiner Eigenperiode weiter. Bei dem Modell wird analog das zweite, rechte, Pendel in Schwingungen versetzt, das erste, linke, Pendel bleibt frei. Sobald dann die Amplitude des linken Pendels gross geworden ist und dagegen die Amplitude des rechten Pendels bis zu einem Minimum abgenommen hat, wird das rechte Pendel mit der Hand festgehalten. Das linke Pendel fährt fort zu schwingen, und zwar von nun an selbstverständlich mit seiner Eigenperiode. Dies zeigen klar die kleinen Pendelchenresonatoren. Im Anfang kommen alle drei in schwache Schwingungen; sobald aber das rechte Hauptpendel angehalten ist, nimmt die Amplitude des mittleren Resonatorpendelchens sehr stark zu, während die anderen Pendelchen ganz zur Ruhe kommen.

Zu den allergrössten Stationen hinsichtlich der Mächtigkeit ihrer elektrischen Schwingungsenergie und Reichweite, die überhaupt gebaut wurden, gehört die Telefunken-Grosstation *Nauen*[2]) mit einer Turmhöhe von 100 m, Reichweite 4000—5000 km, Antennenenergie ca. 30 KW. Der Turm ist in Eisenkonstruktion ausgeführt und auf einem isolierenden Betonfundament mittelst einer Stahlkugel beweglich; er trägt eine grosse sogen. Schirmantenne, bestehend aus einer grossen Anzahl von in besonderer Weise verseilten Bronzelitzen, die nach abwärts isoliert gegen Erde ausgespannt sind.

Derartige Antennengebilde sind hervorgegangen aus dem Bestreben, zur Vergrösserung der Reichweite die Antennen grosse Energiemengen aufnehmen zu lassen, ohne dass allzu grosse Spannungen in derselben durch Sprühen Verluste herbeiführten. So musste man, nach Erreichung der zulässigen Höchstspannung, die Energie, welche die Antenne aufnehmen sollte, durch Vergrösserung ihrer Kapazität erzielen, was in solchen Schirmantennen am besten realisiert ist. *Braun* führte darüber kürzlich in einigen Aufsätzen in der Frankfurter Zeitung noch folgendes aus: „In Verbindung mit dieser Aenderung kam man auf grosse Wellenlängen. Die Praxis hat damit, von wesentlich anderen Gesichtspunkten geleitet, einen Weg betreten, der, wie später *Sommerfeld* in einer ausgezeichneten theoretischen Untersuchung zeigte, anderer Umstände wegen der richtige war. Wenn diese mächtigen Antennen nun auch, absolut gemessen, viel Energie ausstrahlten, so war doch dieselbe, ausgedrückt in Prozenten der auf ihr vorhandenen Energie, geringer als bei den ganz offenen Sendern, d. h. ihre nützliche Strahlungsdämpfung wurde sehr klein. Die Erregung aus dem geschlossenen Flaschenkreis hatte dann aber für die Dämpfung der ausgesendeten Wellen keinen Vorteil mehr, ausser wenn man, wie es auch tatsächlich gelang, die Dämpfung des Kondensatorkreises wieder verkleinern konnte." Wir werden auf diesen Gesichtspunkt noch bei den ungedämpften Wellen später zurückkommen.

---

[1]) Fasst man die Definition der elektrischen „Stosserregung" wörtlich auf, so kann man davon nur bei Schaltungen sprechen, wie sie wohl zuerst von mir angegeben wurden und heute in allen Wellenmessern und sogen. Stationsprüfern benützt werden. (Die Nützlichkeit der Schaltung wurde den Firmen aber plötzlich erst klar, als ich das Patent verfallen liess, da mir die Verwertung nicht gelang).

[2]) Nauen wird augenblicklich nach dem Prinzip der „tönenden Funken" umgebaut, wobei gleichzeitig der Turm auf die doppelte Höhe gebracht wird, woraus natürlich auch eine ganz erhebliche Vergrösserung der Reichweite resultiert.

Der Antenne entsprechend, ist ferner ein ähnliches Netz von strahlenförmig um den Turm und das Erdreich verlegten Eisendrähten vorhanden. Ueber die eigentliche Bedeutung der Erdung beziehungsweise des „Gegengewichts" hat zuerst *Zenneck* die richtigen Anschauungen entwickelt. Wir entnehmen seinen diesbezüglichen Ausführungen in seinem ausgezeichneten neueren Werke „Leitfaden der drahtlosen Telegraphie"[1]) folgendes: Würde man eine Antenne, z. B. Einfachantenne, unten frei endigen lassen, so würde sich am unteren Ende ein Stromknoten befinden. Es würde dann zum mindesten mit Schwierigkeiten verknüpft sein, durch Ladung oder auch durch Koppelung mit einem Primärkreis kräftige Schwingungen auf der Antenne zu erregen. Es sind deshalb folgende zwei Verfahren im Gebrauch: 1. Erdverbindung, 2. Gegengewicht, d. h. ein isoliert von der Erde parallel bei derselben ausgespanntes Drahtnetz. Nur eine gute Erdverbindung, d. h. ein tatsächlich vorhandenes gutes Leitvermögen des Bodens erfüllt den Zweck, dass durch sie an dem Fusse der Antenne ein Strombauch verlegt wird. Die Wirkung eines Gegengewichts auf die Stromverteilung in der Antenne ist von derjenigen einer guten Erdverbindung nicht wesentlich verschieden, gleichgültig wie der Boden beschaffen ist. Was die Dämpfung der Antenne angeht, so geben folgende Zahlen annähernde Werte für die Dekremente der verschiedenen Antennenformen:

Schirmantenne	0·1
Einfachantenne Schiffs(T)antenne	0·2—0·3
Harfenantenne Kegelantenne	0·3—0·4
Doppelkegelantenne	0·5

Die Antennenformen haben sich in den letzen Jahren wenig geändert. Für Schiffe ist die einfache und die verlängerte T-Antenne beibehalten, für Landstationen die Schirm- und Doppel-Konus-Antenne mit Metallmast, oder gerichtete Antennen (siehe später bei „gerichteter Telegraphie").

Auf nähere Beschreibung der Sender-[2]) und Empfängerräume glaube ich verzichten zu können, zumal solche in vielen Fachzeitschriften zu finden ist. (Z. B. Jahrbuch für drahtlose Telegraphie und Telephonie, 1, 149, 1907.)

Will man im Sender nicht nur die Wellenlänge, sondern auch den Koppelungsgrad schnell bestimmen, so kann dazu auch der Wellenmesser, der auf jeder modernen Station mit einer fest verlegten Messleitung dauernd geschaltet ist, dienen. Ist nämlich λ_0 die gemeinsame Eigenwelle der Systeme vor der Koppelung und bedeuten λ_1 λ_2 die beiden Koppelungswellen, so gelten die Gleichungen $\lambda_1 = \lambda_0 \sqrt{1+\tau}$ und $\lambda_2 = \lambda_0 \sqrt{1-\tau}$; hieraus ergibt sich für den Koppelungsgrad τ in grosser Annäherung eine Proportionalität mit $\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_0}$, ein Ausdruck, der der sofortigen Messung mit dem Wellenmesser zugänglich ist. Der Wellenmesser dient schliesslich auch zur Bestimmung der Dämpfung resp. des Dekrements[3]) nach der *Bjerknes*'schen Resonanzmethode.

Was im Empfänger die Ausnutzung der Resonanzfähigkeit angeht, so sei kurz folgendes rekapituliert. *Slaby* und *Arco* erreichten einen abgestimmten Empfänger, indem sie in ihm eine abgestimmte Spule (einen *Hertz*schen Resonator in Spulenform), zwischen deren Enden der Kohärer lag, anbrachten; *Marconi* und *Braun,* gleichzeitig und unabhängig von einander, indem sie die von der Empfangsantenne aufgenommene Energie wieder — eine Umkehrung des Senders — auf einen abgestimmten Kondensatorkreis übertrugen, wobei von den gegebenen zwei Möglichkeiten der Ausführung zufällig *Marconi* die eine und

---

[1]) Verlag von Ferdinand Enke, Stuttgart 1909.

[2]) Nach der bisherigen Einrichtung mit dem Braun-System gingen die Entladungen zur Auslösung der Schwingungen in armdicken Funkenbändern in einer ringförmigen Funkenstrecke unter donnerähnlichem Krachen vor sich, das nach dem Umbau der Station nach dem Prinzip der „tönenden Funken" ganz fortfällt.

[3]) Ueber Dämpfungsmessungen siehe *Zenneck:* Leitfaden der drahtlosen Telegraphie, Seite 112, ff. und *Nesper:* Die Frequenz- und Dämpfungsmesser, Seite 165, ff.

Braun die andere Form wählte. Unter Anwendung der losen Koppelung im Empfänger wurde eine sichere selektive Mehrfachtelegraphie zuerst auf der vorher erwähnten Ostseeversuchsstation demonstriert. Solange die Antenne im wesentlichen ein langgestreckter Draht war und damit eine starke Strahlungsdämpfung hatte, sind diejenigen Empfängeranordnungen beibehalten worden, bei denen die Energie in dem sehr schwach gedämpften Kondensatorkreis lokalisiert wurde. Nach akustischer Analogie entspricht die Antenne dem Resonanzkasten, der Empfangskondensatorkreis einer Stimmgabel. Ein prinzipieller Gesichtspunkt für den Empfänger ist auch, ob er momentan auf maximale Potentialamplitude oder auf Integraleffekt wirken soll, und hiernach teilen sich auch die Detektoren in zwei grosse Klassen. Der Kohärer gehört in die erste Klasse und seiner eminent hohen Empfindlichkeit allein ist es zu danken, dass in den alten einfachen Anordnungen der Empfänger auf den winzig kleinen Bruchteil Energie ansprach, der von der vom Sender ausgehenden geringen Energie auf die Fläche der Empfangsantenne entfiel.

Bei den Telefunkenanlagen wurden bisher hauptsächlich die elektrolytischen, in der ganzen Welt eingeführten Schlömilch-Detektoren benutzt, welche aus einer wellenempfindlichen Kontaktstelle zwischen einer winzigen Platinspitze und einer Säure bestehen und unter Zuhilfenahme einer Lokalbatterie als eine Art Relais arbeiten. Ausserdem werden neuerdings meistens sogenannte Kontaktdetektoren (Abbildung 4) verwendet, welche aus einer Berührungsstelle zwischen besonderen Mineralien mit einer Metall- oder Graphitspitze bestehen und direkt ohne Hilfsbatterie und ohne Relaiswirkung die übertragene Hochfrequenzenergie in pulsierenden Gleichstrom umformen. Dieser wird dann zur Indikation der Schwingungen in irgend einem Stromanzeiger benutzt.[1])

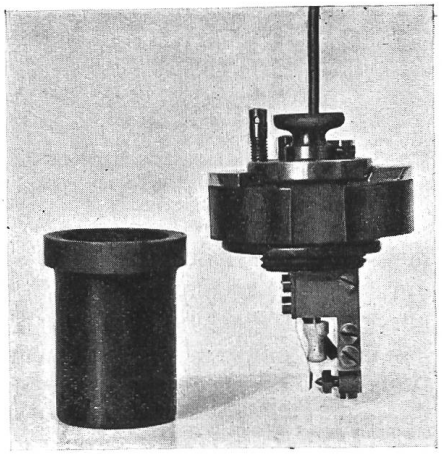


Abbildung 4: Kontaktdektor.

Die Dauer der Funkenentladungen ist nun aber, wie einfache Ueberlegungen, die ich hier nicht auseinandersetzen will, zeigen, sehr klein im Vergleich zu den Pausen zwischen ihnen; auch der Braun-Sender, der wohl die Wellenzüge vergrösserte, hat solche nicht abkürzen können, da sie direkt notwendig sind, wenn nicht wirkungslose Entladungen zu einem niedrigen Potential erzeugt werden sollen. Erst der *Poulsen*-Generator mit seinen Lichtbogenschwingungen, auf die wir später zurückkommen werden, hat an Stelle der diskontinuierlichen Wellenzüge kontinuierliche Schwingungen gesetzt.

Zunächst betrachten wir jetzt die weitere Entwicklung des *Braun*-Senders durch *M. Wien,* die zur Ausbildung des neuen Telefunken-Systems der „tönenden Funken" oder „tönenden Löschfunken", wie man neuerdings zutreffender sagt, führte; noch besser würde man von „tonerregenden Löschfunken" sprechen. *Braun* hatte selbst, wie er in seinem Nobelpreisvortrag ausführte, schon frühzeitig Versuche angestellt, ob es möglich sei, den Flaschenkreis automatisch aus dem schwingenden System auszuschalten, sobald die Energie auf den sekundären Leiter hinübergependelt war. *Braun's* künstliche Mittel führten jedoch nicht zum Ziel, sondern die Aufgabe wurde erst gelöst[2]) durch *Max Wien*[3]) vermittels der kleinen Zisch- oder Löschfunken, die von sich aus die Bedingungen erfüllen, welche *Braun* künstlich herstellen wollte.

---

[1]) Sobald die Impulsreihe genügend Regelmässigkeit besitzt, wie bei den tönenden Löschfunken, rufen die Gleichstromstösse in einem Telephonhörer Membranbewegungen hervor, die als musikalischer Ton gehört werden.

[2]) Eine andere Lösung gelang *Rendahl* mit der Quecksilberfunkenstrecke, die sich aber praktisch nicht bewährte.

[3]) Vergleiche Physikalische Zeitschrift Nr. 23, Seite 872. 1906 und Jahrbuch 1908 Seite 469; 1909 Seite 551; 1910 Seite 135.

In der folgenden Abbildung 5 veranschaulichen die beiden oberen Kurven den Schwingungsvorgang in den gewöhnlichen gekoppelten Systemen von *Braun*; die beiden unteren Kurven zeigen den Vorgang nach der Wien'schen Methode. Ich verweise nunmehr auf das, was ich bei der Beschreibung des Pendelmodells am Schluss über die Demonstration der Stosserregung von Schwingungen gesagt habe. Auf der elektrischen Realisierung dieses letzten Vorganges beruht das Grundprinzip des neuen Wien-Telefunkensystems. *Wien* wurde zu seiner Entdeckung geführt durch seine zahlreichen Untersuchungen über die Dämpfung gekoppelter Schwingungen. Die unregelmässige starke Dämpfung des Funkens bildete die grösste Schwierigkeit, die der Verminderung der Dämpfung in dem *Braun*schen Kondensatorkreis mit grosser Funkenstrecke entgegenstand. Man konnte nun auf den Gedanken kommen, den Einfluss des Funkens in der Weise zu eliminieren, dass man die Schwingungen durch Induktion auf einen zweiten Kondensatorkreis ohne Funkenstrecke übertrug. Dies schien aber aussichtslos, da theoretisch bei fester Koppelung der beiden Kreise infolge der Rückwirkung des primären Kreises die Dämpfung der Schwingungen im zweiten Kreis doch sehr gross ist, während andererseits bei loser Koppelung die übertragene Energie zu klein wird. *Wien* fand dann aber, dass in diesem Falle die Dinge sich jedoch ganz anders gestalten, wenn man den primären Kondensatorkreis nicht durch die übliche grössere Funkenstrecke, sondern durch kurze, sogenannte Zisch- oder Löschfunken erregt. Abbildung 6 zeigt *Wien*'s Originalkurven, die für einen solchen Erregerkreis mit aussergewöhnlich kurzer Funkenstrecke mit einem Wellenmesser erlangt wurden. Die sonst bei gekoppelten Systemen auftretenden zwei Wellen sind praktisch verschwindend schwach geworden, dagegen tritt eine allein in Betracht kommende dritte Schwingung mit sehr geringer Dämpfung hervor, wie wenn das vollständig geschlossene Zwischensystem für sich, wie in ungekoppeltem Zustande, sich ausschwingt. *Wien* gab sofort folgende Erklärung der Erscheinung: „Die Ursache der drei Schwingungen dürfte darin zu suchen sein, dass der Widerstand der sehr kurzen Funkenstrecke sehr schnell zunimmt, sodass die Schwingungen in dem primären System sehr bald verschwinden und nur die im sekundären System übrig bleiben. Dieses schwingt dann für sich als ungekoppeltes Einzelsystem mit der eigenen Schwingungszahl und Dämpfung weiter. Vielleicht gelingt es, auf diese Weise besonders wenig gedämpfte Schwingungen zu erzielen.“ In der Tat wird hier der früher geschilderte mechanische Vorgang beim festgehaltenen primären Pendel elektrisch realisiert. Der elektrische Vorgang der Energiewanderung bei diesem Verfahren ist durch die unteren Kurven der Abbildung 5 veranschaulicht. Die hauptsächlichsten Bedingungen für gutes Funktionieren der Methode sind, dass die Dämpfung des primären Kreises — auch Stosserregerkreis genannt — mindestens zehnmal grösser sein muss, als die des sekundären Kreises, und dass die Koppelung zwischen beiden nicht zu fest sein darf; sie hat ein Optimum.[1])

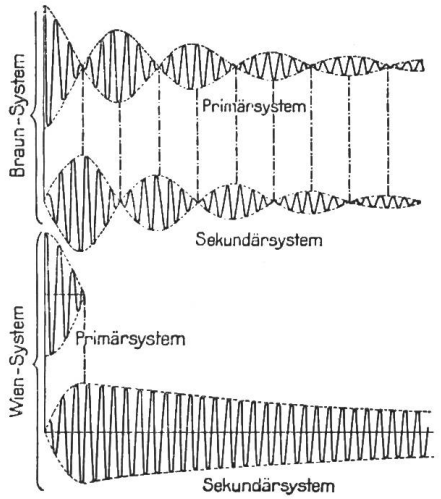


Abbildung 5: Schwingungsvorgänge in gekoppelten Systemen nach dem Braun-System und Wien-System.

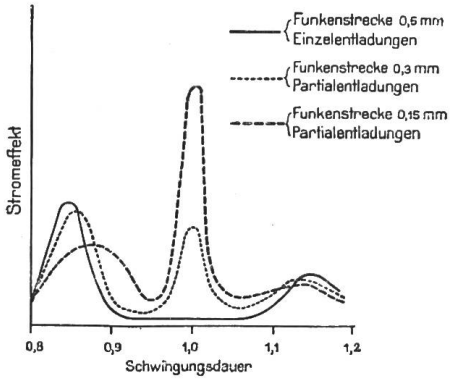


Abbildung 6. Resonanzkurven nach Wien.

[1]) Bei der *Wien*schen Methode strömt die Energie aus dem Primärkreis je nach der Stärke der benutzten Koppelung mehr oder weniger schnell in den Sekundärkreis hinüber. In dem Augenblick, in welchem sich die gesamte Energie in dem Sekundärkreis befindet, am Ende einer Schwebung, ist die Energie im Primärkreis ein Minimum; sie genügt nicht mehr, die Leitfähigkeit der Funkenstrecke aufrecht zu erhalten. Infolgedessen erlischt diese. Dieses Erlöschen der Funkenstrecke kann nun bei eng gekoppelten Kreisen entweder schon nach Ablauf der ersten Schwebung

Die Telefunkengesellschaft lässt vorläufig das Zwischensystem noch fort, da ihr die erforderliche geringe Dämpfung des letzteren zu erreichen bis jetzt noch nicht gelungen ist, und weil durch dasselbe hinsichtlich Variation der Wellenlänge und Koppelung gewisse praktische Komplikationen hereingebracht werden. Dieses Fortlassen des Zwischensystems ist aber nur bei Anwendung ganz schwach gedämpfter Antennensysteme möglich.

Telefunken gelang es erst nach vielen vergeblichen Bemühungen im März 1908 das Verfahren so zu verbessern, dass man hiermit bei genügender Konstanz der Maximal-Amplituden Schwingungen geringer Dämpfung, und zwar bis zu sehr hohen Energiebeträgen hinauf erzeugen konnte. Das schnelle Erlöschen des Erregerkreises (Stosskreises) wurde zweimal benutzt. Einmal von *Wien* um einwellige, wenig gedämpfte Wellenzüge zu erhalten und zweitens um ohne Lichtbogenneigung eine sehr rasche Impulsfolge herzustellen. Das präzise Löschen der Funken ermöglicht aber ausserdem die Funkenfolge sehr regelmässig zu gestalten. Die Funkenfolge bezw. Stossfolge kann unter Benutzung von hochfrequenten Wechselströmen (500—2000 sekundliche Wechsel) auf eine solche von etwa 500—2000 pro Sekunde eingestellt werden, und zwar so regelmässig, dass die Funken einen klaren musikalischen Ton geben, weshalb für dies System auch die kurze Bezeichnung „tönende Löschfunken" gewählt wurde. Der Fachmann wird sofort daran denken, dass für die benötigten sehr kleinen Funkenstrecken, namentlich wenn sie in sehr grosser Anzahl angewendet werden, wie dies bei grossen schwingenden Energiemengen erforderlich ist, die Gefahr vorliegen wird, dass leicht ein Festbremsen und Zusammenfritten in der Funkenstrecke (besonders bei zufällig nicht angeschlossener Antenne) stattfinden kann. Dieser tatsächlich anfangs vorhanden gewesene Uebelstand ist jetzt durch die sogenannte Serienfunkenstrecke beseitigt (s. 23 in Abbildung 10). Die Gesamtenergie wird auf soviel Funkenstrecken gleichmässig verteilt, dass jede einzelne nur in zulässiger Weise beansprucht wird. Je grösser die umzusetzende Energie, um so mehr Teilfunkenstrecken werden in Serie geschaltet. Die in sehr kleinen fixen Abständen gehaltenen Elektrodenplatten sind gekühlt und aus gutwärmeleitendem Material (Kupfer, Silber) hergestellt. Es wird auf diese Weise also pro Sekunde eine grosse Anzahl oszillatorischer Kondensatorentladungen erzeugt; jede derselben hat eine grosse Anfangsamplitude, die aber sehr schnell abfällt. Die angekoppelte Antenne empfängt so pro Sekunde eine grosse Anzahl von Impulsen, von denen jeder in ihr freie elektrische Schwingungen von einer bestimmten Periode erregt. Der musikalische Ton im Telephonhörer lässt sich gegenüber anderen störenden Geräuschen bequem heraushören; besonders unterscheidet er sich leicht von den knackenden Geräuschen, die durch atmosphärische Entladungen erzeugt werden und bekanntlich in den Tropen oft stundenlang den regulären Betrieb unmöglich machen. Jeder Sender ist ferner durch seinen Ton individualisiert. Die technisch überlegene Wirkung des neuen Telefunken-Systems liegt aber nicht nur in den Vorgängen der Lösch- bezw. Stosserregung und der Uebertragung eines musikalischen Tones sondern auch in der hohen Impulsfolge; diese ermöglichte kleine Sendeapparate und kleine Antennen, grosse Reichweiten, sowohl absolut genommen, wie im Vergleich zur Antennengrösse und Masthöhe, und schliesslich eine hohe Telgraphiergeschwindigkeit.

In Anlehnung an den letzten Vortrag[1]) des Herrn Grafen Arco im Elektrotechnischen Verein (Berlin) sei noch folgendes berichtet. Wie bei einer vorgeführten 8 KW-Station kann eine moderne Station durch kontinuierliche Veränderung der Tourenzahl des Wechselstromgenerators um eine halbe Oktave ober- oder unterhalb der Normaltourenzahl eine beliebige

---

oder auch erst nach einer grösseren Anzahl von Schwebungen erfolgen; je kleiner diese Anzahl, um so besser wird die Löschwirkung der Funkenstrecke sein. Für gute Stosserregung sollte das Abreissen des Funkens stets am Ende der ersten Schwebung erfolgen. Ist die Zeit für das Verschwinden der Leitfähigkeit einer Funkenstrecke gegeben, so muss man die Koppelung der beiden Kreise und damit die Dauer einer Schwebung so einstellen, dass diese gerade gleich, jedenfalls nicht kleiner ist als die Löschzeit. Je kleiner die letztere ist, um so engere Koppelung ist zulässig, ohne dass die reine Stosserregung bzw. Einwelligkeit gestört wird. Bei den neuen Löschfunkenstrecken des Wien-Telefunkensystems ist die Löschzeit so, dass man bis zu Koppelungen von etwa 20% gehen darf (vgl. *Br. Glatzel,* Ann. Phys. **34**. 711 ff. 1911).

[1]) Vergleiche Elektrotechnische Zeitschrift, Heft 20, 1910.

Anzahl Grundtöne geben, und für jeden Grundton kann man einerseits durch Partialentladungen die beiden ersten zwei Obertöne, und anderseits durch langsamere Entladungen die tieferen Töne der drei Oktaven erzeugen.

Der Induktor der Station, welcher die Maschinenspannung auf ca. 20,000 Volt transformiert ladet die Erregerkapazität. In seine sekundären Zuleitungen ist eine variable Hochspannungs-Eisendrossel geschaltet zur Korrektion der Resonanzlage, wenn durch Tourenerhöhung oder -Verminderung andere Töne erzeugt werden sollen. Die Variation des Tones ist kontinuierlich über eine ganze Oktave möglich, und ausserdem können durch Regelung der Generatorspannung für jede Tourenzahl in diesem Intervall die drei nächst tieferen Oktaven eingestellt werden.

Die Erregerkapazität besteht aus normalen hohen Leidener Flaschen, einer 12teiligen, luftgekühlten Serienfunkenstrecke, die durch einen Ventilator gekühlt wird und dem primären Koppelungsvariometer mit Gradskala. Von dessen Polen ist einerseits durch ein Hitzdrahtamperemeter die Erdleitung, andererseits durch das Serien-Verlängerungsvariometer die Antenne verbunden. Die Wellenskala dieser Station geht in kontinuierlicher Folge von Wellen von ca. 300 m beginnend, bis etwa 2500 m herauf. Die Einstellung jeder gewünschten Welle erfolgt durch Variometerveränderungen, während die Koppelung der Antenne für alle Wellen infolge der Schaltungsweise automatisch konstant bleibt. Die elektrischen Leistungen der 8 KW-Station stellen sich im ganzen wie folgt:

Primärmaschinenleistung	8000 Watt
(Stromstärke in einer T-förmigen Schiffsantenne 38 Ampere	
Widerstand dieser bei 600 m Welle 4 Ohm)	
Demnach die Antennenenergie 38 × 38 × 4 . . . . . =	5800 „
Totaler Wirkungsgrad	72,5 %

Da der hohe Wirkungsgrad des neuen Telefunkensystems, den Graf Arco in seinem Kölner Vortrage mit 60 % angegeben hatte, von verschiedenen Seiten angezweifelt wird, so gab der Vortragende noch den Wirkungsgrad und die Einzelverluste der seinerzeit in Köln vorgeführten 2 KW-Type gemäss der folgenden Tabelle an:

1. Niederfrequenzspannung.		
a) Dem Motor zugeführte Gleichstromenergie		2950 Watt
Verluste im Motor		450 „
		2500 Watt
b) Dem 50 Perioden-Generator zugeführte Energie		2500 Watt
Verluste im Generator		650 „
		1850 Watt
2. Niederfrequenz-Hochspannung.		
Dem Induktor zugeführte Energie		1850
Verluste im Induktor	180 Watt	
Verluste in der Drossel	60 „	
		1610
3. Hochfrequenzenergie.		
a) Dem Erregerkreis zugeführte Energie		1610
Verluste in der Funkenstrecke	155 Watt	
Verluste im Kondensator	63 „	
Verluste in der Selbstinduktion	42 „	
Restenenergie		1350
b) Der Antenne zugeführte Energie		1350
Antennenstrom 13,5 Ampere		
Antennenwiderstand (Schirmantenne) bei 1200 m Welle = 8,5 Ohm		
$J^2 W$ = Schwingungsenergie in der Antenne		1350

4. Wirkungsgrad der Hochfrequenz-Transformation . . . . $\frac{1350}{1610} = 84\ \%$

5. Wirkungsgrad des Niederfrequenz-Transformators . . . . $\frac{1610}{1850} = 87\ \%$

6. Wirkungsgrad des Wechselstromgenerators . . . . . $\frac{1850}{2500} = 74\ \%$

7. Wirkungsgrad des Motors . . . . . $\frac{2500}{2960} = 86\ \%$

8. Wirkungsgrad von Antennenenergie bis Gleichstromenergie $\frac{1350}{2950} = 46\ \%$

9. Wirkungsgrad von Antennenenergie bis Primär-Wechselstromenergie . . . . . $\frac{1350}{1850} = 73\ \%$

Als Antennenenergie ist die eigentliche Antennennutzleistung und die Antennenverlustleistung *zusammen* gemessen. Nur diese Messung der Gesamtantennenenergie ist heute sehr genau möglich, weshalb Telefunken die Senderleistungen in dieser Weise fernerhin definiert. Zu einer solchen Messung benötigt man nur ein Hitzdrahtstrommesser in der Antenne und die Kenntnis des gesamten Antennenwiderstandes bei der angewendeten Frequenz; die letztere ist in der bekannten Weise leicht festzustellen, z. B. durch Aufnahme einer Resonanzkurve vermittels des Wellenmessers (Frequenzmessers).

Abbildung 7 zeigt die Schaltung der Apparatur. Die Hochspannungszuleitung des Induktors *Z Z* ladet die Serien-Löschfunkenstrecke *W*, welche mit der Flaschenkapazität C_1 und dem Koppelungsvariometer *B* den schnell erlöschenden Primärkreis bildet. Mit diesem ist eine durch das Verlängerungsvariometer *A* und die Flaschenkapazität C_2 gebildete künstliche Antenne gekoppelt, von welcher aus durch gleichzeitige galvanische und induktive Koppelung die Strahlspule *T* verbunden ist. Letztere kommt in bekannter Weise in Schwingungen, wobei statt Erde die Kapazität der Zuleitungen als Gegengewicht benutzt wird.

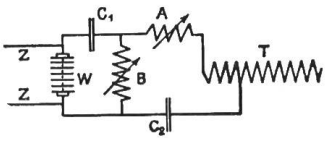


Abbildung 7:
Schaltung bei Löschfunken.

Vor einiger Zeit hat Telefunken zwei Dampfer der Woermann-Linie, welche zwischen Hamburg und Kamerun verkehren, mit Stationen dieser Type ausgerüstet. Die Antennen waren wegen der geringen Masthöhe über Deck von nur 28 m und dem kleinen Mastabstand von nur 67 m recht ungünstig. Trotzdem gelang es, mehrmals zwischen den sich kreuzenden Dampfern auf eine Entfernung von 3700 km zwischen den Kanarischen Inseln und Kap Palmas bei Nacht eine gute wechselseitige Telegrammverbindung zu erzielen. Erschwert war die Verbindung durch das dazwischenliegende afrikanische Hochland, das etwa zwei Drittel der Verbindungslinie ausfüllt. Am 24. Januar standen die beiden Dampfer sogar abends 10 Uhr auf 3700 km in guter gegenseitiger Verbindung.

Graf Arco zeigte auch die Ausnutzung des Tones an der Empfangsstation, und zwar durch Anwendung des neuen Resonanz-Tonverstärkers der Gesellschaft. An einem prismatischen Körper, welcher einerseits kardanisch, andererseits elastisch und gut gedämpft aufgehängt ist, sind drei in Serie geschaltete einzelne Resonanzrelais mit Mikrophonkontakten aufgehängt. Die Systeme werden beim Senden der eigenen Stationen zum Schutze gegen die Induktionswirkungen des nahen Senders ausgeschaltet, und zwar erfolgt dies automatisch vom Empfangsapparat aus mittels eines elektromagnetischen Relaisschalters, der in der Kugel der kardanischen Aufhängung sich befindet.

Dieser interessante Tonverstärker, System Telefunken, der es ermöglicht, im Telephon kaum noch wahrnehmbare Töne objektiv hörbar zu machen, ist ein auf dem Resonanzprinzip beruhender Verstärkungsapparat für schwache Ströme einer bestimmten Wechselzahl. Seine Hauptelemente sind die an einem pendelnden Träger sternförmig angeordneten Einzelsysteme, von denen jedes einzelne folgendermassen eingerichtet ist. Vor einem kleinen Elektromagneten ist ein zwischen zwei Stahlsaiten befestigter Anker schwingend angeordnet,

der auf eine bestimmte Schwingungszahl (z. B. 1000 pro Sekunde) gebracht werden kann. Das Einstellen auf die gewünschte Schwingungszahl wird durch Anspannen respektive Lockern der Saiten bewirkt. Das schwingende Ankerchen ist weiterhin an der einen Elektrode mit einem kleinen Körnermikrophon versehen; die Gegenelektrode des letzteren steht fest. Wird der kleine Anker des Systems durch die den Elektromagneten umkreisenden Ströme in Schwingungen versetzt, so entstehen im Mikrophon Widerstandsänderungen und im Stromkreis des letztern Stromschwankungen von stärkerer Intensität als die Primärimpulse; sie besitzen indessen genau die gleiche Frequenz wie die ersteren. Der Tonverstärker ist also ein Verstärker, bei dem das mikrophonische Verstärkungsprinzip zur Anwendung kommt. Durch dreimalige Verstärkung wird die Stromstärke auf einen solchen Wert gebracht, dass ein lautsprechendes Telephon, oder mit Zwischenschaltung geeigneter Relais, ein Morseschreiber, siehe Abbildung 8, betätigt werden kann, der mit dem Kohärer aus der drahtlosen Technik verschwunden war. — Das lautsprechende Telephon hat statt eines gewöhnlichen Schalltrichters einen kontinuierlich variablen akustischen Resonator in Gestalt einer ausziehbaren offenen Röhre. Die vollständige Schaltung eines modernen Modells eines Tonverstärkers ist in Abbildung 9 wiedergegeben. Der Strom des Mikrophonkontaktes des dritten Verstärkers wird durch einen Telephontransformator geführt, der sekundär reinen Wechselstrom liefert. Ein in diesen eingeschaltetes elektrisches Ventil formt ihn in pulsierenden Gleichstrom um, und mittels dieses wird ein hochempfindliches polarisiertes Relais betrieben, das den Lokalstrom des Morseapparats betätigt.

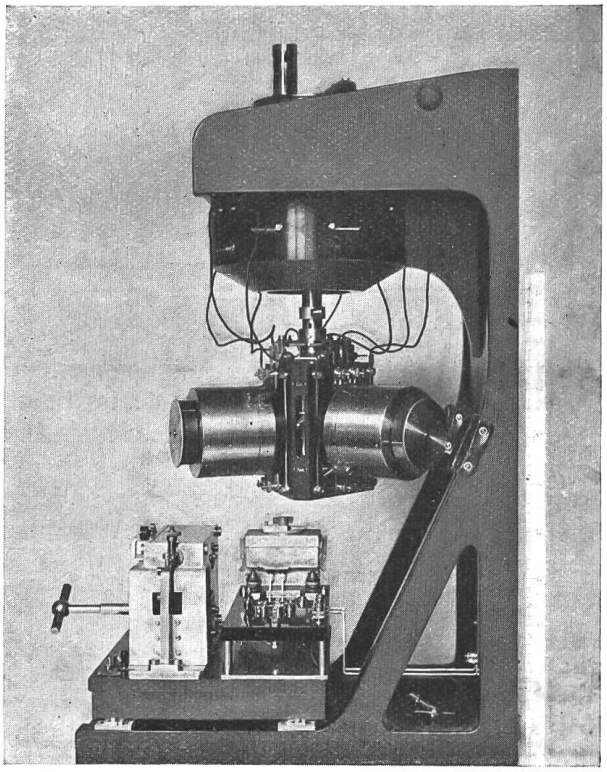


Abbildung 8: Resonanz-Tonverstärker mit Morseschreiber.

Sehr bemerkenswert ist jetzt der mögliche Doppelempfang mittels nur eines Empfangsapparates unter Benutzung zweier Sender gleicher elektrischer Wellenlänge. Beide Sender unterscheiden sich nur hinsichtlich der Höhe des Tones. An der Empfangsstelle werden von einem Detektor die beiden Senderwirkungen gleichzeitig aufgenommen und die Empfangsströme durch die beiden in Reihe geschalteten Primärwicklungen zweier auf diese Töne abgestimmter Resonanz-Tonverstärker geführt. Der eine verstärkt dann die Telegramme des Senders mit dem höheren, der andere die des Senders mit tieferem Ton. Die Telegramme können getrennt sowohl nach Gehör wie auch nach dem Morse aufgenommen werden.

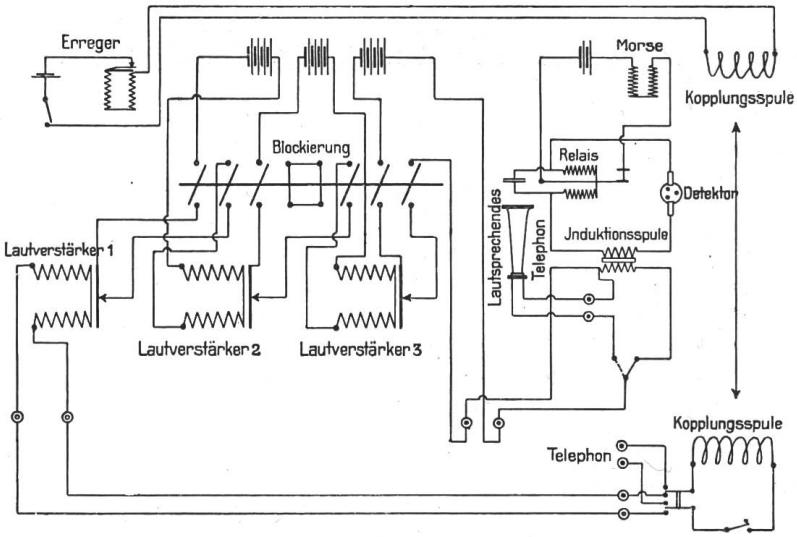


Abbildung 9: Schaltungsschema für Tonverstärker.

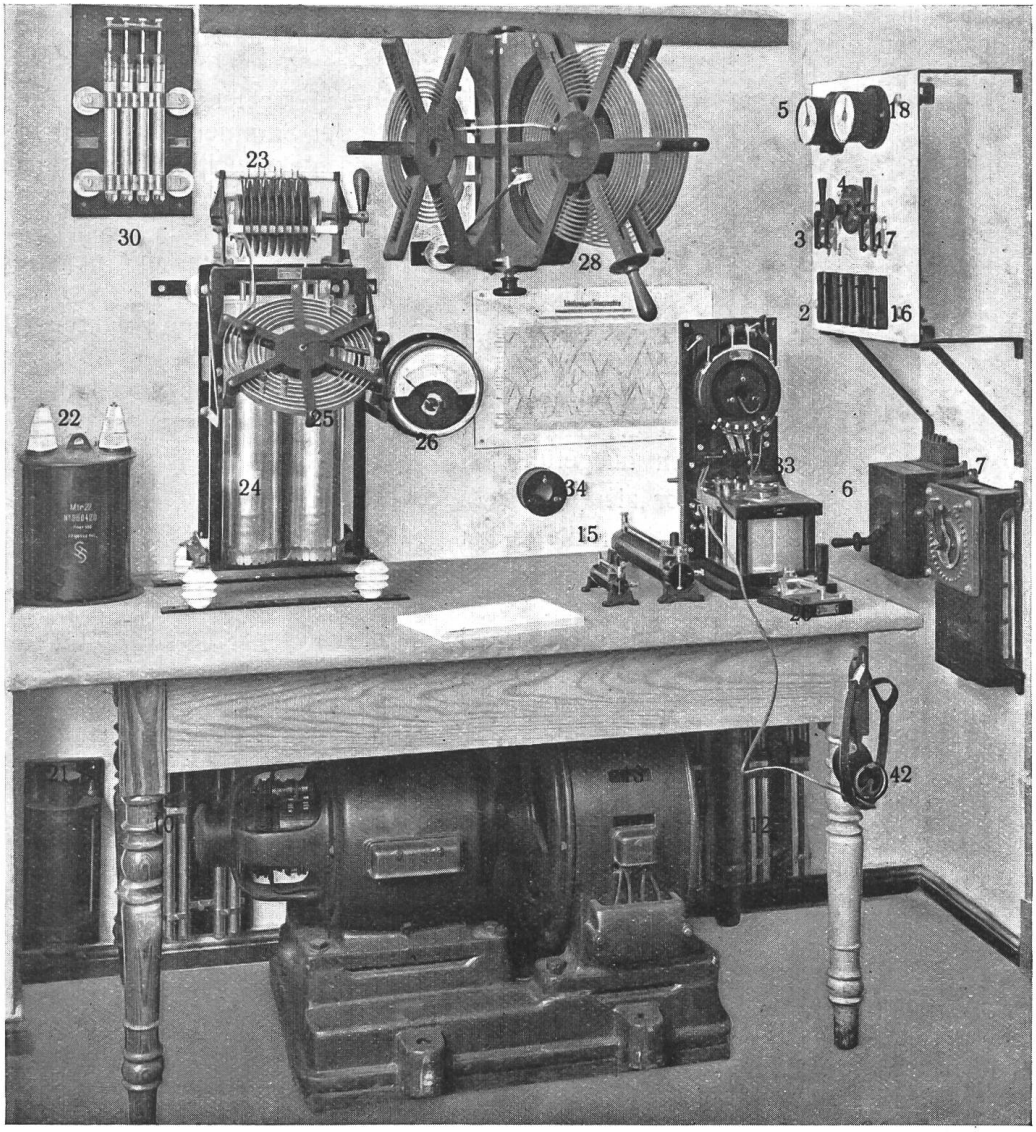


Abbildung 10: Telefunken-Station für tönende Löschfunken. Legende:

2 = Sicherung für Gleichstrom 40 Amp.
3 = Schalter für Gleichstrom.
4 = Voltmeter-Umschalter.
5 = Voltmeter 250 Volt.
6 = Anlasser.
7 = Tourenregulator.
8 = Gleichstrommotor 4 PS 110 Volt 1500 Touren.
10 = } Hochfrequenzsicherungen.
11 = } Hochfrequenzsicherungen.
12 = } Hochfrequenzsicherungen.
13 = Hochfrequenzgenerator 2 KW, 220 Volt, 500 Perioden.
15 = Schiebewiderstände für Erregung u. Hochfrequenzgenerat.
16 = Sicherungen für Wechselstrom 30 Amp.
17 = Schalter für Wechselstrom.
18 = Amperemeter für Wechselstrom 50 Amp.
20 = Taster.
21 = Primärdrossel.
22 = Transformator 220/8000 Volt.
23 = Löschfunkenstrecke 8 teilig.
24 = Erregerkapazität zirka 24000 *cm*.
25 = Erregerselbstinduktion.
26 = Antennenamperemet. 20 Amp.
28 = Antennenvariometer.
30 = Antennenverkürzungskapazität.
33 = Empfangsapparat.
34 = Primäre Transformatorspule des Empfängers.
42 = Telephon.

Eine ganz moderne komplette Telefunken-Station für „tönende Löschfunken" zeigt Abbildung 10. Für den meistens benützten Hörempfänger [1]) sind die Schaltungen in Abbildung 11 a für kurze Wellen, und Abbildung 11 b für lange Wellen dargestellt.

[1]) Siehe Abbildung 10, Nr. 33.

In beiden Schaltungen wird die Energie aus der primären in der Antenne liegenden Transformatorspule der sekundären Transformatorspule zugeführt. Diese bildet mit dem Detektor zusammen einen aperiodischen Kreis. Aus dieser vereinfachten Schaltung ergibt sich der grosse praktische Vorteil, dass für jede Welleneinstellung stets nur ein Kreis abzustimmen ist, nämlich bei kleiner Welle der Antennenkreis, bei grosser Welle der Sammelkreis. Früher waren mindestens zwei (meist lose gekoppelte) Kreise genauestens untereinander und auf die Sendewelle abzustimmen. Selbst für einen geübten Mann war diese Operation stets schwierig und wurde meistens mit ungenügender Genauigkeit ausgeführt.

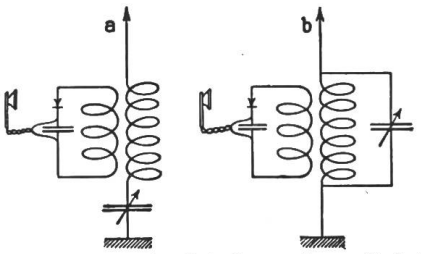


Abbildung 11. Schaltungsschema für Hörempfänger.

Bei einer normalen Schirmantenne von etwa 1000 cm Kapazität beträgt die Wellenskala dieses Apparates von 250—3000 m, bei 2000 cm Antenne von 350—4200 m etc. Die Abstimmung des Empfängers auf eine unbekannte Welle wird folgendermassen ausgeführt:

1. Der Empfangstransformator ziemlich fest gekoppelt.
2. Der Kondensator langsam über die Skala gedreht.

Falls der Sender auf der eingestöpselten Spule nicht zu finden ist, werden nacheinander alle zugehörigen Spulen eingesetzt.

Sobald der Empfang da ist, wird der Transformator loser gekoppelt und gleichzeitig die Abstimmung nachkorrigiert.

Wenn nun auch in diesem neuen Telefunken-System die konstruktive Durchbildung der kleinen Funkenstrecken den ursprünglichen Übelstand des leichten Zusammenfrittens derselben beseitigt hat, so würde doch die Benützung der langen Funkenstrecken des alten Braun-Systems mancherlei Vorteile bieten, wenn man sie für die Stosserregung benützen könnte. Bekanntlich ist dies ohne weiteres nicht möglich, da ihre Dämpfung, die relativ klein sein kann, nicht momentan auf einen genügend hohen Wert zu bringen ist. *Prof. Max Wien* hat nun inzwischen [1]) eine Methode bekannt gegeben, die dadurch gekennzeichnet ist, dass unter Benützung der grossen Funkenstrecken mit entsprechend hohem Entladungspotential das für die Stosserregung charakteristische plötzliche Abstoppen des primären Schwingungskreises in der Weise erreicht wird, dass ausser der Funkenstrecke noch eine Geissler'sche Röhre besonderer Form (ähnlich derjenigen des Kohlrausch'schen Widerstandsgefässes) als „Löschwiderstand" in den primären Kreis eingeschaltet wird (Abbildung 12). Diese Löschröhre kann entweder ausserhalb der Zuleitungen zur Funkenstrecke oder innerhalb derselben angebracht werden; letzteres, wobei die Röhre einen Zusatz zur Funkenstrecke bildet, empfiehlt sich z. B. bei Benutzung eines Resonanzinduktors als Stromquelle, weil andernfalls der Wechselstrom, der die Kondensatoren allmählich aufladet, durch die Löschröhre fliessen muss, wodurch unnötiger Energieverlust und Erwärmung der Röhre verursacht wird. Die kleineren Schwankungen des an sich niedrigen Entladungspotentials der Röhre kommen neben dem hohen Funkenpotential der Luftfunkenstrecke nicht in Betracht, sodass man so im Stosskreis beliebig hohe und dabei konstante Spannungen verwenden kann. Anderseits bewirkt die ausgezeichnete Löschwirkung der Geissler'schen Röhre, dass ein besserer Nutzeffekt bei engerer Koppelung erreicht wird und auch bei stark gedämpftem Schwingungskreis ohne besonderen schädlichen Ballastwiderstand reine Stosserregung erzielt werden kann. Der Braun-Sender wird also auch auf diese Weise einwellig gemacht, und diese neueste Wiensche Methode dürfte besonders für Stationen bis zu 1 KW mit grossem Vorteil anzuwenden sein.

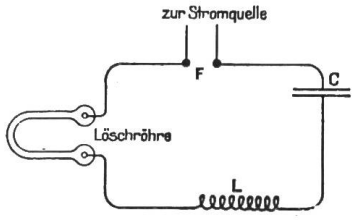


Abbildung 12. Schaltung für Stosserregung mit Löschröhre.

[1]) Vergleiche Jahrbuch 4, 135, 1910.

Das von *M. Wien* angegebene Verfahren der Stosserregung von Schwingungskreisen zum Zweck der Erzeugung schwach gedämpfter Wellen wird sowohl für praktische Verwendung wie auch insbesondere für Messzwecke um so brauchbarer sein, je mehr man imstande ist, sich der sogenannten idealen Stosserregung zu nähern. Je schneller das Erlöschen der Schwingung im Primärkreis erfolgt, um so enger kann man den Sekundärkreis koppeln und um so weniger braucht man auf eine genaue Abstimmung zwischen den beiden Kreisen bedacht zu sein. Bei den bisherigen Methoden der Stosserregung mit Wechselstrom war nun die Hauptbedingung zum Herbeiführen einer guten Löschwirkung, dass die Elektroden der Funkenstrecke kräftig gekühlt wurden, so dass die in der Funkenstrecke befindlichen leitenden Metallteilchen möglichst schnell wieder kondensiert wurden. Entsprechend der so erzielten verhältnismässig guten Löschwirkung kann man z. B. bei den nach diesem Prinzip arbeitenden Funkenstrecken der Telefunkengesellschaft Koppelungen von maximal 20 $^0/_0$ erzielen, wie ich es schon vorher erwähnte.

Um noch eine bessere Löschwirkung zu erreichen, schlägt *Glatzel*[1]) ein Prinzip vor, welches darin besteht, dass man die Funken in einer Wasserstoffatmosphäre übergehen lässt und gleichzeitig die Temperatur der Elektroden so einstellt, dass die durch die Entladung gebildeten Metallteilchen sofort wieder niedergeschlagen werden, jedenfalls in Form von nichtleitenden Wasserstoffverbindungen. Bei richtiger Einregulierung aller Betriebsverhältnisse kann dann durch eine derartige chemische Bindung der Metallteilchen eine ausgezeichnete Löschwirkung erzielt und tatsächlich der ideale Stoss verwirklicht werden. Die Einregulierung der richtigen Elektrodentemperatur erfolgt dabei zweckmässig in der Weise, dass man zum Aufladen des Schwingungskreises einen Wechselstromtransformator benutzt, bei welchem man durch Vorschaltung geeigneter Drosselspulen den gewünschten Kurzschlussstrom in der Sekundärwickelung, welcher als Heizstrom für die Elektroden der Funkenstrecke dient, einstellt. Eine künstliche Kühlung solcher Funkenstrecken ist dementsprechend auch nicht erforderlich, ja sie ist sogar schädlich, da hierdurch u. a. die Elektrodentemperatur auf einen zu niedrigen Wert herabgesetzt wird, bei welchem keine schnelle Bindung der Metallteilchen mehr erfolgt. Die auf diese Weise hervorgerufene Stosserregung ist innerhalb weiter Grenzen von der Grösse der Kapazität und Selbstinduktion im Stromkreis unabhängig, was für praktische Senderanordnungen u. a. wesentlich ins Gewicht fallen kann. Die bisher erreichten engsten Koppelungen betrugen 40—50 $^0/_0$, ohne dass dabei die Nebenmaxima in der Resonanzkurve des dritten Kreises schon störend auftraten. Der Wirkungsgrad derartiger Funkenstrecken ist, wie vorläufige Messungen ergaben, mindestens ebenso gut wie der anderer Löschfunkenstrecken. Ebenso lassen sich auch sehr reine Töne mit einer solchen Anordnung erzielen. Aeusserlich ist das Auftreten der richtigen Entladungsform in der Funkenstrecke dadurch charakterisiert, dass längs der Elektroden eine Art Gleit- beziehungsweise Glimmentladung auftritt. Mit Rücksicht hierauf ist auch die Form der Elektroden insofern von Bedeutung, als sie das Auftreten einer Gleitentladung begünstigen müssen. Dementsprechend eignen sich am besten Elektroden in Stiftform, während einander gegenüberstehende ebene Platten die Ausbildung der Glimmentladung und damit eine reine Stosserregung verhindern.

Wenn wir nochmals kurz die Vorzüge des neuen Prinzips der „tönenden Löschfunken" rekapitulieren wollen, so sind es hauptsächlich folgende: 1. Die Energie des Kondensator-(Stoss)kreises ist bis zu einem hohen Grade ausgenützt. 2. Die Antenne gibt nur eine Schwingung von kleiner Dämpfung, daher vollkommenere Ausnützung der Energie am Empfänger und scharfe Abstimmung. 3. Die Aufnahme mit dem Telephon gibt einen musikalischen klaren Ton, der die Stationszeichen von den durch atmosphärische Störungen verursachten Geräuschen trennt und ferner eine Mehrfachtelegraphie mit gleicher Wellenlänge gestattet, sofern sich die Sender nur durch differente Tonhöhe unterscheiden. 4. Der Ton lässt sich variieren und im Empfänger durch Resonanzrelais verstärken. 5. Hohe Telegraphiergeschwindigkeit mit Telephon oder Morse. Schliesslich wollen wir noch kurz eine Neuerung betrachten, die eine recht fühlbare Lücke ausfüllte, die nach Fortfall des für

---

[1]) *Br. Glatzel,* Verh. D. Phys. Ges. **12**, 590 und 830, 1910. Phys. Zeitschrift **11**, 886, 1910. Jahrbuch **4**, 400, 1911.

schnelle Impulsfolge absolut ungeeigneten Kohärers entstand, nämlich den neuen Anrufapparat, dessen Zuleitungen in den Empfangsapparat statt des Fernhörers eingestöpselt wurden. Die Einrichtung ist folgende: Der Zeiger eines gut ausbalancierten Drehspulengalvanometers von hoher Empfindlichkeit, aber grosser Trägheit, wird vom Detektorstrom dann abgelenkt, wenn dieser etwa 10 Sekunden lang anhält, d. h. wenn der Sender einen 10 Sekunden langen, ununterbrochenen Strich sendet. Ist die Strichdauer kurz, wenn z. B. Morsezeichen telegraphiert werden, oder wenn intermittierende atmosphärische Störungen einwirken, so kommt ein genügender Ausschlag in Folge der sehr grossen Trägheit des Drehspulensystems nicht zustande. Beim Ausschlag gerät der Zeiger zwischen die Zähne eines durch ein Uhrwerk ständig gedrehten Zahnrades und wird von einem Zahn mitgenommen und nach unten gedrückt. Hierdurch erfolgt die Schliessung des Stromkreises einer Alarmglocke, die solange tönt, bis der Telegraphist herangekommen ist und durch eine Hebelbewegung den Zeiger wieder frei gemacht hat. Er ersetzt jetzt den Anruf durch den Fernhörer und nimmt nach dem Gehör die Telegramme auf. — Der Anrufapparat kann die Alarmglocke zum Tönen bringen, selbst wenn mit sehr schwacher Intensität, also etwa auf $^4/_5$ der maximalen Hörbetriebsreichweite, angerufen wird.

Die Hauptvorzüge des neuen Telefunken-Systems gruppieren sich, kurz gesagt, nach den Wirkungen der schnellen Impulsfolge, nach den Wirkungen des musikalischen Tones und nach den Wirkungen der Löschfunkenerregung. Auch dem Ziel der Geheimhaltung drahtloser Telegramme ist man durch dieses neue System wesentlich näher gerückt, denn die Möglichkeit, die Länge der ausgesandten Wellen in sehr weiten Grenzen schnell zu verändern, macht einem Unberufenen den Empfang praktisch unmöglich. In Verbindung mit einem Spezialcode und häufigem Tonwechsel lässt sich mit dieser Methode zwischen zwei mit der gleichen Betriebsdisziplin arbeitenden Stationen ein Telegrammwechsel erzielen, von dem im günstigsten Fall (für den Unbefugten) nur unverständliche Bruchstücke abgefangen werden können.

Die bis jetzt behandelte Stosserregung tritt stets auf bei richtiger Koppelung und bei einem Primärsystem von grösserer Dämpfung als die des Sekundärsystems, und sie ist ohne Zweifel jedoch unbeabsichtigt und unerkannt, schon vor *M. Wien* gelegentlich ausgeübt worden, z. B. von *Fessenden* in Amerika. Auch bei einer Anordnung für die transatlantischen Stationen von *Marconi,* die durch Abbildung 13 veranschaulicht wird, war dies wohl gelegentlich der Fall. Ein Kondensatorkreis wird mit Wechselstrom oder hoch gespanntem Gleichstrom geladen; der Entladungsfunke von 1 bis 2 mm Länge springt zwischen swei Metallscheiben über, die mit aufgesetzten Höckern verzehen sind. Die Scheiben rotieren gegeneinander mit einer Peripheriegeschwindigkeit von etwa 100 m pro Sekunde, oder es bewegt sich (wie in Abbildung) zwischen den beiden in der Zeichenebene rotierenden Scheiben eine dritte in einer dazu senkrechten Ebene, so dass zwei Funkenstrecken von je 1 mm entstehen, zwischen denen die Kondensatoren geschaltet sind. Wenn die Mittelscheibe nicht oder nur langsam rotiert, so treten in den kleinen Funkenstrecken sofort gewöhnliche Lichtbogen auf und die Schwingungen setzen aus; die rasche Rotation verhindert dies. Bei höheren Frequenzen wirkt *Marconis* Anordnung wie *Brauns* gekoppelte Systeme, d. h. est treten die beiden Koppelungswellen auf; bei niederen Frequenzen (etwa 50 000) scheint jedoch die Löschwirkung mit Stosserregung einzutreten.

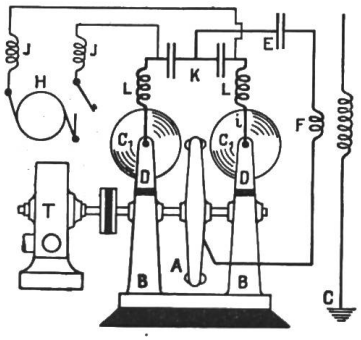


Abbildung 13: Marconi-Generator.

Vor einigen Jahren erregte das System von *E. v. Lepel*[1]) viel Aufsehen, das auch mit sehr kleinen Funken arbeitet, die zwischen zwei ebenen Scheiben (eine aus Kohle, die andere oder auch beide aus eventuell durch innere Wasserströmung gekühltem Metall), zwischen denen sich eine Papierscheibe (eventuell mit Kohlenwasserstoff getränkt) befand.

[1]) Das Lepel-System ist jetzt von der grossen neugegründeten „Compagnie Générale Radiotélégraphique" in Paris erworben worden.

Lepel nahm anfangs an, dass er ein Mittelding zwischen Lichtbogen (wie beim später beschriebenen Poulsen-Generator) und Funken erhalte. Heute steht er auf dem Standpunkte, dass das neue Telefunken-System seine Prioritätsansprüche verletze, auf welche Streitigkeiten ich hier nicht eintreten will. Auch im Lichtbogen können Löschfunken als sogenannte Schwingungen dritter Art [1]) auftreten. Erweist sich die Frequenz der Schwingungen im Sekundärsystem als die seiner Eigenschwingung, so sind es natürlich Löschfunken.

Das bedeutungsvolle Problem einer raschen *Tonvariation,* die im neuen Telefunken-System praktisch einigermassen schwierig ist, wurde dann zuerst auch von *Lepel* und *Burstyn* zu einer Lösung geführt; sie liessen die Sache aber wieder fallen. In neuerer Zeit ist dann *H. Rein* [2]) auf den gleichen Gedankengang gekommen und hat einen wirklichen *Vieltonsender* bei der *C. Lorenz*-Aktiengesellschaft in Berlin praktisch ausgebildet durch eine interessante Kombination der *Wien*'schen Stosserregung mit dem *Duddell*'schen Schwingungskreis, der, wie wir nachher sehen werden, die Grundlage des *Poulsen*-Generators bildet. Ich habe im Jahrbuch nach einem Besuch auf der Lorenz'schen Grosstation Eberswalde bei Berlin unter Zusammenfassung der historischen Tatsachen über den *Rein*schen Vieltonsender folgendes berichtet.

Poulsen hatte eine Anordnung angegeben, die nach seiner Methode erzeugten kontinuierlichen Schwingungen zu zerteilen und durch regelmässige Schwingungsgruppen eine sehr schön und leicht regulierbare Tonwirkung im Empfänger zu erzielen. Da sich bisher indessen keine Unterbrechungsvorrichtungen finden, welche genügend grosse Lichtbogenenergien unterbrechen und schliessen, und da die anderen Methoden, z. B. durch Kapazitäts- oder Selbstinduktionsvariation, wegen der möglichen geringen Veränderungen, gleichfalls für den praktischen Betrieb nicht in Betracht kommen, war die genannte *Poulsen*'sche Anordnung nur für kleine Reichweiten anwendbar. Hierbei ist allerdings der Ton im Empfangstelephon nicht nur ausserordentlich gut und frei von allen Nebengeräuschen, sondern auch sehr bequem variabel. Die gleichen Vorzüge besitzt die im Laboratorium der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft ausgearbeitete Methode der Schwebungserregung, wobei je ein Lichtbogengenerator mit je einem Schwingungssystem zusammengeschaltet ist, welche beide gering gegeneinander verstimmt sind und zusammen auf einen gemeinsamen dritten Kreis (Antenne) arbeiten. Man erhält auf diese Weise Schwebungen, welche einen sehr guten und gleichfalls bequem regulierbaren Ton ergeben. Ein Oszillogramm dieser Schwebungen gibt Abbildung 14.

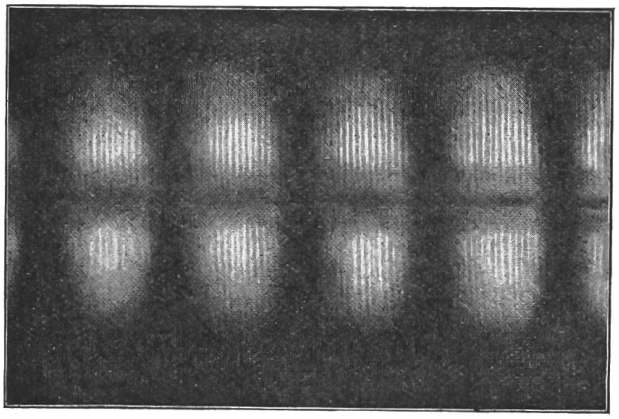


Abbildung 14: Schwebungs-Oszillogramm.

Wegen der erzielten relativ geringen Reichweite wurden von der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft zeitlich nacheinander folgende Gedanken ausgeführt:

1. Es wurde ein Lichtbogengeneratorkreis angewendet, wobei dem die kontinuierlichen Schwingungen erzeugenden Gleichstrom ein Wechselstrom überlagert wurde, derart, dass eine periodische Beeinflussung der erzeugten kontinuierlichen Schwingungen stattfand und eine Tonwirkung im Empfänger erzielt wurde.

---

[1]) Vergleiche *H. Barkhausen:* Das Problem der Schwingungserzeugung. Leipzig 1907.

[2]) *Lepel* und *Burstyn* machen jetzt auch *Rein* gegenüber Prioritätsansprüche geltend. Ohne Partei nehmen zu wollen, scheint mir nach meinen Untersuchungen *Rein* doch ganz selbständig zu seiner Anordnung gekommen zu sein. Die Klärung der theoretischen Grundlagen, die Festlegung sämtlicher elektrischer Grössen, gestützt auf zahlreiche, im Laboratorium aufgenommene Messreihen, Entfernungsversuche und photographische Aufnahmen, von denen einige vorstehend reproduziert sind, sind jedenfalls das Ergebnis der *Rein*schen Arbeit.

2. Unter Zugrundelegung des eben genannten Verfahrens wurde an Stelle des Lichtbogengenerators eine Metallentladestrecke, welche einen kleinen Abstand zwischen den Elektroden besitzt, gesetzt. Insbesondere sollte hierbei der dem Gleichstrom überlagerte Wechselstrom von einer Hochfrequenzquelle erzeugt werden, wozu insbesondere ein *Duddell*scher Schwingungskreis in Betracht kommt. Es war auf diese Weise der Vorteil erzielt worden, eine Entladestrecke von etwas besserem Wirkungsgrad zu benutzen, als ihn ein gewöhnlicher Lichtbogengenerator besitzt und ausserdem konnte durch beliebige Variation der Konstanten des Duddellkreises leicht eine Tonvariation erzielt werden.

Alle Messungen etc. wurden von *Rein,* der, wie gesagt, der Vater der Idee ist, durchgeführt.

Da unter Zugrundelegung von Gleichstrom zur Speisung der Entladestrecke die maximal zu erzeugende Energie beschränkt ist, auf der anderen Seite eine sehr leichte Tonvariation durch Variierung der Konstanten der elektrischen Elemente des Duddellkreises möglich ist, war die Anordnung für leichte tragbare und fahrbare Stationen prädestiniert. Die Ausarbeitung einer Sendertype für derartige Zwecke wurde von Herrn *Nesper* im Sommer 1910 fertig durchgeführt und zeigt an Hand des allgemeinen Schaltungsschemas (Abbildung 15) folgende Merkmale:

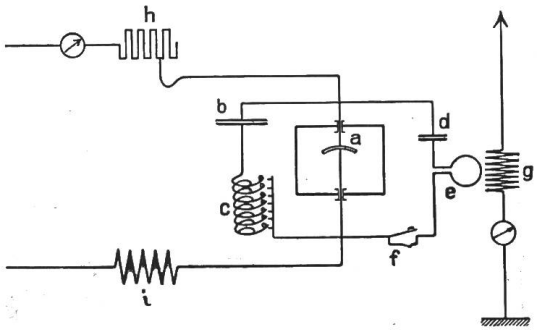


Abbildung 15. Schaltungsschema für Vieltonsender.

a ist eine nach dem Vorschlage von *Scheller* hergestellte Entladestrecke, welche aus zwei nahezu kugelförmig gestalteten, in geringem Abstande voneinander eingestellten Elektrodenkörper besteht. Die Elektrodenkörper können bequem gegen einander verstellt werden, und es kann durch einen Spiritustropfapparat Spiritus zwischen die Entladungselektroden getropft werden, um, sofort verdampft, eine wasserstoffhaltige Atmosphäre zu liefern. Parallel zur Entladungsstrecke liegt der Duddellkreis, bestehend aus einem elektrisch grossen Kondensator *b* und einer in einzelne Abschnitte unterteilten, mit dünnen Eisenblechen gefüllten Spule *c*. Die Unterteilungen dieser Spule sind an einzelne Kontakte geführt und es können durch Betätigung dieser Kontakte, welche auch leicht feststellbar eingerichtet sind, entsprechende Selbstinduktionsbeträge der Spule und damit verschiedene Töne des Duddellkreises erzielt werden. Ausserdem liegt zur Entladestrecke parallel der sogenannte Stosskreis, welcher aus einem elektrisch kleineren Kondensator *d,* einigen Kupferdrahtwindungen *e* und einem Taster oder Kurzschliesser *f* besteht. Letzterer ist mit der Antenne *g* gekoppelt. Durch Variation des Vorschaltwiderstandes *h* und eventuell Einregulierung der Drosselspule *i* kann das Brennen der Entladestrecke beeinflusst werden.

Durch die kleine Funkenstrecke fliessen drei Ströme: erstens der Gleichstrom der Stromquelle, zweitens der Niederfrequenzstrom des Duddelltonkreises und drittens der Hochfrequenzstrom des Stosskreises. Die beiden ersten vereinigen sich zu einem Wellenstrom, der den Leitungszustand der Entladestrecke periodisch verändert. Beim Höchstwert ihres Widerstandes setzen die zahlreichen Entladungen des Stosskreises ein, die so in der Antenne eine rhythmische einwellige Strahlung veranlassen. In den Zeiten des Maximalwertes des Wellenstromes muss andrerseits die Kapazitätsentladung aussetzen. Der Effekt ist also der, dass die Entladungen des Stosskreises nicht mehr willkürlich vor sich gehen, sondern durch den Entladungsvorgang des Duddellkreises gesteuert werden. Jedesmal wenn die Stromkurve *b,* in Abbildung 16, der kontinuierlichen Schwingungen des Duddellkreises durch die Nullinie hindurchgeht, beziehungsweise schon vorher, setzt der Stosskreis ein zu arbeiten und erzeugt eine Reihe von Entladungen, welche die Zahl von 5000—9000 haben können. Die Komplexe *a a* folgen sich sehr regelmässig und ergeben ein tönendes Geräusch; je steiler die Kurve *b,* um so regel-

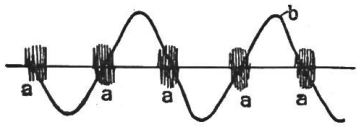


Abbildung 16.

mässiger setzt der Tonkreis ein (vgl. später drahtlose Telephonie mit gesteuerten Stosssendern) [1]).

Die auf diese Weise gewonnenen Apparaturen sind ausserordentlich leicht und in der Bedienung überaus einfach. Durch Betätigung der Kontakte der Spule *c* können ohne weiteres verschiedene Töne erzeugt werden, Hornsignale gegeben oder auch Melodien gespielt werden. Durch Betätigung des Tasters *f* können Morsezeichen bei den verschiedenen vorhandenen Tönen gegeben werden. Mitteilungen von Ingenieur *Rein* selbst und Dr. *Nesper* entnehme ich noch folgendes:

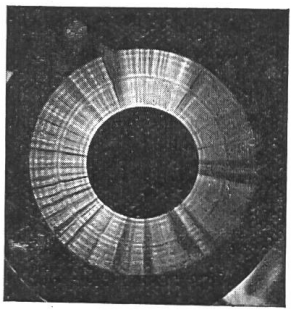


Abbildung 17: Partialentladungen ohne Tonkreis.

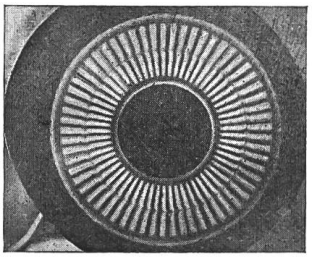


Abbildung 18: Entladungen mit Tonkreis.

Eine mit der Antenne gekoppelte rotierende Heliumröhre, die ohne Tonkreis das Bild schnell aufeinanderfolgender Partialentladungen aufweist. Abbildung 17 zeigt die Erscheinung eines leuchtenden Sternes, sobald die Ströme des Duddellsystems die Entladungsvorgänge beeinflussen (Abbildung 18). Deutlicher treten die Vorgänge im Strahlsysteme hervor, wenn man die elektrischen Erscheinungen mit dem Glimmlichtoszillographen aufnimmt. Entsprechend der Wirksamkeit des Stosskreises folgt in der Antenne in gleichförmigen Abständen eine gedämpfte Schwingungserscheinung der anderen, welche in ihrer Gesamtheit von der rotierenden Leuchtröhre als ein heller Streifen aufgenommen werden. In den Zeitabschnitten, in welchen der Tonkreisstrom die Entladestrecke kurzschliesst, in den Hochfrequenzkreisen also keine Elektrizitätsströmung stattfindet, kann naturgemäss die Oszillographenröhre nicht aufleuchten.

Die hierdurch hervorgerufene rhythmische Reizung der Thermozelle auf der Empfangsstation verursacht im Fernhörer die Hervorbringung eines reinen Tones, da die Einzelentladungen, sofern sie mit grosser Regelmässigkeit aufeinanderfolgen, wegen der ausserordentlichen Höhe ihrer sekundlichen Zahl (im Durchschnitt 5000 bis 20000 in der Sekunde) nicht vernehmbar sind. Brennt der Lichtbogen in der Entladestrecke unregelmässig, folgen also die Stromstösse nicht mit gleichen Abständen aufeinander, so vernimmt man auf der Empfangsstation ausser dem gewünschten reinen Ton noch ein kratzendes Untergeräusch.

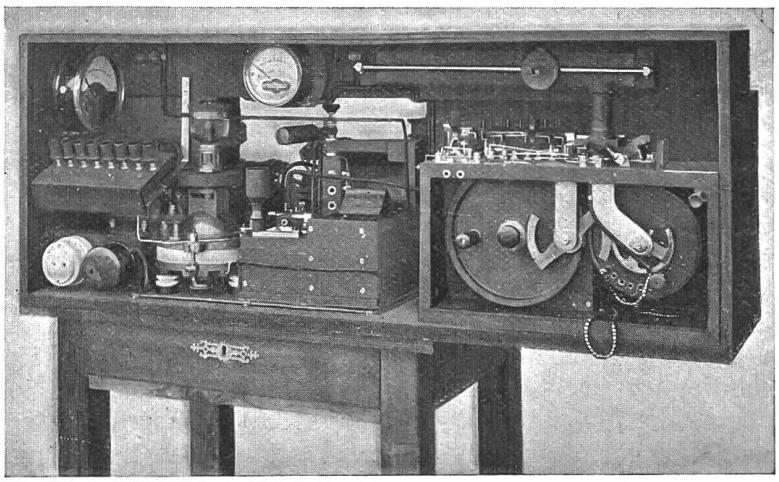


Abbildung 19: Vieltonsender nach Rein-Lorenz, links Sender, rechts Empfänger.

Eine vollständige Sende- und Empfangsstation für kleine und mittlere Reichweiten gibt Abbildung 19 wieder und zwar ist links die Sendeapparatur, rechts der Empfänger angeordnet. Als Empfänger wird eine thermoelektrische Zelle verwendet. Die mittels dieser Vielton-,Sender- und Empfangsapparatur drahtlos zu überbrückenden Entfernungen hängen in erster Linie von der Antenne und von der in ihr vorhandenen Stromstärke ab. Mittels kleiner, zirka 20 m hoher Schirmantennen war es bei einer Antenne von zirka 200 m Grundschwingung möglich, auf eine Entfernung von 50 km und mehr betriebssicher zu verkehren. Die Stromstärke im Luftleiter betrug hierbei im Mittel 2,6 Ampere bei 1,8

[1]) *W. Duddel,* The Electrician. **46.** S. 269 und 310. 1900.

Primärstrom. Bei demselben Primärstrom konnten bei einer grösseren Schirmantenne von etwa 500 m Grundschwingung 4,5 Ampere in der Antenne erzielt werden, und ein Betrieb auf 200 km sicher aufrecht erhalten werden. Je grösser bis zu einem gewissen Grade die Antenne gewählt wird, um so grösser ist die Antennenstromstärke für die betriebssicher zu überbrückende Entfernung und um so besser ist der Gesamtwirkungsgrad der Anlage.

Bezüglich der Vorzüge dieses radiotelegraphischen Vielton-Systems kommt Rein zu folgender Zusammenfassung:

Sie bestehen einmal darin, dass unter Wahrung einer einwelligen Antennenstrahlung nur durch Veränderung der Selbstinduktion oder der Kapazität der Antenne eine schnelle und einfache Umstellung der Betriebswellenlängen möglich ist und weiter, dass das Verfahren eine weitgehende Ausnutzung der akustischen Abstimmung ermöglicht. Denn mit der wachsenden Zahl der radiotelegraphischen Anlagen wird die Lösung der betriebstechnischen Aufgabe immer schwieriger, durch rein elektrische Abstimmung eine gegenseitige Störung der Stationen auszuschliessen. Wenn nun auch mit einem geschulten Personal nach dieser Richtung hin grosse Erfolge erzielt sind, so wird man doch für bestimmte Aufgaben die akustische Abstimmung neben der elektrischen nicht entbehren können. Die wertvolle Tatsache, beliebig viele Töne erzeugen zu können, bedeutet bei diesem Systeme einen weiteren Vorzug, besonders, da unter Benutzung von Monotelephonen die alleinige Aufnahme eines bestimmten Tones gewährleistet ist. Ordnet man die Selbstinduktionsspulen oder die Kondensatoren des Tonkreises derart an, dass mit Hilfe einer Klaviatur beliebige Selbstinduktions- oder Kapazitätsbeträge in das Duddellsystem eingeschaltet werden können, so ist man damit in der Lage, Musikstücke, Hornsignale und ähnliches radiotelegraphisch zu übertragen.[1])

Im Anschluss hieran sei noch kurz darauf hingewiesen, dass mit diesen gesteuerten Stossentladungen auch eine drahtlose Telephonie möglich erscheint und unter Hinweis auf spätere Ausführungen sei schon folgendes bemerkt. Von den beiden für eine Radiotelephonie vorgeschlagenen Methoden, durch das Mikrophon eine Aenderung der Amplituden oder der Wellenlängen der elektromagnetischen Schwingungen im Rhythmus des gesprochenen Wortes hervorzurufen, besitzt von vorneherein nur die erstere Aussicht auf Erfolg, da eine Aenderung der Wellenlänge zugleich eine Verstimmung auf der Empfangsseite bedeutet und damit die besonderen Eigenschaften des Empfängers, die Güte der Uebertragung massgebend beeinflusst. Auf diesen Umstand sind wahrscheinlich die vielen, einander widersprechenden Erfahrungen, welche im Laufe der Jahre gewonnen wurden, zurückzuführen. Durchsichtigere elektrische Verhältnisse ergeben sich jedenfalls dann, wenn die Lautübertragung durch entsprechende Veränderung der Strahlungsenergie erfolgt. Wie aus der Theorie hervorgeht, wird dann die Veränderung der Amplituden am wirksamsten sein, wenn der Widerstand der Antennenstrahlung gleich dem der Mikrophonanordnung ist. Je nach der Belastung schwankt der Widerstand der für diesen Zweck brauchbaren Kohlenkörnermikrophone zwischen 4 und 10 Ohm. Besitzt demnach das Strahlsystem in seinem Widerstande den gleichen Wert, so würde es am zweckmässigsten sein, das Mikrophon direkt in die Antenne zu schalten. Ist er grösser, so kann man sich leicht durch Serienschaltung mehrerer Mikrophone helfen, ist er kleiner, so ist eine Transformatorschaltung am Platze. Da nun ein radiotelegraphischer Betrieb mit ungedämpften Schwingungen, mögen diese durch einen Lichtbogengenerator oder eine Hochfrequenzmaschine erzeugt werden, nur von gewissen Wellenlängen ab in Frage kommt, diese daher bei kleinen Antennen mit hoher Eigenschwingungszahl also nicht verwendbar sind, so bildet in diesem Falle die drahtlose Telephonieverständigung mittels schnell aufeinanderfolgender Einzelentladungen eine Lösungsmöglichkeit. Wenn es gelingt, die sekundliche Entladungszahl derart zu steigern, dass sie ausserhalb der hörbaren Töne liegt, und wenn es möglich wird, gleichzeitig die Entladungsfolge so regelmässig zu gestalten, dass ein Grundgeräusch entweder nicht vorhanden oder wenigstens vollkommen gleichmässig ist, so lässt sich damit eine drahtlose Telephonieverständigung mittels gedämpfter Antennenentladungen verwirklichen. Schaltet man demnach in die Erdleitung der Antenne unter Berücksichtigung ihres wirksamen Strahlungs-

[1]) Jahrbuch für drahtlose Telegraphie und Telephonie. **4**, 129. 1910.

widerstandes ein passend abgeglichenes Mikrophonsystem ein, so zeigt, wie aus den beifolgenden Aufnahmen zweier Laute hervorgeht, der mit dem Strahlsystem gekoppelte rotierende Schwingungskontroller den Einfluss der in die Mikrophone gesprochenen Worte (Abbildung 20a, Abbildung 20b).

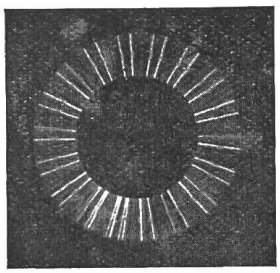


Abbildung 20 a.
aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa

Wenn auch der Energieumsatz beim *Rein*'schen Vieltonsender bei Verwendung von Gleichstrom beschränkt ist, so ist ihm jedoch eine grosse Vielseitigkeit eigen: Vor einer Hochfrequenzmaschine besitzt er den Vorzug der in einfachster Weise erreichbaren kontinuierlichen Wellenskala, dem Poulsen Lichtbogensysteme ist er in dem Punkte überlegen, dass alle Signale tönend übermittelt werden können, und den tönenden Wechselstromsender übertrifft das System in der Vielheit der einstellbaren Töne in Verbindung mit der Möglichkeit, eine drahtlose Telephonieverständigung zu erreichen.

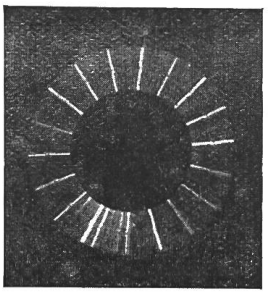


Abbildung 20 b.
oooooooooooooooooooo

Die soeben bereits in einer ihrer Verwendungen erwähnten kontinuierlichen Hochfrequenzschwingungen bilden nunmehr den Gegenstand unserer nächstfolgenden Betrachtungen. Dem historischen Entwicklungsgang entsprechend behandeln wir die Lösung dieses vorbildlichen Problems der Radiotelegraphie und Radiotelephonie auf dem Wege der Hochfrequenzmaschine (Wechselstromgenerators) erst an zweiter Stelle und wenden uns zunächst zur Lichtbogenmethode. *Duddel* fand zunächst im Jahre 1899, dass in einem Schliessungskreis in Kapazität und Selbstinduktion, den man, wie es Abbildung 21 zeigt, an einen Gleichstromlichtbogen zwischen Homogenkohlen anlegt, durch diesen unter gewissen Bedingungen dauernd kontinuierliche Schwingungen unterhalten werden. Der Lichtbogen vermittelt selbsttätig den Ersatz der im Schwingungskreise veranlassten Energieverluste auf Kosten des Lichtbogenkreises, und man erhält so an Stelle von gedämpften Ladeschwingungen im Schwingungskreis anhaltend Schwingungen von stets gleichbleibender Amplitude. Man spricht deshalb auch von „ungedämpften" Schwingungen, was streng genommen ein falscher Ausdruck ist. Selbstredend entsteht auch hier im Schwingungskreis fortwährend Dämpfung durch gewöhnliche Energieverluste und durch Energieabgabe zu Zwecken der Strahlung, aber der Schwingungskreis wird durch die Vorgänge im Lichtbogen immer wieder aufs neue angeregt, analog wie die Echappementvorrichtung einer Uhr immer wieder das Pendel anstösst und einen Ersatz der durch Dämpfung verursachten Energieverluste besorgt. Hinsichtlich der Vorgänge selbst braucht *Simon* (Göttingen), der sich durch gründliche analytische Untersuchungen der Anordnung sehr verdient gemacht hat, den treffenden Vergleich, dass die ganze Anordnung wirke wie eine von einem stetigen Luftstrom angeblasene Orgelpfeife. Die Luftlamelle, die gegen die Lippe der Pfeife strömt, hat dieselbe Funktion wie der Lichtbogen; sie leitet, und zwar im Rhythmus der Eigentöne der Pfeife, die Strömung bald in die Pfeife, bald daran vorbei. Die Trägheit der in der Orgelpfeife abgeschlossenen Luftmasse entspricht der Selbstinduktion; die Elastizität (bezw. ihr reziproker Wert) der Luftmasse ist das Analogon für die Kapazität.

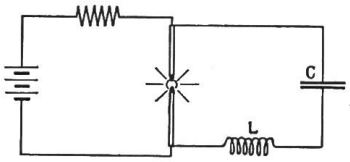


Abbildung 21. Duddel-Kreis für kontinuierliche elekrische Schwingungen.

Die Bedingung für das Zustandekommen des Phänomens ist ein labiler Gleichgewichtszustand im Stromkreis des Lichtbogens und seiner Stromquelle. Der Lichtbogenwiderstand, d. h. der Quotient aus der momentanen Aenderung der Spannung an den Bogenelektroden und der momentanen Aenderung des Stromes, muss negativ und numerisch grösser oder wenigstens gleich gross sein wie der *Ohm*sche Widerstand des Schwingungskreises.[1]) Auf

[1]) Die sogenannte Stabilitätsbedingung $\frac{d\,v}{d\,i} + w > o$ ist zuerst von *Kaufmann* (Ann. Phys. **2**. 158. 1900) ermittelt worden; sie ist der Ausdruck für den Gleichgewichtszustand im Stromkreis des Lichtbogens und seiner Stromquelle; nur im labilen Gleichgewichtszustand $\frac{d\,v}{d\,i} + w < o$ können die Schwingungen erregt werden.

Grund allgemeiner elektrodynamischer Erörterungen kann man formulieren, dass jeder Leiter (nicht nur der Lichtbogen), der im Nebenschlusskreise Schwingungen unterhalten kann, mit zunehmendem Strom seinen Spannungsabfall verkleinert, mit abnehmendem vergrössert. Stellt man das Verhalten eines Leiters im Stromkreise durch seine „Charakteristik" dar, d. h. durch die experimentell zu ermittelnde und graphisch darzustellende Abhängigkeit zwischen Klemmenspannung und Stromstärke, so lässt sich sagen, dass jeder Leiter mit fallender Charakteristik in einem parallel geschalteten Schwingungskreis dauernd Schwingungen unterhalten kann. Der Gleichstromlichtbogen hat eine fallende Charakteristik und den eigentlichen Vorgang im Schwingungskreis hat man sich wie folgt vorzustellen:

Es fliesst zunächst ein Strom vom Lichtbogenkreis in den Schwingungskreis, was auf eine Reduktion der Stromstärke im Lichtbogen hinzielt. Diese Reduktion des Stromes tendiert also jetzt eine Vergrösserung der Potentialdifferenz zwischen den Polen des Bogens und bewirkt ein gesteigertes Abfliessen des Stromes in den Schwingungskreis, sodass man schliesslich am Kondensator eine höhere Spannung hat als die normale Bogenspannung. Infolgedessen beginnt nun der Kondensator sich durch den Bogen zu entladen, was die Stromstärke im Bogen vergrössert und die Potentialdifferenz vermindert, sodass sich der Kondensator zu viel entladet und das umgekehrte Spiel wieder einsetzt. Der Kondensator kann sich nicht auf eine normale Ladung bei einer gewissen Spannung aufladen, da eben die Potentialdifferenz an den Bogenpolen nicht konstant bleibt; in der Tat sinkt letztere, wenn der Kondensator entladen wird, und sie steigt, während der Kondensator sich ladet, woraus ein kontinuierliches Hin- und Herwallen des Stromes resultieren muss.

Die Frequenz wird man natürlich durch die Konstanten L (Selbstinduktion) und C (Kapazität) des Schwingungskreises bestimmt erachten, und man sollte meinen, durch Verkleinern von L und C die Schwingungszahl n beliebig hinauftreiben zu können. Allein *Duddell* fand, dass bei

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 40000$$

schon die Grenze[1]) ist; bei weiter verkleinerten L und C gibt es keine Schwingungen mehr, so dass man von einer bei der drahtlosen Telegraphie benötigten Frequenz von $n = 100000 - 1000000$ noch weit entfernt war. Es liegt dies offenbar daran, dass man bei höheren Frequenzen den Strom im Lichtbogen zu schnell wechselt, als dass ein Wachsen der Stromstärke noch eine Verminderung der Potentialdifferenz im Gefolge haben könnte. Wie experimentell ermittelt wurde, erfolgt bei hinreichend schnellem Wechsel das Anwachsen des Stromes und der Spannung im gleichen Sinne und proportional, sodass sich dann der Bogen wie ein gewöhnlicher Widerstand verhält. Weiter wurde gefunden, dass die Frequenz auch noch von anderen Faktoren abhängt, nämlich ceteris paribus wächst mit abnehmender Bogenlänge und zunehmender Betriebsstromstärke. — Die Intensität der Schwingungen erwies sich ferner als gering.

Diese Uebelstände wurden dann (D. R. P. aus dem Jahre 1903) beseitigt durch eine Entdeckung des dänischen Ingenieurs *Valdemar Poulsen* (dem Erfinder des ingeniösen magnetischen Telegraphons), welcher fand, dass eine bedeutende Steigerung der Frequenz und Intensität der Schwingungen dadurch erreicht wird, dass man den Lichtbogen nicht in Luft sondern in Wasserstoff oder einer Wasserstoff enthaltenden Atmosphäre (z. B. Leuchtgas) brennen lässt; im gleichen Sinne wirkte auch ein zum Lichtbogen transversales Magnetfeld, wie es früher *Elihu Thomsen* zu anderen Zwecken verwendet hatte.

Ein moderner Poulsen-Generator, wie er von „Det Kontinentale Syndikat for Poulsen-Radiotelegrafi Aktieselskab" in Kopenhagen konstruiert wird, ist im Stationsbild Abbildung 23[3]) dargestellt. Die Spulen dienen zur Erzeugung des zum Lichtbogen transversalen Magnetfeldes, der zwischen Kupfer[2]) — Kohle = Elektroden in einer Wasserstoffatmosphäre brennt. In vielen Fällen z. B. bei fahrbaren Militärstationen, auf denen kein Wasserstoff oder

[1]) *Wertheim-Salomonson* gelang es, Schwingungen von der Frequenz 400000/sec mit dem Duddellkreis zu erhalten, wenn ihm fast keine Energie entzogen wurde.

[2]) Die Kupferanode kann durch Wasser gekühlt werden, was jedoch nur bei Anwendung grosser Energie notwendig ist.

[3]) Siehe Seite 282.

Leuchtgas mitgeführt werden kann, wird in die über den Spulen sichtbare Lichtbogenkammer Spiritus eingetropft, welche Vorrichtung speziell von der C. Lorenz A.-G. in Berlin, welche die Poulsen-Patente für Deutschland, und der Telephon-Fabrik A.-G. vorm. J. Berliner in Wien, welche für Oesterreich-Ungarn, Balkanstaaten und die Schweiz fabriziert, ausgebildet wird; Poulsen selbst zieht in solchen Fällen die Benutzung von Naphtha vor, das in geringen Mengen direkt in die Lichtbogenkammer hineingegeben wird. Der kleine Motor lässt vermittels einer Stange oder biegsamen Welle die Kohlekathode langsam rotieren, um einen für die Konstanz der Schwingungsfrequenz wichtigen bezw. praktisch notwendigen gleichmässigen Abbrand zu erzielen.

Ein wichtiger Bestandteil des *Poulsen*-Systems im Empfänger ist der Poulsen'sche „Tikker". Es ist dies eine Unterbrechervorrichtung, die zwei Funktionen hat: erstens hält sie den Empfangskreis eine gewisse, natürlich sehr kleine Zeit, geschlossen, so dass die Amplitude der Schwingungen auf ein Maximum gebracht wird, ehe solche auf den Detektor einwirken; zweitens teilt sie die kontinuierlichen Schwingungen in Gruppen von solcher Frequenz ab, dass im Telephonempfänger ein hörbarer Ton entstehen kann. Der Tikker nützt also die Eigenschaften der ungedämpften Schwingungen in sehr vollkommener Weise aus, indem er durch sie die Kondensatoren eines geschlossenen, sehr schwach gedämpften Resonanzkreises oszillatorisch aufladet. Die im Kondensator angesammelte Elektrizitätsmenge lässt er sich nun plötzlich in einen zweiten grossen Kondensator entladen, dem ein Telephon parallel geschaltet ist; dann wird in letzterem die während der Resonanzzeit angesammelte Energie ausgenutzt, während zur Zeit des Ansammelns selber der Hörkreis nicht stört. Mit den kontinuierlichen Schwingungen gelang ferner die Ausbildung einer hohen Telegraphiergeschwindigkeit. Speziell wurde dieselbe erreicht mit dem automatischen Schnelltelegraphen von *P. O. Pedersen,* dem wissenschaftlichen Mitarbeiter von Poulsen. Auf die nähere Beschreibung und Schaltung dieses automatischen Senders[1]) will ich hier nicht näher eingehen. Die Morsezeichen kommen hier dadurch zustande, dass hinter einem zur Richtung der Saite eines *Einthoven*schen Galvanometers senkrechten engen Spalt die Ablenkungen der Saite auf dem fortlaufenden lichtempfindlichen Morsestreifen photographisch fixiert werden. Die ankommenden elektrischen Schwingungen werden durch eine Thermodetektorzelle gleichgerichtet, und der pulsierende Gleichstrom betätigt das Galvanometer.

Ein grosser Vorzug der kontinuierlichen Schwingungen des Poulsensystems ist, dass sie zum erstenmal auch eine *drahtlose Telegraphie* ermöglicht haben. Frühere dahingehende Versuche konnten nicht zu einem befriedigenden Resultat führen, solange man in der gewöhnlichen Weise mit gedämpften Schwingungen arbeitete, wobei die einzelnen Wellenzüge in grossen Zwischenräumen aufeinander folgten. Sobald es aber gelungen war, mit der Lichtbogenmethode einen stets gleichen Schwingungszustand im Luftleiter dauernd aufrecht zu erhalten, musste es natürlich möglich sein, nach demselben Prinzip, auf dem die allbekannte Lichttelephonie beruht, die kontinuierlichen Schwingungen durch die menschliche Sprache zu beeinflussen. In der Tat verfuhr man anfangs streng analog. Man verwendete eine Schaltung wie für die bekannte sprechende Bogenlampe, d. h. in die Leitung des Gleichstromes, der die Bogenlampe betätigt, wird die primäre Wicklung einer Induktionsspule geschaltet, deren sekundäre Wicklung mit einer Batterie und einem Mikrophon einen Mikrophonkreis bildet. Der Lichtbogen wird in dieser Weise durch die Mikrophonströme beeinflusst, entsprechend auch die Stärke der Ströme im Schwingungskreis und dadurch schliesslich die durch den Luftdraht bewirkte Ausstrahlung. Im Empfänger benutzt man an Stelle der Selenzelle der Lichttelephonie Detektoren, die auf Strahlungsschwankungen mit korrespondierenden Stromschwankungen im Detektorkreis reagieren; letztere setzen sich dann wie bei der gewöhnlichen Drahttelephonie wieder in die Sprachlaute um.

[1]) Siehe Jahrbuch **4**, 524. 1911. Zwischen Newcastle (England) und Lyngby (Dänemark) wurden kürzlich bei einer Vorführung vor der englischen Marine 207 Worte pro Minute mit 11 KW. Senderenergie empfangen. Mit Rücksicht auf erwünschte Korrespondenzmöglichkeit mit Funkenempfangsapparaten wurde mit derselben Energie und über dieselbe Entfernung (900 km) eine Poulsen'sche „Tonsender"-Anordnung versucht, bestehend einfach aus einer rotierenden, lamelierten Scheibe, die mit einem Telegraphenschlüssel parallel oder in Serie geschaltet wird. Das Resultat war ausserordentlich günstig. Dieser einfache Tonsender ist recht selektiv, kann jedoch mit dem gewöhnlichen Poulsen-Sender mit Tikkerempfang nicht konkurrieren.

In den modernen Anordnungen verfährt man etwas anders. Abbildungen 22 und 23 zeigen Schaltung und Apparatur für drahtlose Telephonie an der Poulsenstation Lyngby, die nach vorher Gesagtem ohne weiteres verständlich sein werden. Von den drei Empfängerkästen (rechts in Abb. 23) enthält einer die primäre und sekundäre Spule des Empfängerkreises, und kann man durch Verdrehung der Spulen gegeneinander jeden beliebigen Kopplungsgrad erzielen, was bei dieser Schaltung von Bedeutung ist. Die Mikrophone im Sender werden direkt in den Luftdraht geschaltet. Für die Stärke des Tons im Empfängertelephon kommt es auf die *prozentische* Aenderung an, welche die Amplitude der ausgesandten Wellen durch die Wirkung des Mikrophons erleidet. Der Vorteil mehrerer hintereinander geschalteter Mikrophone, wie es *Poulsen* tut, ist der, dass bei derselben Tonstärke die *prozentische* Aenderung, welche die Gesamtdämpfung des Luftleiters und damit die Amplitude der Schwingungen infolge der Widerstandsänderung in den Mikrophonen erleidet, grösser wird als bei der Verwendung eines einzigen Mikrophons. Durch die schwankende Strahlungsamplitude des Senders entstehen im Kreis der Thermozelle (Detektor) des Empfängers zunächst Widerstandsschwankungen, die proportional den Widerstandsschwankungen der Sender-Mikrophone sind, und die so resultierenden charakteristischen Stromschwankungen reproduzieren dann im Telephon die ursprünglichen Sprachlaute, denn man bekommt im Telephon einen Strom derselben Periode, mit der die Amplitude der Senderschwingungen zu- und abnimmt, d. h. einen Strom derjenigen Periode, welchen der in das Mikrophon des Senders hineingesprochene Ton besitzt.

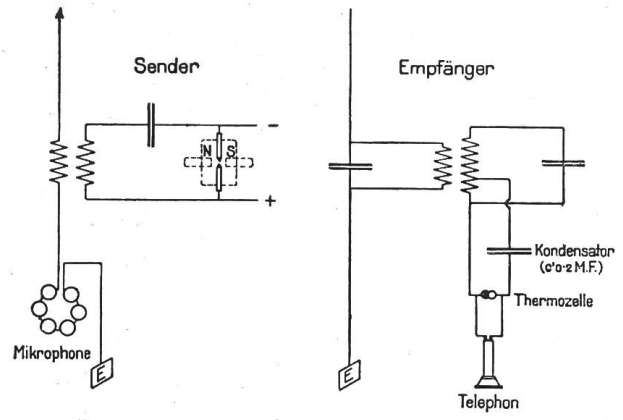


Abbildung 22.
Schaltungsschema für Radiotelephonie nach dem Poulsen-System.

Die Telefunkengesellschaft verwendet für Radiotelephonie im Sender eine Anzahl von in Reihe geschalteter Lichtbögen gewöhnlicher Luft (Abbildung 24 und 25).

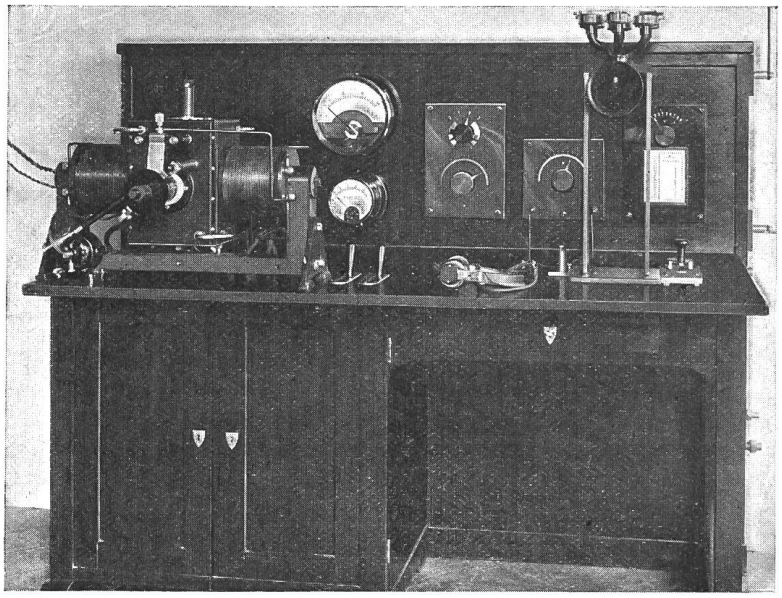


Abbildung 23. Radiotelephonie nach dem Poulsensystem.

Der kleine, aus jedem Teilbogen wegzuschaffende Wärmebetrag wird nach Vorschlägen, von *H. Th. Simon* durch unsymmetrische Elektrodengestaltung abgeleitet, indem die eine Elektrode aus Kohle besteht, während die andere als wassergekühlte Metallelektrode ausgebildet ist. Es werden immer Gruppen von 10, 20 und mehr Lampen als Ganzes reguliert. Je mehr Energie zum Aussenden gebracht werden soll, um so mehr Lampen werden in Reihe geschaltet. Bei 24 Lampen werden etwa 6 KW Gleichstromenergie zur Schwingungserzeugung aufgewendet, von welcher etwa 10 % für Strahlungszwecke in Form ungedämpfter Schwingungen nutzbar gemacht werden. Durch die Lichtbogenmethode lassen sich verschiedenartige Schwingungen erzeugen. Wählt man als Schwingungskreis einen

normalen Kreis der alten Funkentelegraphie, d. h. mit grosser Kapazität und kleiner Selbstinduktion, so erhält man zwar kontinuierliche Schwingungen, aber von variabler Periode. Hat der Erregerkreis genügend grosse Selbstinduktion bei kleiner Kapazität, so erweist sich die Periode konstant, aber die Schwingungen sind nicht kontinuierlich, wie man sich durch Benutzung eines rotierenden Spiegels direkt überzeugen kann, oder auch an der Empfangsstation im Telephon, in welchem man dann ein unregelmässiges starkes Rauschen hört, hervorgerufen durch das zeitweise Aussetzen der Schwingungen.

Die Frage, welche ist die maximale Energie, die man in kontinuierliche Schwingungen konstanter Periode umsetzen kann, ist bisher nur empirisch von Fall zu Fall untersucht worden und harrt noch der allgemeinen Beantwortung.

Der praktische Telephonbetrieb bei Telefunken gestaltet sich so, dass der Lampenkreis während des Sprechens dauernd kontinuierliche Schwingungen erzeugt. Die Koppelungswindungen des Luftdrahtes nehmen hiervon einen bestimmten Energiebetrag auf und dieser geht während des Sprechens abwechselnd in das Mikrophon und die Antenne. Je kleiner der Widerstand des Mikrophons ist, um so kleiner wird die Amplitude der Schwingungen in der Antenne. Telefunken fand, dass es nicht günstig ist, den Detektor (meistens Thermozelle) in einen besonderen Empfangskreis einzuschalten. Die Sprachreproduktion erklang dann nämlich verzerrt, was in einer Deformation der Schwingungsform, welche teilweise durch Resonanzerscheinungen und teilweise durch Periodenschwankungen verursacht sein kann, begründet sein mag. Der Detektor wird deshalb unmittelbar mit der Antenne verbunden bezw. in einen Nebenschluss zu einer Spule gelegt, die einen Teil der Antenne ausmacht, wodurch eine wesentliche Steigerung der Deutlichkeit der Sprachübertragung erzielt wurde, da eine Resonanzwirkung wegen der verhältnismässig starken Dämpfung der Antenne nur sehr wenig hervortreten kann. Die vergrösserte Dämpfung ist natürlich der Abstimmungsfähigkeit ungünstig.

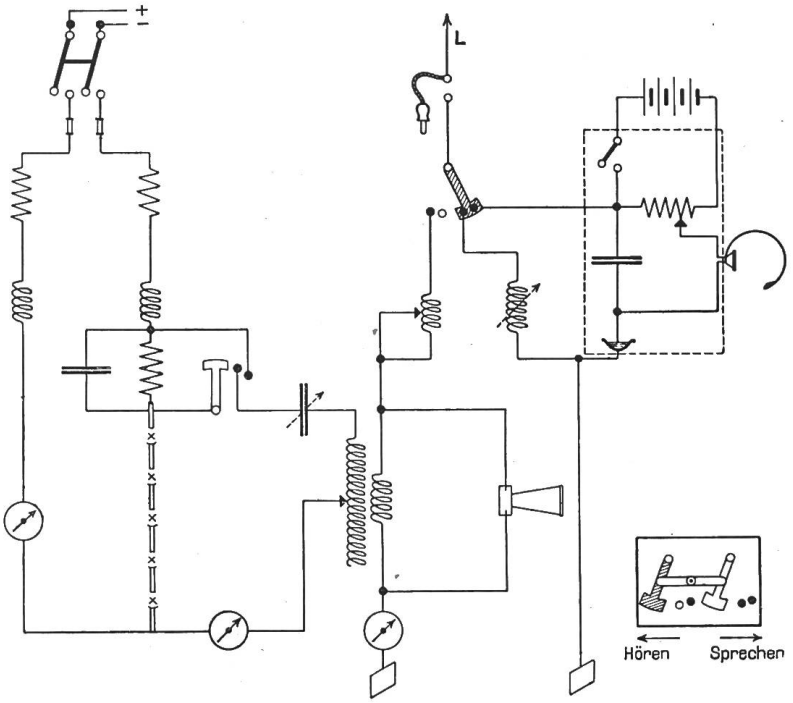


Abbildung 24. Schaltungsschema für Radiotelephonie nach dem Telefunkensystem.

Erwähnt seien ferner die Anordnungen von Lee de Forest. Der Lichtbogen des Sendergenerators brennt in einer Spiritusflamme, was auf dasselbe hinausläuft wie die Benutzung einer Wasserstoffatmosphäre, da Spiritus einen hohen Gehalt an Wasserstoff besitzt. Im Empfänger kommt als Detektor der sogenannte Audiondetektor zur Anwendung, der eine leichte Abänderung des Schwingungsventils von Fleming[1]) darstellt; seine Wirkungsweise basiert gleichfalls auf dem Eintritt von Widerstandsschwankungen unter dem Einfluss der Strahlungsschwankungen.

Von anderen Modifikationen des *Poulsen*-Generators in mehr oder weniger origineller Form und teils mit eigenartigen Schaltungen für Zwecke der Radiotelephonie[2]) wären noch

[1]) Vergl. Jahrbuch **1**, 95/99 1908.

[2]) Über Radiotelephonie mit gesteuerten Stossendern vergleiche vorher Seite 278, ferner besonders *E. Nesper,* Jahrbuch **4**, 241. 1911. „Ungesteuerte und gesteuerte Stossender für drahtlose Telephonie".

die Systeme von *Colin u. Jeance, A. F. Colins,* und *F. Jacoviello* zu nennen. Auf das erste will ich noch etwas näher eingehen.

Mitte 1908 begannen die französischen Marineoffiziere *Colin und Jeance* mit Unterstützung der französischen Regierung ihre Versuche und entnehme ich einem Bericht des Herrn Marineleutenants *Jeance* hierüber folgende Angaben. Die kontinuierlichen Hochfrequenzschwingungen werden in der üblichen Weise durch einen Lichtbogenkreis erzeugt, und gibt das nebenstehende Schaltungsschema Abbildung 26 die näheren Erläuterungen.

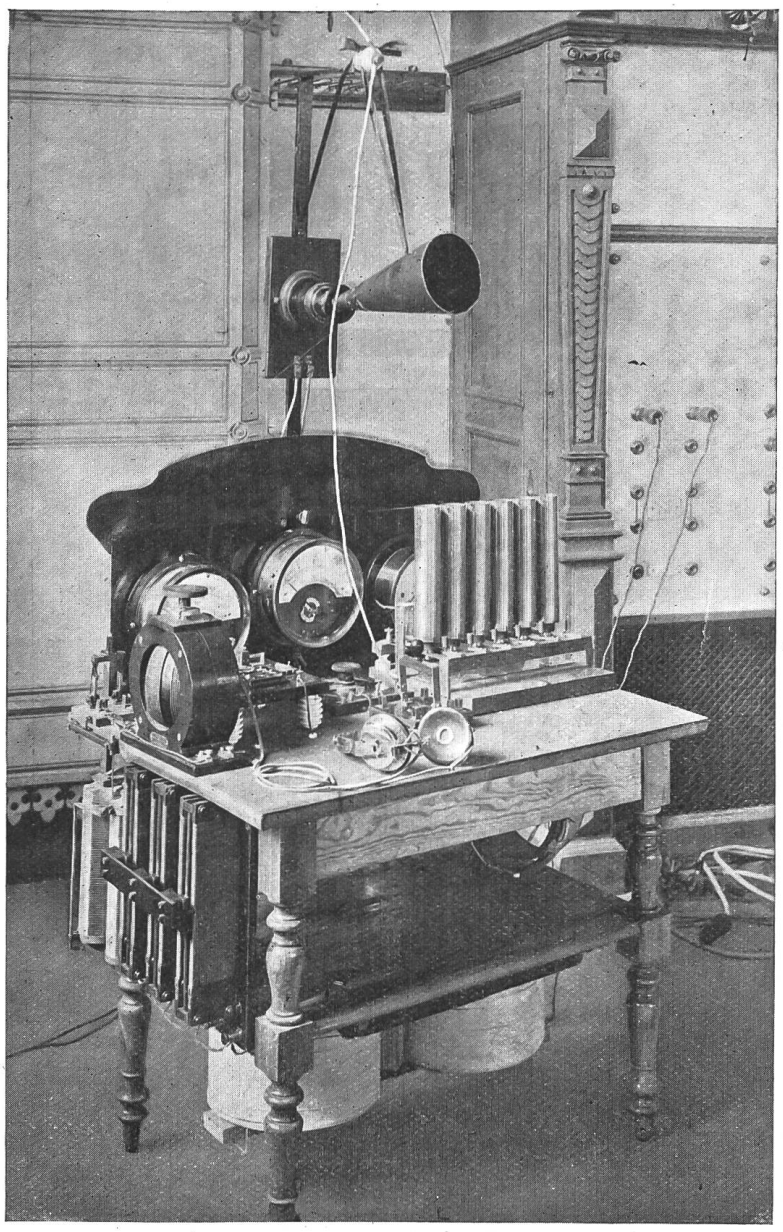


Abbildung 25. Radiotelephonie nach dem Telefunkensystem.

Der oder die Lichtbogen brennen wie bei Poulsen in einer Wasserstoff- oder Kohlenwasserstoff-Atmosphäre zwischen Kupferanode und Kohlekathode. Die Anode besteht aus einem sehr grossen Kupferzylinder, in dem Petroleum zur Kühlung zirkuliert. Der Teil der Anode, wo der Lichtbogen übergeht, hat die Form einer flachen Calotte von etwa 12 cm Durchmesser; die Anordnung ist fest, doch kann man nach mehrstündiger Benutzung die Kupferanode langsam um ihre Axe sich drehen lassen, um andere Stellen für den Lichtbogen zu bekommen. Sehr wichtig ist die besondere Beschaffenheit der negativen Elektrode; sie besteht aus einem sehr dünnen Kohlenstift von etwa 1 mm Durchmesser, wodurch eine absolute Stabilität des Lichtbogens und ein zuverlässiges Funktionieren über 6—8 Stunden ohne Auswechseln der Kohle erreicht wurde; durch eine besondere Vorrichtung kann die Einstellung der Kohle von aussen reguliert werden. Eine reine kontinuierliche Schwingung im Sender vorausgesetzt sind zur Reproduktion der Sprachlaute, ohne Verzerrung derselben, zwei Verfahren möglich. Die erzeugte einfache Schwingung kann direkt auf die Antenne übertragen werden, oder es wird eine Schwingung von irgend einer Form erzeugt und man filtriert sie dann gewissermassen, ehe man sie auf die Antenne überträgt. Das erste Verfahren führt bei gegebener Wellenlänge auf sehr kleine Werte der Kapazität im Vergleich zur Selbstinduktion des Generatorkreises und infolgedessen zu relativ kleinen Energiewerten; trotzdem ist dieses Verfahren bisher von allen Experimentatoren mit Lichtbogen angewendet worden. — Colin und Jeance benützen das zweite Verfahren und erreichen dadurch mit relativ kleinen Wellenlängen, wie sie bei der Marine üblich sind, eine kräftige reine Schwingung.

Stone und *M. Wien*[1]) sind die einzigen, die diesen Zwischenkreis angewendet haben, jedoch nur für Funkenschwingungskreise, sodass keine Uebereinstimmung mit dem Verfahren von *Colin und Jeance* besteht. Der Wien'sche Zwischenkreis muss ein sehr viel kleineres Dekrement haben wie der Primärkreis und wird so ein sekundärer Generator wenig gedämpfter Schwingungen bezw. ein wirklicher Dämpfungstransformator; seine Kapazität muss deshalb sehr klein sein im Vergleich zur Selbstinduktion, auch muss die Antenne sehr lose angekoppelt werden, um Schwebungen zu vermeiden.

Der „Filtrierkreis" von *Colin und Jeance* hat eine ganz verschiedene Funktion und Form; er enthält eine Kapazität, deren Wert ein und einhalb mal grösser ist als derjenige der Selbstinduktion, beide in cm ausgedrückt; ferner ist die Koppelung mit der Antenne und mit dem Primärkreis sehr fest. Die kontinuierliche Schwingung vermittels des Lichbogens unterdrückt anderseits jede Möglichkeit von freien Schwingungen und von Schwebungen.

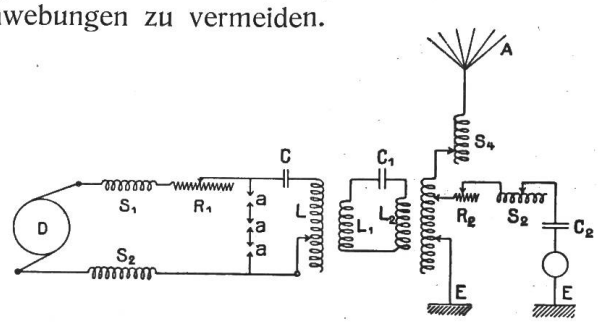


Abbildung 26. Radiotelephonie nach Colin-Jeance.
D = Dynamo, a = Lichtbogen, A = Antene, E = Erde.

Das strahlende System besteht wie gewöhnlich aus einer Antenne, an die ein Kondensator und eine Selbstinduktion in Reihe angeschlossen sind. Alle drei Schwingungskreise müssen exakt aufeinander abgestimmt sein; ferner muss jeder von ihnen ein genau angepasstes Verhältnis von Kapazität und Selbstinduktion besitzen. Die Einstellung ist deshalb delikat und verlangt eine geübte Hand, aber einmal erreicht bleibt sie für immer konstant.

Die Mikrophonanordnung besteht aus einer grossen Zahl von speziellen Mikrophonen, die dauernd eine Intensität von 0,8 Ampere vertragen. Dieselben werden in einen Kreis geschaltet, der mit dem einen Ende an einen passend gewählten Punkt der Tesla-Sekundären in der Antenne mit dem anderen Ende an Erde angeschlossen ist. Der Kreis enthält ferner einen variablen induktionsfreien Widerstand, variable Selbstinduktion und Kapazität. Unter diesen Umständen bei erreichter Abstimmung zirkuliert im Mikrophonkreis ein absolut unveränderlicher Strom gleich $^1/_{10}$ des Antennenstromes. Als Detektoren können die bekannten Detektortypen benutzt werden.

Es folgt dann im Bericht eine Aufzählung zahlreicher Versuche und die offiziellen Rapporte über dieselben, die die Zuverlässigkeit des Systems klar zeigen. Die Versuche nach dem vorliegenden Bericht wurden abgeschlossen mit der Ueberbrückung von 240 km zwischen Toulon und Port Vendres bei einer Wellenlänge von nur 400 m. Das System ist dann von der französischen Regierung angenommen worden.

Um das Studium der Radiotelephonie zu fördern, sind von *Erich F. Huth* vielseitig brauchbare Demonstrationsapparate konstruiert worden. Sender und Empfänger sind auf einem Kasten, der auf einem fahrbaren eisernen Gestell montiert ist, vereinigt. Im Innern eines Kastens, dessen Deckel aufklappbar ist, befinden sich die Leidener Flaschen, die Drosselspulen und der automatische Hauptschalter. Der Lichtbogen des Hochfrequenzgenerators für Mindestspannung 220 Volt brennt zwischen zwei Kohleelektroden von besonderer Form und Beschaffenheit; die Zündung geschieht automatisch. Um den für die Konstanz der Schwingungserzeugung wichtigen gleichmässigen Abbrand der Elektroden zu erreichen, rotiert der Lichtbogen nach einem patentierten Verfahren elektromagnetisch. Im Empfänger wird ein Thermodetektor in Verbindung mit einem Telephon von hohem Widerstand benutzt. Die Antenne besteht aus einem vernickelten schirmartigen Gestell, das leicht zusammenzulegen und aufzustellen ist.

Die Reichweite für Radiotelegraphie hängt ausser von der Masthöhe natürlich von der an der Senderstelle aufgewandten Energie ab. Hier ist nun vorläufig noch eine sehr enge Grenze gezogen durch das Mikrophon. Um die durch die Sprache dosierte Schwankung der elektrischen Ausstrahlung hervorzurufen, kommt das gewöhnliche Mikrophon der Schwachstromtechnik zur Anwendung, das, wie wir sahen, entweder direkt in die Antenne oder

---

[1]) Vergl. vorher S. 266 ff.

in einen besonderen Kreis geschaltet wird. Für die Ausbildung grosser Reichweiten bildete bisher ein solches Mikrophon das alleinige, aber schwer zu nehmende Hindernis, denn die Senderenergie kann nicht beliebig gesteigert werden, weil das gewöhnliche Mikrophon durch grosse Energiemengen zerstört wird.

In dem Bestreben, andere Mikrophonanordnungen zu verwenden, ist jetzt besonders *Quirino Majorana* (Rom) mit seinem verbesserten sogenannten hydraulischen Mikrophon erfolgreich gewesen. Das Prinzip ist folgendes: Wenn ein Flüssigkeitsstrahl senkrecht aus einer engen Oeffnung eines Zuleitungsrohres ausfliesst, so verläuft er eine Strecke lang zylindrisch, beginnt dann sich zusammenzuziehen, um schliesslich in Tropfen zu zerfallen. Es ist bekannt, dass mechanische Störungen, die auf das Rohr wirken, die Einschnürungen des Flüssigkeitsstrahles oder die Tropfenbildung begünstigen. Wenn solche mechanische Störungen plötzlich und schnell hintereinander auftreten, so verkürzt sich der zylindrische Teil des Strahles und der Einschnürungspunkt rückt näher an die Ausströmungsöffnung heran. Die Einschnürung des Strahles oder die Auflösung in Tropfen lässt sich in beliebigem akustischen Rhythmus erzeugen, wenn man auf das Rohr oszillatorische Störungen akustischer Art einwirken lässt. Ein einfacher Versuch zeigt, dass der Strahl für eine solche Periode besonders empfindlich ist, mit der er periodisch bei dem Einschnürungspunkt in einzelne Tropfen zerfallen würde, falls er nicht gestört wurde. Durch Verbesserung alter Versuchsanordnungen wurde erreicht, dass der Flüssigkeitsstrahl Einschnürungen erfährt, die man als angenähert proportional der Intensität der auf das Rohr wirkenden Stösse ansehen kann, und zwar für Perioden, die innerhalb weiter Grenzen liegen, wie sie in der menschlichen Stimme vorkommen. Dies Ergebnis erhält man, wenn man dafür sorgt, dass die auf den Strahl wirkenden mechanischen Störungen sich in passende Druckänderungen im Innern des Zuleitungsrohres umsetzen, und zwar nahe der Ausflussmündung. Zu dem Zwecke ist das Zuleitungsrohr aus starrem Material gefertigt mit Ausnahme eines kurzen Stückes, wo die Wandung ziemlich dünn und elastisch ist. Dieses Stück steht in Verbindung mit einer schwingenden Membran, welche bei dieser Anordnung den momentanen Wert des auf die Ausflussmündung wirkenden Flüssigkeitsdrucks unter der Einwirkung der Sprache schwanken lässt. Beobachtet man den Strahl mit einem Stroboskop, so sieht man, dass er sich unter dem Einfluss seines Tones von bestimmter Periode in charakteristischer Weise, wie es die punktierte Linie der Figur andeutet, einschnürt. Lässt man also den Flüssigkeitsstrahl auf zwei sich gegenüberstehende Metallelektroden aufschlagen, so werden diese durch eine Flüssigkeitsmasse miteinander verbunden, die sich von Augenblick zu Augenblick, nach Massgabe der durch die Membran übertragenen Schwingungen, verändert. Ist der Flüssigkeitsstrahl leitend (angesäuertes Wasser, Salzlösung, Quecksilber und dergleichen), so ist natürlich auch der elektrische Widerstand zwischen den Metallelektroden veränderlich. Die ganze Anordnung kann also als Mikrophon dienen. Ein solches Mikrophon kann grosse Stromstärken aushalten, weil sich die Flüssigkeitsteilchen, durch die der Strom fliesst, fortwährend erneuern und sich infolgedessen nicht merklich erwärmen. Ferner kann auch die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden sehr hoch sein, weil man die Leitfähigkeit des Flüssigkeitsstrahles und den Abstand zwischen den Elektroden beliebig verändern kann, d. h. das Mikrophon kann grosse Energiemengen vertragen. Wegen dieser Eigenschaft eignet es sich daher besonders zur Anwendung für die drahtlose Telephonie; man kann es direkt in den Antennenkreis einschalten, ohne ein Verbrennen, wie beim Kohlekörnermikrophon, befürchten zu müssen. Die bisher erzielten Reichweiten scheinen sich aber auch nur zwischen 400—500 km zu bewegen. Für allgemeine Anwendung, besonders für bewegliche Stationen, dürfte das Majorana'sche hydraulische Mikrophon auch zu delikat sein. In der Mikrophonfrage steckt also noch ein grosses Problem der Radiotelephonie.

Die besten Erfolge mit der Radiotelephonie scheint noch Poulsen erzielt zu haben, der im letzten Herbst in Kalifornien bei Benutzung von zirka 94 m hohen Masten eine Reichweite von 550 km erreichte. Beim Telephonieren über ganz kurze Entfernungen kann ein gewöhnliches Telephon mit Trichter in Verbindung mit einer Thermozelle am Empfangsapparat die Wortübertragung schon objektiv hörbar machen. Bei grösseren Entfernungen von 20—30 km an kann die objektive Wirkung durch Benutzung des neuen Brownrelais mit Vorteil erzielt werden.

Ich möchte noch bemerken, dass gelegentlich geschehene Aeusserungen, dass der Poulsen-Generator schwer zu bedienen und unkonstant sei, unberechtigt sind. Folgender hübscher Versuch kann dies demonstrieren: Zwei Generatoren mit je einem Schwingungskreis werden in einem grösseren Raum aufgestellt und auf *ungefähr* dieselbe Schwingungszahl abgestimmt. In einem Empfängerkreis mit Thermozelle kann man dann einen hohen Ton hören, dessen Frequenz der Frequenz der Schwebungen entspricht und diese Tonfrequenz bleibt fast ganz konstant. Die grösste Konstanz hat der Poulsen-Generator, wenn er eine Arbeit ausführt; ganz dasselbe gilt ja auch von anderen elektrischen Maschinen bezüglich der Konstanz der Tourenzahl. Was den Nutzeffekt des Poulsen-Generator angeht, so beträgt er für die gewöhnlich benutzten Wellenlängen 35—50% je nach der Wellenlänge, indem er mit dieser wächst.

Trotz der hochentwickelten Technik der Radiotelegraphie bilden die bisher besprochenen Erreger der Hochfrequenzschwingungen, nämlich der Funke und der Lichtbogen, Faktoren, die der steten Aufmerksamkeit bedürfen; auch kann man praktisch die mit ihnen erzeugte Energie nicht beliebig steigern. Von Anfang an war man sich desshalb darüber klar, dass die direkt maschinelle Erzeugung der schnellen Schwingungen unvergleichliche Vorteile haben würde. Wie einfach würde es zudem sein, wenn man nur den einen Pol einer Hochfrequenz-Wechselstrommaschine mit der strahlenden Antenne und den anderen Pol mit der Erde zu verbinden hätte. Es frug sich also, ob wir bei unseren gewöhnlichen Wechselströmen, die ja nichts anderes sind als elektrische Schwingungen niedriger Periode[1]), die Periodenzahl so weit steigern könnten, dass wir zu den in der Radiotelegraphie benötigten Frequenzen oder Schwingungszahlen von 50000 bis 3 Millionen pro Sekunde mit entsprechenden Wellenlängen von 6000 *m* bis 100 *m* gelangen würden, und zwar bei ausreichender Leistung. Im Anfang arbeitete man in der Radiotelegraphie mit 100 bis höchstens 300 *m* Wellenlänge; da lag also das Problem besonders schwierig. In den modernsten Grosstationen mit ihren riesigen Antennenanlagen bedient man sich schon Wellenlängen von 10000 *m*, also einer relativ niedrigen Frequenz von 30000 Perioden in der Sekunde. Für normale Stationen sind jedenfalls 100000 Perioden und mehr als Frequenz erforderlich. Zur Steigerung der Periodenzahl verfuhr man nach dem nächstliegenden Gesichtspunkte, die Umdrehungszahl[2]) der Maschine und ihre Polzahl so viel wie möglich zu steigern. Nach diesem Prinzip haben schon vor 20 Jahren *Elihu Thomsen* und *Nicola Tesla* Dynamos gebaut, die einen Wechselstrom von 10 Ampere bei einer Wechselzahl von 10000—15000 und einer Leistung von etwa 1 KW lieferten. Es folgten dann Hochfrequenzmaschinen von *Duddell, S. G. Brown, Fessenden* u. a., deren Frequenzen zum Teil schon in das Frequenzgebiet der modernen Radiogrosstationen fallen, die aber gänzlich unzulängliche Leistungen aufwiesen.

So führte *Duddell* im April 1905 der Physical Society in London eine Wechselstromdynamo vor, die eine Frequenz von 120000 zu geben vermochte, doch betrug ihre Nutzleistung nicht mehr als 0·2 Watt.

Fessenden[3]) soll es gelungen sein, eine Hochfrequenzmaschine von einer Frequenz von 80000/Sek. (Wellenlänge 3759 *m*) mit 1 KW Leistung herzustellen, die direkt die Schwingungen eines Kondensatorkreises ohne Funkenstrecke erregte; dieser induzierte auf die Antenne, in deren Erdleitung ein Mikrophon eingeschaltet war, so dass also drahtlos telephoniert werden konnte, was bis auf 25 englische Meilen möglich gewesen sein soll.

Alle diese Maschinen[4]) waren also von der Induktortype, bestehend aus festen Wicklungen, die beeinflusst werden von einem rapid rotierenden Anker, der eine grosse Anzahl

---

[1]) Unsere städtischen Wechselstromdynamos arbeiten in der Regel mit 50 Perioden in der Sekunde.

[2]) An sich besteht hier bei Benutzung moderner Dampfturbinen mit ihren hohen Umdrehungszahlen als Antriebsmaschinen eines Wechselstrominduktors keine prinzipielle Schwierigkeit.

[3]) Vgl. *J. Zenneck,* Leitfaden etc. Seite 200.

[4]) *Corbino* und *Rüdenberg* glaubten vor einigen Jahren einen Weg gefunden zu haben, indem sie eine Anordnung vorschlugen, bei der in den Stromkreis einer Hauptstromdynamomaschine ein Kondensator geschaltet wird. Sei W der Widerstand des gesamten äusseren und inneren Stromkreises, K eine von den Wicklungsverhältnissen, den Kraftlinienwegen und der Umdrehungszahl der

von Magnetpolen trägt. Das Prinzip der Polunterteilung muss aber selbst bei den durch moderne Dampfturbinen erreichbaren hohen Umdrehungszahlen schliesslich versagen, da die Pole, die auf einem im Durchmesser begrenzten Zylinder angeordnet sind, schliesslich so winzig klein werden, dass sie keine Kraft mehr besitzen, wodurch auch die Maschine ihre Leistungsfähigkeit, insbesondere bei den höheren Wechselzahlen, einbüsst.

Im Jahre 1894 machte *Patten* den Vorschlag, auf derselben Achse mehrere gleichgebaute Wechselstromgeneratoren anzubringen; die erste Maschine wird mit Gleichstrom erregt; der in ihr erzeugte Wechselstrom erregt die zweite Maschine und soll dort Ströme doppelter Frequenz im rotierenden Teil hervorbringen; dieser erregt die dritte Maschine usw. *Patten's* Annahme, dass die Frequenzen sich je verdoppeln, also die Reihe 1, 2, 4, 8 etc. durchliefen, war unrichtig; sie steigen nur additiv nach der Reihe 1, 2, 3, 4 etc. Wesentlich derselbe Vorschlag wurde im Jahre 1908 von *L. Cohen* gemacht; er fügte aber Kondensatoren in die Wechselstromkreise, brachte sie dadurch auf Resonanz und gewann so steigende Frequenzen.

Erst neuerdings ist *Rudolf Goldschmidt* eine Lösung des Problems gelungen. Der *Goldschmidt*sche Hochfrequenz-Generator benutzt gleichfalls Wechselfelder, in denen Spulen, die von Wechselstrom durchflossen werden, rotieren; er bewirkt aber die Frequenzsteigerung in einem einzigen rotierenden Teil, indem die erzielten Ströme höherer Frequenz wieder dem feststehenden Wechselfeld zugeführt werden und so fort, so dass die Perioden sich gegenseitig steigern. Dabei gibt es eine Gruppe von feststehenden Spulen (Stator), zwischen denen eine zweite Spulengruppe (Rotor) rotiert. Wird durch den Stator Gleichstrom geschickt, so entstehen im Rotor Ströme von der Frequenz f, die der Rotation entspricht. Die Ströme fliessen über einen Kondensator in die Statorwicklung hinein und lassen hier ein Drehfeld entstehen, das selbst mit der Geschwindigkeit ω umläuft und zwar muss die Zusammenschaltung von Rotor und Stator derart sein, dass das Drehfeld rückwärts rotiert und somit relativ zum Rotor die Winkelgeschwindigkeit $2\,\omega$ erlangt. Im Rotor entstehen hierdurch Ströme von der Frequenz $2\,f$, die wieder in den Stator fliessen und solche von $3\,f$ erzeugen (immer in denselben Wickelungen, in denen also Ströme verschiedener Frequenzen sich überlagern) usw. Das waren dem Ingenieur, der mit Einphasen-Wechselstromgeneratoren zu tun hatte, schon bekannte Tatsachen. Im gewöhnlichen Wechselstromgenerator ist aber die Erzeugung der höheren Frequenzströme begrenzt durch den Umstand, dass die Amplituden der Reihen der harmonischen Schwingungen rapide abfallen infolge der Impedanz. Um die Abdämpfung der höheren Harmonischen zu verhindern, benutzt *Goldschmidt* Schwingungskreise (aus Kapazität und Selbstinduktion) als Nebenschlüsse, die nach dem Prinzip der Resonanz wirken. Das eigentliche Prinzip der *Goldschmidt*schen Hochfrequenzmaschine besteht also darin, dass an die einphasige Wickelung eines Stators eine Reihe von Schwingungskreisen angeschlossen sind, welche durch passende Wahl der Selbstinduktionen und Kapazitäten auf die Schwingungszahlen $2n$, $4n$, $6n$ . . . abgestimmt sind, wobei n die Grundperiodenzahl der im Rotor induzierten Ströme bedeutet; ausserdem ist die Statorwickelung von einem Gleichstrom durchflossen. An die einphasige Wickelung des Rotors ist ebenso eine Reihe von Kreisen angeschlossen, welche auf die Schwingungszahlen n, $3n$, $5n$ . . . . abgestimmt sind.[1]) Durch Resonanz tritt aus dem erzeugten Schwingungsgemisch der Wechselstrom gewünschter Frequenz stark hervor, während alle anderen Wechselströme möglichst schwach gemacht werden. Die elektrische Energie wird vielmals zwischen

---

Maschinen abhängige Konstante, so zeigt die Theorie für den Fall W = K, der durch Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Dynamo zu erreichen ist, eine dauernde Eigenschwingung konstanter Amplituden des Schwingungskreises, bestehend aus der Kapaziät des Kondensators und der gesamten Selbstinduktion des Systems. Die Frequenz wäre also abhängig von der Wahl dieser Konstanten; es ist jedoch nicht gelungen, sich der Hochfrequenz zu nähern.

---

[1]) Dämpfungen und die gegenseitigen Induktionen der einzelnen abgestimmten Kreise sind so klein, dass man in jedem die Ströme anderer Frequenz, als solche, auf welche der Kreis abgestimmt ist, vernachlässigen kann.

Stator und Rotor der Maschine hin und her reflektiert, wobei bei jeder Reflexion[1]) die Frequenz der Schwingungen erhöht wird, bis eine Frequenz entsprechend der Frequenz des strahlenden Antennensystems erreicht ist.[2]) Die erste Maschine dieser Art befindet sich auf der radiotelegraphischen Grosstation *Eberswalde* der *C. Lorenz* Aktiengesellschaft und ist seit April 1910 im Betrieb. Die Hochfrequenzmaschine liefert bei 10000 m Wellenlänge 12,5 KW, bei 5000 m Wellenlänge 8—10 KW. Es soll aber keinerlei Schwierigkeiten bereiten, Maschinen für 60—80 KW und mehr herzustellen, wie eine solche für geplanten transatlantischen Verkehr projektiert ist. Mit der Wellenlänge soll man schon heute bis 3000 m heruntergehen können. Der Wirkungsgrad der Maschine bei 10000 m Welle ist etwa 80%. Ein besonderer Vorzug der Maschine ist der, dass man ihr durch einfache Umschaltung eine grosse Anzahl von Frequenzen entnehmen kann. Die feinere Abstufung der Wellenlängen erfolgt nach einem besonderen Verfahren.

Die *Goldschmidt*sche Hochfrequenzmaschine leitet ohne Zweifel wieder eine neue Epoche der Radiotelegraphie ein und eignet sich wegen der erzeugten absolut kontinuierlichen Schwingungen natürlich auch für die Radiotelephonie. Eine ihrer Klippen wird sein, dass jedes noch so geringe Schwanken in der Tourenzahl des Generators vermieden werden muss, da sonst jede der aufeinanderfolgenden harmonischen Schwingungen in der Frequenz verändert wird, so dass die schliessliche Hochfrequenz nicht mehr den verlangten Wert hat. Gerade bei der grossen Abstimmschärfe würde eine Aenderung der Rotationsgeschwindigkeit der Maschine um 1% schon den ganzen Effekt illusorisch machen. Auch die Amplituden der Harmonischen werden dann erheblich reduziert werden, da alle Resonanznebenschlüsse verstimmt würden gegen die Harmonischen, auf die sie abgeglichen sind, woraus schliesslich eine beträchtliche Schwächung der Strahlungsenergie resultiert. Nach den Versicherungen der ausführenden Firma ist aber diese Bedingung der absolut konstanten Tourenzahl realisiert. Hinsichtlich des Wirkungsgrades kann die Hochfrequenzmaschine vorläufig nur bei den ganz grossen Wellenlängen mit dem System der „tönenden Löschfunken" rivalisieren, wie überhaupt ihre eigentliche Domäne die Land-Grosstationen sein werden.

Wir haben uns bisher darauf beschränkt, von der Reichweite der Radiotelegraphie zu sprechen, ohne über die Richtung der Strahlung etwas auszusagen. Die Strahlungsquellen des Lichtes liefern Schwingungen, deren Energie nach allen Seiten gleichmässig ausstrahlt; wir haben eine Kugelwelle, die sich nach allen Richtungen mit derselben Intensität ausbreitet. Auch durch die elektrischen Schwingungen der Antenne haben wir in grossen Entfernungen eine Kugelwelle, die in radialer Richtung fortschreitet, aber ihre Intensität ist nach verschiedenen Richtungen sehr verschieden. In der nutzbaren äquatorialen Richtung hat hier die Strahlung[3]) ein Maximum bezw. es wird mehr Energie in der wagrechten Ebene als in senkrechter oder schräger Richtung ausgestrahlt. Dieser Effekt wird noch erhöht durch die ebenfalls senkrechte Empfangsantenne, die die senkrechte Schwingung, die sie empfängt, ganz ausnutzt. Je länger übrigens die Empfangsantenne ist, um so grösser ist die Fläche, von der die Strahlungen aufgefangen werden; wie *Poincaré* treffend bemerkt, ist der Sachverhalt gerade so, als wenn man ein entferntes Licht durch ein Fernrohr betrachtet, dessen Objektivöffnung sehr gross ist. Die Natur der Wellenausbreitung verhindert es natürlich jemals das Ziel zu erreichen, das die Drahttelegraphie erreicht hat, nämlich sozusagen mathematische Punkte miteinander zu verbinden. Immerhin erstrebte man aber doch von Anfang an die Ausbildung einer „gerichteten Radiotelegraphie"; dieselbe sollte beim Sender die ausgesandten Wellen auf einen möglichst kleinen Winkelraum beschränken; bis jetzt hat sie aber tatsächlich nur erreicht, dass die Amplituden der Wellen in den verschiedenen Richtungen sehr verschiedene Werte haben. Ich habe an anderer Stelle folgendes Bild der heutigen Methoden einer gerichteten Radiotelegraphie gegeben.

---

[1]) *Goldschmidt* bezeichnet deshalb seine Maschine auch als „Reflexionsgenerator".

[2]) Wegen weiterer Einzelheiten verweise ich auf die Originalmitteilung von *Goldschmidt* im Jahrbuch **4**, Seite 341. 1911.

[3]) Die Energieübertragung geschieht nach dem *Poynting*schen Satz in der Richtung senkrecht zu dem elektrischen und dem magnetischen Felde, die beide auch überall senkrecht zu einander orientiert sind.

Die Verwendung von Spiegeln nach dem Vorbild der *Hertz*schen Spiegelversuche ist bei der grossen Wellenlänge der praktischen Radiotelegraphie ausgeschlossen, da die Spiegeldimensionen gross gegen die Wellenlänge sein müssen. Einen gewissen Erfolg hatten die Abschirmversuche von *Zenneck*, die zeigten, dass es möglich ist, durch einen zum Sender parallelen und auf die Senderschwingung abgestimmten, geerdeten Draht die Reichweite nach einer bestimmten Richtung stark zu schwächen ohne merklichen Einfluss auf die Reichweite in der entgegengesetzten Richtung, in der man telegraphieren will.

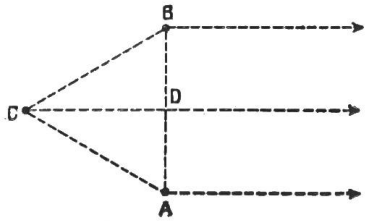


Abbildung 27. Gerichtete Radiotelegraphie nach Braun.

Bemerkenswert ist ferner die Doppelantenne im Abstand einer halben Wellenlänge von *A. Blondel*; die Ströme in demselben sind um 180° in der Phase gegeneinander verschoben. Für Punkte in der Ebene der Antennen verstärken sich die gleichphasigen Felder; man bekommt also in dieser Richtung eine maximale Wirkung, während für Punkte senkrecht zu dieser Ebene sich die Felder aufheben.

Sehr wichtig waren dann die Versuche von *Braun* mittelst mehrerer Antennen mit phasenverschobenen Schwingungen, nachdem die Hauptschwierigkeit, die verschiedenen Sender mit Schwingungen von vorgeschriebener Phasendifferenz zu erregen, von *Mandelstam* und *Papalexi* gelöst war.

Brauns einfaches Prinzip veranschaulicht Abbildung 27. Von den drei in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks angeordneten Antennen *A, B* und *C* seien *A* und *B* gleichphasig, aber gegen *C* um eine Viertelschwingungsdauer verspätet erregt; die Höhe *C D* des Dreiecks sei gleich einer Viertelwellenlänge. Dann wird die Richtung *C D* für die Strahlung bevorzugt sein. Die von *C* ausgehende Welle wird *A B* in dem Momente erreichen, in dem *A* und *B* zu schwingen anfangen. Abbildung 28 zeigt die Feldcharakteristik in der sogenannten Wellenzone; Kurve *b* stellt das gemessene Feld dar, die Radienvektoren die Reichweite. Die Charakteristik [1]) zeigt also maximale Strahlung in der Richtung *A B* und überhaupt keine Strahlung in der entgegengesetzten Richtung. In dieser letzteren verschwand bei der praktischen Kontrolle die Wirkung nicht ganz. Indem man die Rollen der drei Sender — durch Umlegen eines Kommutators — vertauscht, lassen sich Drehungen der bevorzugten Richtung von je 120°, auch solche von je 60° erzielen. Eine noch günstigere Charakteristik (Kurve *c*) erhält man nach der Theorie mit vier geeignet angeordneten Antennen.

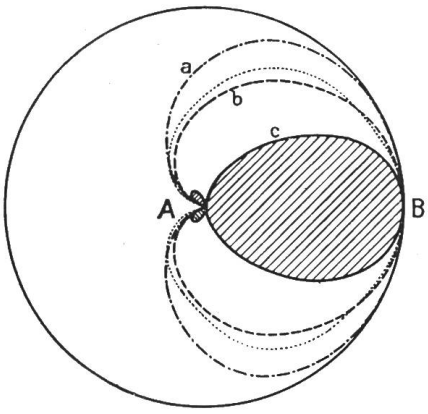


Abbildung 28. Feldcharakteristik für Brauns gerichteten Sender.

Die praktisch grössten Erfolge hat *Marconi* [2]) mit seinen geknickten Antennen erreicht. Die mit zirka 50 000 Perioden arbeitenden *Marconi*schen Grosstationen für transatlantischen Verkehr enthalten (s. Schema der Abbildung 29) als Antenne eine grosse Anzahl von Drähten, welche vom Stationshaus fächerförmig zirka 50 m oder mehr in die Höhe geführt sind, dort umbiegen und dann, einander parallel, als ein breites Band mehrere hun-

[1]) Man denkt sich in einer bestimmten Entfernung vom Sender, aber in verschiedenen Richtungen die Amplitude der Wellen gemessen und trägt diese Amplituden vom Sender aus in denjenigen Richtungen, in denen sie gemessen wurden, als Vektoren auf. Die Endpunkte dieser Vektoren verbindet man durch eine Kurve, die die sogenannte „Charakteristik der Fernwirkung" darstellt. Eine berechnete Charakteristik hat nur dann praktischen Wert, wenn sie für Entfernungen gilt, die, wie in der Praxis, gross sind gegen die Wellenlänge. Diese Charakteristik erhält man auch, indem man die Reichweiten des Senders (für einen bestimmten Empfänger) in den verschiedenen Richtungen als Vektoren aufträgt.

[2]) Ich bin selbst, wie in meinen Schriften publiziert, mehrere Jahre vor *Marconi* auf den meiner Leitung unterstellt gewesenen *Braun Siemens*schen Ostseeversuchsstationen durch besondere Umstände zur Verwendung geknickter Antennen geführt worden und habe ihre direktionselektive Wirkung erfahren, ohne dass ich jedoch damals die Bedeutung der Sache recht erkannte.

dert Meter horizontal verlaufen. In einer der Richtung des horizontalen Teiles entgegengesetzten Richtung ist die Fernwirkung am stärksten. Die von *Marconi* und *Fleming* gegebene Charakteristik war nicht für die Wirkung des Senders auf grosse Entfernung beweiskräftig. Der Umstand, dass aber tatsächlich dieser Sender als gerichteter Sender auch auf grosse Entfernung wirkt, kann, wie *Zenneck* zuerst zeigte, nur dadurch erklärt werden, dass das geringe Leitvermögen der Erde eine wesentliche Rolle spielt. [1])

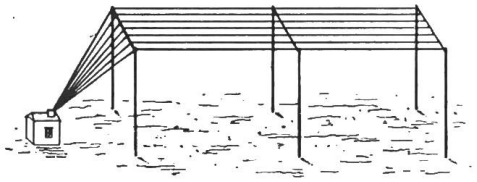


Abbildung 29. Gerichtete Radiotelegraphie nach Marconi.

Was schliesslich die ebenfalls praktisch erfolgreichen gerichteten Sender von *Bellini* und *Tosi* [2]) angeht, so ist das Wesentliche an ihnen die Verwendung von zwei schiefen Luftleitern [3]), die entweder als Teile eines offenen Senders oder eines geschlossenen Kondensatorkreises ausgebildet sind. Solche Sender geben, wie es die Versuche zwischen den Stationen Dieppe, Havre und Barfleur bestätigt haben, eine maximale Wirkung in der Ebene der beiden Luftleiter, eine minimale in der Richtung senkrecht dazu.

Von besonderem Interesse sind die sogenannten Radiogoniometer, d. h. die Koppelungsvorrichtungen für Sender und Empfänger. Beide Konstruktionen, die für Sender und Emfänger nur hinsichtlich der aufgewickelten Drahtlänge und Drahtstärke voneinander abweichen, bestehen aus zwei um 90° gegeneinander versetzten festen Spulen, deren Enden mit je einer der gekreuzten Dreiecksantennen (vgl. Abbildung 30) des Systems verbunden werden. Im Innern dieser Spulen befindet sich, mittelst eines Handgriffes drehbar angeordnet, eine kleine Spule, die beim Sender mit dem Erregerkreise, beim Empfänger mit dem Empfangsresonanzkreise verbunden ist und dazu dient, die elektrischen Schwingungen auf das Spulensystem zu übertragen oder von diesem zu entnehmen. In Uebereinstimmung mit der Theorie hat sich ergeben, dass die Richtung des resultierenden Feldes stets mit der Wicklungsebene der beweglichen kleinen Spule zusammenfällt; dass das Feld sich zwangläufig mit ihr dreht (sein Wert bleibt stets konstant); dass für jede Stellung der beweglichen Spule die Feldintensität im Raume nach dem Sinusgesetz verteilt ist.

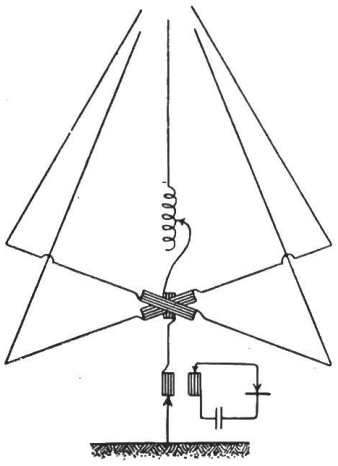


Abbildung 30: Luftleiter des Bellini-Tosi-Systems für gerichtete Radiotelegraphie.

Das beschriebene System kann als ein *bilaterales* bezeichnet werden, da man zwei Telegraphierrichtungen hat, die um 180° voneinander verschieden sind, für beide hat man die gleiche Stellung der Spule des Radiogoniometers im Empfänger. Es wäre natürlich wünschenswert, nur die eine Richtung zu haben, d. h. ein *unilaterales* System auszubilden. Das Problem wurde wie folgt gelöst:

Ein Luftgebilde (für gerichtete Telegraphie), bestehend aus einem Paar vertikaler Antennen oder aus einem Rahmen, strahlt nach vorwärts und rückwärts, aber die Phase ist entgegengesetzt. Die Phasendifferenz besteht, weil die Ströme und

---

[1]) Vgl. *Zenneck,* Leitfaden etc. S. 319 ff., ferner speziell auch Jahrbuch. **4.** 159. 1911, einen Bericht von *Sommerfeld* über eine Arbeit seines Schülers *H. v. Hörschelmann,* die eine Bestätigung und Erweiterung der *Zenneck*schen These darstellt. Ueber die Studie von *Hörschelmann* s. Jahrbuch Heft 1 und 2 Band V 1911.

[2]) Vgl. Jahrbuch. **1.** 598. 1908; **2.** 381. 511. 608. 1909.

[3]) Die *Bellini-Tosi*sche Dreiecksantenne ist nur eine besondere Form der gerichteten Antenne. Die ideale Form besteht aus zwei vertikalen Antennen, schwingend in einer Viertelwellenlänge und voneinander abstehend und eine halbe Wellenlänge; am unteren Ende sind sie durch einen horizontalen Leiter verbunden, durch den sie erregt werden können. Werden die beiden Antennen näher zusammengebracht oder geneigt, so vermindern sich Strahlung und Reichweite, zuerst langsam, dann sehr schnell. Das ganze Luftgebilde schwingt nicht in der Grundschwingung, sondern in der dritten Harmonischen.

Potentiale gleich und von entgegengesetztem Vorzeichen in den beiden Hälften des Luftgebildes sind. Eine vertikale Antenne strahlt zirkulär, weshalb das polare Diagramm (Charakteristik) der durch die Antenne erzeugten Feldintensität durch einen Kreis dargestellt ist. Wenn man das Luftgebilde einer Sendestation bildet aus einem Paar vertikaler Antennen oder einem Rahmen und aus einer vertikalen Antenne, so setzt sich bei gleichzeitiger Erregung aller die zirkuläre Strahlung der letzteren mit der Strahlung der ersteren zusammen. Sind dieselben gleich, so ist die zirkuläre Strahlung in Phase mit der anderen Strahlung nach der einen Richtung in entgegengesetzter Phase nach der entgegengesetzten Richtung. Die resultierende Strahlung wird daher nach der einen Seite verstärkt; nach der entgegengesetzten ist sie Null. [1]) Dies gilt natürlich auch, wenn man das richtende Luftgebilde sich drehen lässt, während die vertikale Antenne ihre Lage stets unverändert beibehält. Anstatt diese Drehung wirklich auszuführen, kann man natürlich wieder zwei vertikale Luftleiter mit der kleinen beweglichen Spule des Radiogoniometers verbinden und letztere drehen. Um die einzelne vertikale Antenne zu erregen, besitzt das Radiogoniometer noch eine dritte Wicklung, die sich mit der primären Wicklung bewegt und stets gleich von dieser erregt wird, welches auch ihre Lage ist. Die Enden dieser dritten Wicklung sind einerseits mit der Erde, andrerseits durch Vermittlung einer Selbstinduktion mit der vertikalen Antenne verbunden.

Für den Empfänger gilt das Analoge. Die Diagramme der Feldintensität und der Energie sind vollständig analog denjenigen des Senders; es war zu berücksichtigen, dass die Wirkungen der vertikalen Antenne gegen diejenigen des richtenden Luftgebildes um eine Viertelperiode differieren.

Dieses *unilaterale* System gestattet also das Aussenden oder besser die Konzentration der Wellen, ausschliesslich in der Richtung der Empfangsstation, und man ändert diese Richtung durch veränderte Orientierung der beweglichen Spule des Sender-Radiogoniometers, und hinsichtlich des Empfanges kann man von zwei Sendestationen, die um 180° voneinander abstehen und gleichzeitig geben, ausschliesslich die Zeichen nur von einer Seite aufnehmen.

In erster Annäherung kann man sagen, dass die *Reichweite* mit der Intensität des erzeugten elektromagnetischen Feldes oder mit der Quadratwurzel aus der ausgestrahlten Energie wächst. Es ergibt sich hieraus, dass auch die Reichweite der betrachteten gerichteten Sender derjenigen einer vertikalen Antenne überlegen ist. Z. B. wird der früher betrachtete gerichtete Sender, bestehend aus zwei vertikalen Antennen, die in entgegengesetzter Phase schwingen und die um eine halbe Wellenlänge voneinander abstehen, in einem gegebenen Punkte eine Energie ausstrahlen, die viermal grösser ist als diejenige von der entsprechenden vertikalen Antenne; die Reichweite wird also annähernd doppelt so gross sein. [2]) Auch im Empfänger kommt man zu dem Schluss, *dass die erzeugte elektromotorische Kraft bezw. die empfangene Energie in bezw. durch das betrachtete richtungsfähige Luftgebilde das doppelte bezw. das vierfache der Werte bei der entsprechenden vertikalen Antenne betragen kann.*

Angenommen zwei Stationen mit je einer vertikalen Antenne könnten unter sich bis auf eine Entfernung D verkehren. Wenn man jetzt die Antennen im Luftgebilde für gerichtete Telegraphie umändert, jedes bestehend aus zwei vertikalen Antennen, gleich der bisherigen Antenne, so wird in erster Annäherung die Reichweite auf 4 D wachsen.

Die Reichweite eines Paares richtungsfähiger Luftgebilde, jedes bestehend aus zwei vertikalen Antennen, ist also erheblich überlegen derjenigen eines entsprechenden Paares vertikaler Antennen; sie ist approximativ viermal so gross.

Allgemein gelten für den gerichteten Empfänger ähnliche Betrachtungen wie für den gerichteten Sender. Zu erwähnen sind die Doppelantennen im Abstand einer halben Wellenlänge mit *F. Braun* und *v. Sigsfeld;* die schiefen Antennen von *Braun* und von *Bellini* und *Tosi*, die Schleifenantennen von *de Forest,* die horizontalen bezw. geknickten Antennen von *de Forest* und von *Marconi.*

---

[1]) Wegen Theorie und Diagramme vgl. auch Soc. Int. d. Él. Extrait. S. 19 bis 21. 1909.

[2]) Vgl. experimentelle Bestätigung bei *F. Kiebitz.* Verh. d. Phys. Gesellsch. **10.** Nr. 23. 1908.

Zusammenfassend wäre also zu sagen, dass in dem grösseren Wirkungsgrad, der erhöhten Reichweite, Richtungsfähigkeit, selektiver Empfangsfähigkeit und Richtungsbestimmungsfähigkeit die Vorzüge der Anordnungen für gerichtete Radiotelegraphie liegen.

Was den Ausbreitungsvorgang an sich angeht, so sind die Meinungen darüber noch nicht geklärt. Die Erfahrung hatte gelehrt, dass die Länge der Antennen der Quadratwurzel aus der zu überbrückenden Entfernung proportional sein soll. Den eigentlichen Grund suchte man in der verstärkten Beugungserscheinung infolge vergrösserter Wellenlänge. Vertreter dieser Beugungstheorie, von der man heute etwas abgekommen ist, war besonders *Poincaré* [1]). — *Sommerfeld* [2]) stellte die These auf, dass die begrenzte Leitfähigkeit der Erde einen ausreichenden theoretischen Grund liefere für die Grösse der praktisch erzielten Wirkungen, wenigstens für kleine Entfernungen; seine Formeln stellen eine Erweiterung der Theorie des Hertz'schen Dipols dar, derart, dass die von dem Sender ausgehende Erregung nicht aus zwei spiegelbildlich gleichen Hälften besteht, wie im Falle unendlich guter Leitfähigkeit, sondern unsymmetrisch gegen die Erdoberfläche wird mit Kraftlinien, die die Erde nicht senkrecht treffen. Wie schon vorher erwähnt, machte *Zenneck* zuerst auf die Wichtigkeit der besonderen Bodenbeschaffenheit für den Ausbreitungsvorgang aufmerksam.

Schliesslich hat *Nicholson* [3]) eine Theorie mathematisch ausgebaut, nach der die Schwingungen eines Senders in die obere Atmosphäre gelangen und dort auf Schichten treffen, die leitend geworden sind (infolge Jonisation). Dies verursacht eine Reflexion der Wellen, sodass der reflektierte Wellenzug die Erde wieder trifft mit einer Intensität, die viel grösser ist als diejenige, welche vorhanden wäre beim Fehlen einer solchen atmosphärischen Leitfähigkeit beziehungsweise Reflexion. In guter Uebereinstimmung mit dieser Theorie steht der allbekannte Unterschied in den Reichweiten bei Tag und bei Nacht.

Was die Strahlung an sich angeht, so wächst dieselbe in Uebereinstimmung mit der Theorie schnell mit zunehmender Schwingungszahl. Die moderne langwellige Schirmantenne hat ein geringeres Ausstrahlungsvermögen als die frühere kleine Antennenform [4]); da sie aber infolge ihrer grösseren Kapazität viel grössere Energiemengen aufnimmt, so kann man mit ihr viel stärkere Wellen in den Raum aussenden als mit anderen Antennen, und so den Nachteil der langsameren Strahlung kompensieren.

Ich schliesse hiermit meine Uebersicht ab. Auf die technischen Sonderheiten der sogenannten „Systeme", die in Wirklichkeit alle nach dem Braun-System arbeiten, bin ich nicht eingegangen, ebenso nicht auf besondere technische Konstruktionen, z. B. von Masten etc. Da die fahrbaren Stationen bei der Schweizerischen Militärbehörde die hauptsächlichste Rolle spielen, so sei in Abbildung 31 eine solche noch im Bilde vorgeführt. Sonst aber glaube ich, erübrigt es sich, über die allbekannten Anwendungen der Radiotelegraphie und Radiotelephonie Worte zu verlieren [5]). Für die Schiffahrt sind die neuen Verkehrsmittel schon längst unentbehrlich geworden. Nach den jüngsten Verfügungen können jetzt auf allen Telegraphenämtern Radiotelegramme aufgegeben werden. Mit Hilfe der deutschen, englischen und französischen Grosstationen *Nauen* und *Norddeich, Poldhu, Eiffelturm* in Verbindung mit den Seewarten, sind ausserdem ständige Sturmwarndienste und Zeitsignaldienste eingerichtet worden. Das internationale Bureau für Radiotelegraphie in Bern

---

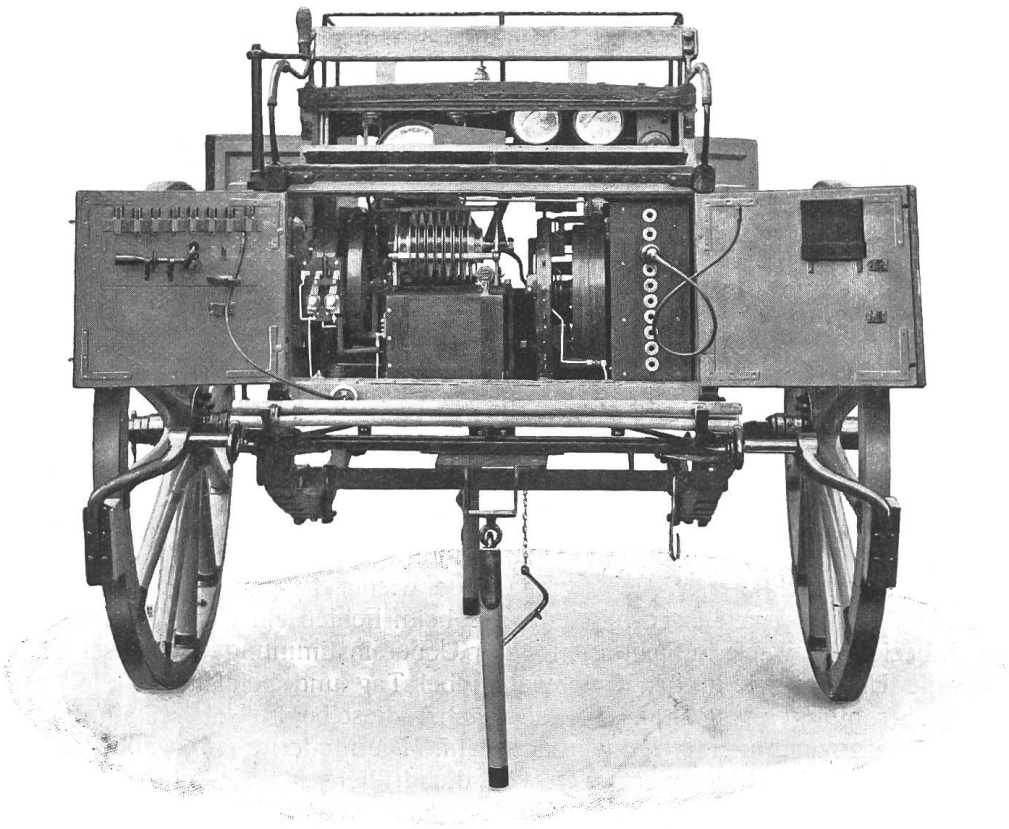
[1]) Jahrbuch **3**, 445, 1910.

[2]) Jahrbuch **4**, 157, 1911, ferner **4**, 176, 1911, Kraftliniendiagramme von *Epstein*.
Begnügt man sich mit der Annahme, dass die Erde für die Frequenzen der Radiotelegraphie als unendlich guter Leiter wirke, so kann man nach dem Vorgange von *M. Abraham* (Theorie der Elektrizität 2. § 34) die Wellenausbreitung einfach beschreiben auf Grund der Formeln des Hertzschen Dipols, indem man zu dem Felde in Luft das an der Erdoberfläche gespiegelte hinzudenkt und dadurch der Bedingung des vollkommenen Leiters genügt, nach der die Kraftlinien senkrecht auf der Erdoberfläche endigen müssen.

[3]) Jahrbuch **4**, 20, 1911. (Zusammenfassender Bericht).

[4]) Es trifft annähernd zu, dass die vierfache Länge einer geerdeten einfachen Antenne gleich der Wellenlänge ist.

[5]) Es sei auf einen zusammenfassenden Aufsatz in der „Frankfurter Zeitung", No. 294, „Das Verwendungsgebiet der drahtlosen Telegraphie" verwiesen.



Abblidung 31: Fahrbare Militärstation nach dem Telefunkensystem der tönenden Löschfunken.

gibt fortlaufend Berichte über alle Land- und Bordstationen heraus, und seit einiger Zeit besteht in Deutschland auch eine eigene Zeitung, „die Telefunken-Zeitung". Da die epochemachenden Fortschritte und die verkehrstechnische Förderung der letzten Zeit fast ausschliesslich deutscher Intelligenz und Arbeit zu verdanken sind, so ist es zu begrüssen, dass in Deutschland sich eine finanzkräftige „Deutsche Betriebsgesellschaft" (Debeg) gebildet hat, die den Misständen, welche die rücksichtslosen Monopolgelüste der Marconi Company zeitigte, ein Ende machte.

Wie schon angedeutet, kann von einer Verdrängung der Kabeltelegraphie [1]) durch die Radiotelegraphie niemals die Rede sein, wenn auch bald in einzelnen Fällen Installationen mit der *Goldschmidt*'schen Hochfrequenzmaschine an die Stelle von Kabelinstallationen treten dürften. Im allgemeinen sind beide Verkehrsmittel vielfach aufeinander angewiesen und werden Hand in Hand arbeiten.

---

[1]) Vergleiche ferner einen zusammenfassenden Aufsatz in der „Kölnischen Zeitung", No. 631, Seekabel und drahtlose Telegraphie."