


Funkentelegrafie und -telefonie mit ungedämpften Schwingungen

 RUDOLF GRABAU, Much
Tel.: (0 22 45) 34 71

Fortsetzung des Beitrages „Technik der Funkentelegrafie mit gedämpften Schwingungen“ aus FG 167, S. 136

Lichtbogensender

So einfach und stabil die Funkensender waren, so hatten sie doch den Nachteil, dass nur gedämpfte Schwingungen erzeugt werden konnten, und somit nur Telegraphiebetrieb mit Schreibempfang gemacht werden konnte (Bild 21). Sehr frühzeitig begann die Suche nach Anordnungen für ungedämpfte Wellen, die vor allem für die Telephonie, also zur Übertragung von Sprache erforderlich waren. Die erste Möglichkeit hierzu entdeckte DUDEL im Jahre 1900 in der fallenden Stromspannungskennlinie bei einem Kohlelichtbogen, in welchem bei Zusammenschaltung mit einem Schwingkreis permanente elektrische Schwingungen entstanden. Der erste brauchbare Sender nach diesem Prinzip wurde von dem Dänen VALDEMAR POULSEN gebaut: Hierbei brannte der Lichtbogen in einem Magnetfeld und einer Wasserstoffatmosphäre zwischen einer Kupfer- und einer Kohlelektrode, womit eine brauchbare Kühlung erreicht werden konnte (Bild 22). Poulsen

erreichte mit 200 W Sendeleistung bereits 1904 eine Sprechverbindung über 0,2 km, später mit etwa 1 kW bis zu 270 km. Nachdem Verhandlungen mit Telefunken gescheitert waren, erwarb die Firma C. Lorenz AG im Jahre 1906 eine Lizenz: Die von dieser Gesellschaft gebauten Lichtbogensender, zunächst mit Leistungen bei etwa 1 kW, wurden in den Jahren bis 1912 in Deutschland hauptsächlich bei Heer und Marine eingesetzt.

Die Trägheit der Lichtbogenzün-

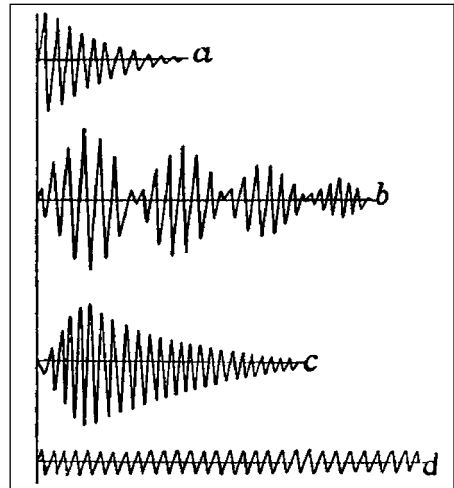


Bild 21: Vergleichende Darstellung von in der drahtlosen Telegraphie verwendeten Wellen.

a: Marconische Welle, **b:** Welle des Braunschenschen Schwingkreises, **c:** Welle der tönenden Löschkunden, **d:** ungedämpfter Wellenzug, aus [14].

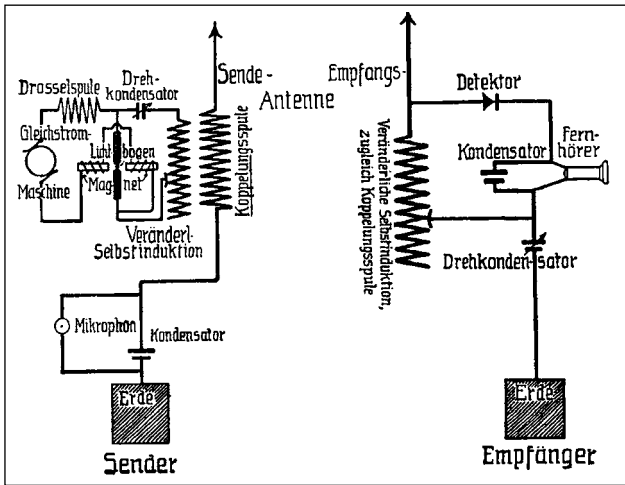


Bild 22: Schaltschema einer Poulsenstation für Telephonie mit Mikrofon und Fernhörer, aus [18].

dung schloss allerdings eine Tastung des Primärkreises aus, daher wendete man bei Telegraphiebetrieb zunächst Antennentastung an (Bild 23), später eine Frequenzumtastung, entweder durch Überbrückung eines Teils der Schwingkreisspule oder durch Parallelschaltung eines Kondensators. Oder man ersetzte die unmittelbare Antennentastung durch eine Tastdrossel in der Erdleitung. Bei allen ungedämpften Schwingungen traten zunächst auch Schwierigkeiten mit dem Telegraphieempfang auf. Während die Funkenfolge gedämpfter Schwingungen mit einem einfachen Detektor und Kopfhörer deutlich vernehmbar war, hörte man bei ungedämpften Wellen nur am Anfang und Ende

eines jeden Zeichens ein leises Knacken. (Übrigens wurde diese Eigenschaft des Poulsen-Senders im militärischen Bereich als ein Vorteil gewertet: Dessen Ausstrahlungen konnte der Gegner mit einem Empfänger für gedämpfte Schwingungen nicht mithören.) Jedenfalls fehlte also ein geeigneter Empfänger, wobei man anfangs mittels des empfangenen Signals eine hörbare Frequenz erzeugte: Man stattete den Detektorempfänger

entweder mit einer Summerschaltung aus (in Serie mit Detektor und Kopfhörer) oder mit einem „Ticker“, bei dem mittels einer Kontaktanordnung (anstelle des Kristalldetektors) durch Verstimmen des Empfangskreises ein pulsierender Strom erzeugt wurde, den man im Kopfhörer als rauen Ton wahrnehmen konnte.

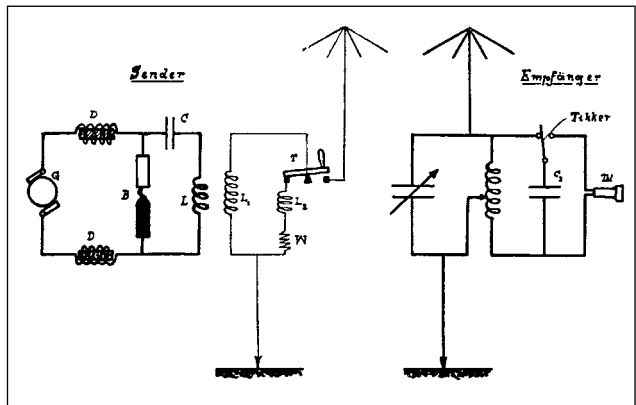


Bild 23: Schaltschema einer Poulsenstation für Telegraphie mit Antennentastung, aus [9].

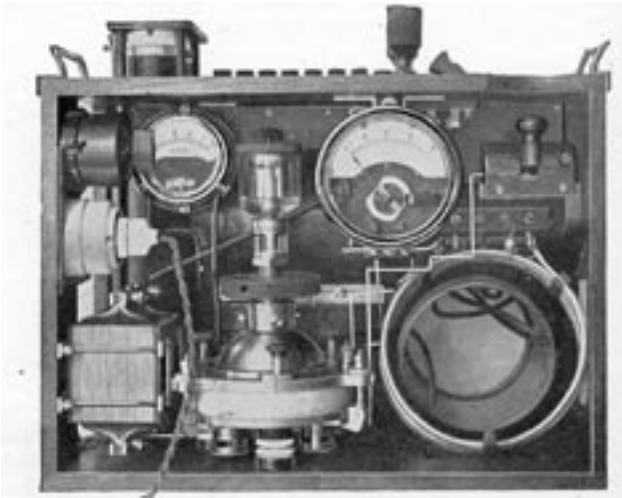


Bild 24: *Multiton-Poulsensender der Firma Lorenz: in der Mitte die „Poulsenlampe“, links der Kondensator, rechts oben die Morsetaste, unten die ineinander geschachtelten Spulen von Primär- und Sekundärkreis, aus [10].*

Um diesen wesentlichen Nachteil des Poulsensenders bei Telegraphieempfang gegenüber den konkurrierenden Tonfunkengeräten auch auf Senderseite auszugleichen, schaltete Lorenz 1910 in seinen Sendern Tonresonanzkreise parallel zur Entlastestrecke. Die mit Kondensatoren zehnfach in ihrer Tonfrequenz umschaltbaren Kreise modulierten die in der „Poulsenlampe“ erzeugte Hochfrequenz. Dieser „Vieltonsender“ erzeug-

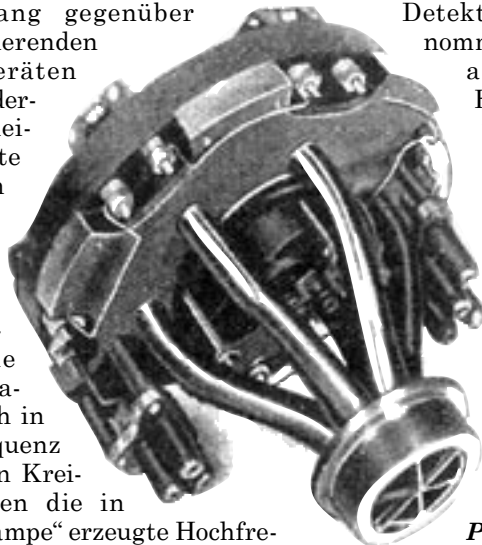


Bild 25: *Aus sechs parallel geschalteten Einzelmikrofonen zusammengesetztes Antennenmikrofon einer Poulsenstation höherer Leistung, aus [18].*

te im Detektorempfänger einen reinen Ton, dessen Tonhöhe zudem noch wählbar war (Bild 24). Allerdings war der Wirkungsgrad dieser Poulsenstationen geringer und die Sendeleistung wegen Gleichspannungsversorgung begrenzt.

Bei Telefonesendern verwendete man anfangs Kohlemikrophone, die unmittelbar in den Antennenkreis eingeschaltet wurden. Da es ja noch keine Verstärker gab, schaltete man bei stärkeren Antennenströmen mehrere Mikrophone parallel (Bild 25). Telefonesendungen mit ungedämpften Schwingungen konnten sehr einfach mit normalen Detektorempfängern aufgenommen werden, denn die amplitudenmodulierte Hochfrequenz wurde vom Detektor gleichgerichtet und dann die aufmodulierte Nachricht im Kopfhörer wiedergegeben.

Da die Lichtbogensender wesent-

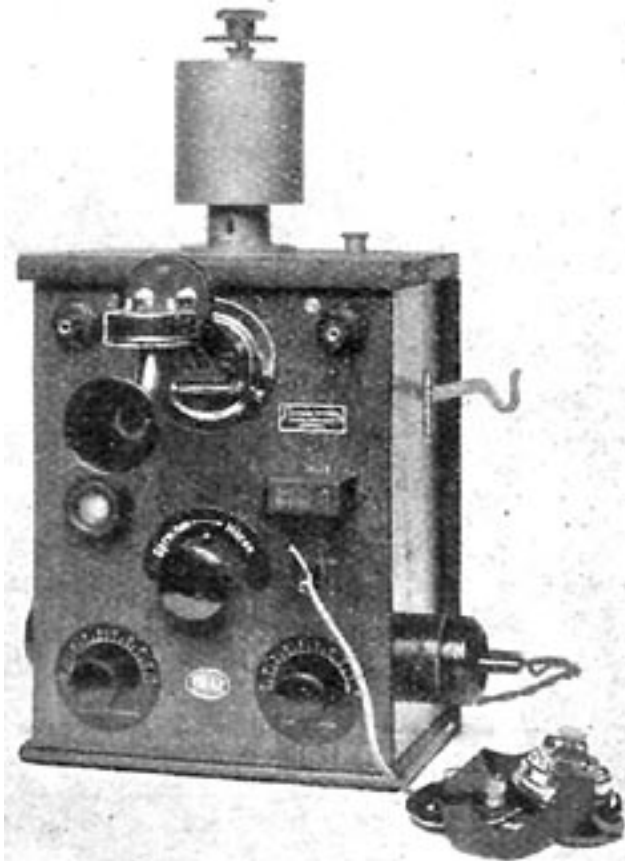


Bild 26: 30-W-Lichtbogen-Telephoniergerät nach Lorenz-Poulsen. Der Sendeempfänger in Form eines Wandfernsprechers arbeitete bei 800 m Wellenlänge. An der Vorderseite sind das Mikrophon, der Detektor, der Sende-/Empfangsumschalter sowie die Frequenzabstimmknöpfe von Sender und Empfänger erkennbar, rechts der Kopfhörer, aus [18] [22].

lich weniger Neben- und Oberwellen abstrahlten als die Sender mit gedämpften Schwingungen, erzielte man bei gleicher Sendeleistung größere Reichweiten. Auch bei Telefunken wurden zur Umgehung des Poulsen-Patentes eigene Lichtbogensender

mit bis zu 24 in Reihe geschalteten Kohle-Kupfer-Lichtbögen entwickelt, die aber nicht zur Anwendung kamen. Gegenüber dem Löschfunkensender war der Lichtbogensender anfänglich störanfälliger, weniger robust und schwieriger in der Einstellung. Gegen Ende des Ersten Weltkrieges wurden allerdings kleine Poulsensender gebaut, die hinsichtlich ihrer Größe durchaus mit den zeitgleich entwickelten ersten tragbaren Röhrensendern konkurrieren konnten (Bild 26).

Die Firma Lorenz baute später auch noch Lichtbogensender größerer Leistung, zum Beispiel für Königs Wusterhausen einen Sender mit 32 kW und einen mit 5 kW Leistung bei einer Wellenlänge von etwa 1000 m. Auch im Ausland wurden vereinzelt Lichtbogensender mit Leistungen bis über 100 kW in Betrieb genommen. Da aber zur Erzeugung ungedämpfter Wellen

bereits ab 1912 die Maschinensender aufkamen, ist der Lichtbogensender niemals zu so großer Verbreitung und auch nicht zu der technischen Reife gelangt wie vorher der Löschfunkensender und dann der Maschinensender.

Maschinensender

Mit fortschreitender Technik der rotierenden Wechselstromgeneratoren (niedriger Frequenz zur Netzstromversorgung) kam man auch auf die Idee, auf diese Weise höherfrequente Spannungen für Kommunikationszwecke zu erzeugen. Der Leitgedanke war: Wenn man Rotor und Stator sehr fein unterteilte, den Luftspalt dazwischen sehr klein und die Drehzahl extrem hoch wählte, müsste man auf diese Art auch kontinuierlich hochfrequente Leistung produzieren können (Bild 27). In den Jahren 1904 bis 1906 gelang es in den USA den Wissenschaftlern ERNST FREDERICK ALEXANDERSSON und REGINALD AUBREY, mit einer Wechselstrommaschine nach dem Induktorprinzip 1 kW Hochfrequenzleistung bei zirka 30 kHz zu erzeugen, womit auch Sprache übertragen werden konnte.

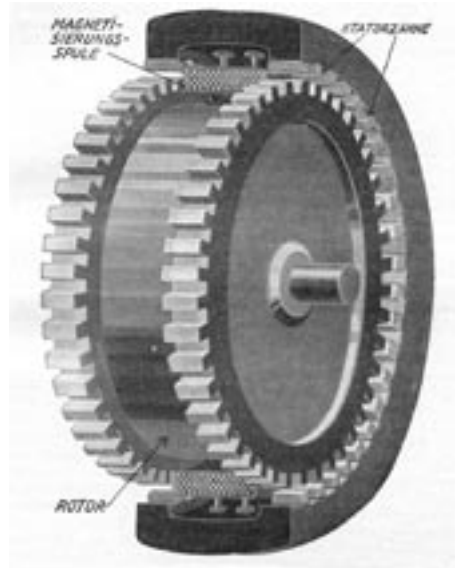


Bild 27: Schematische Darstellung der von DORNING und GRAF V. ARCO konstruierten Hochfrequenzmaschine, aus [18] [19].

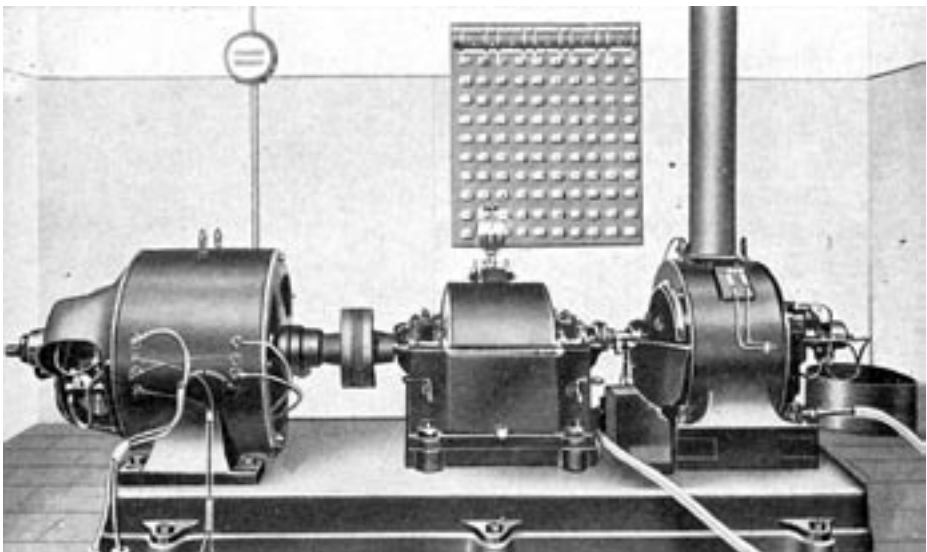


Bild 28: Goldschmidt-Maschinensender der Firma Lorenz. Antriebsmotor links, Getriebe in der Mitte, Hochfrequenzmaschine rechts, aus [10].

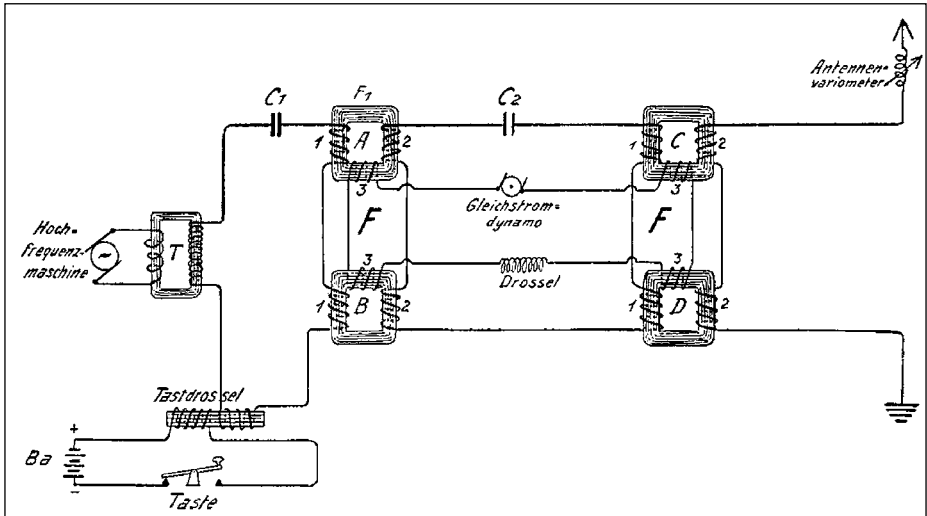


Bild 29: Vereinfachtes Schaltbild eines Telefunken-Senders in der Großstation Nauen. Die Hochfrequenzmaschine mit 240 Rotorzähnen erzeugt bei 24,8 Rotordrehungen pro Sekunde 5952 Hz bei 450 V, diese Spannung wird auf 1900 V herauftransformiert und dann in zwei Frequenzwandlerstufen auf 23,8 kHz vervierfacht, entsprechend einer Wellenlänge von 12.600 m. Durch eine Veränderung der Kombination von Verdopplern und Verdreifachern erzeugte man mit demselben Sender auch Wellenlängen von 16800, 8400 oder 6300 m – natürlich mussten dann auch die Antennen durch verschiedene Induktivitäten entsprechend angepasst werden, aus [18] [19].

In Deutschland kam RUDOLF GOLDSCHMIDT 1907 auf die Idee, einen Wechselstromdynamo zu entwickeln, dessen Magnetfeld zugleich von Wechselstrom durchflossen wurde und in den Schwingkreise eingebaut waren. Über Schleifringe wurden dazu die Rotorwicklungen herausgeführt und mit Kondensatoren zu Schwingkreisen zusammengeschaltet (Bild 28). Die Hochfrequenzmaschine erschien zunächst als der einzige Weg, sehr hohe Leistungen über 100 kW und damit große Reichweiten zu erzielen. Zur Erzeugung kürzerer Wellenlängen musste allerdings entweder die im Wechselstromgenerator erzeugte Schwingungszahl erhöht oder eine

Vervielfachung der von der Maschine gelieferten Frequenz erfolgen.

In den USA setzte man den Schwerpunkt auf die Weiterentwicklung der Wechselstromgeneratoren, gleichermaßen hinsichtlich höherer Frequenzen wie höherer Leistungen. In Deutschland verfolgte man einen etwas anderen Weg: Man erhöhte zwar auch hier die Wechselstromleistung, nutzte allerdings zur Erhöhung der Frequenz den von J. EPSTEIN erfundenen Frequenzwandler. Durch Kopplung von Hochfrequenzmaschinen mit ruhenden Frequenzwandlern wurden in den Jahren bis 1912 Frequenzen von 15-150 kHz erreicht. Telefunken erzeugte mit einer AEG-

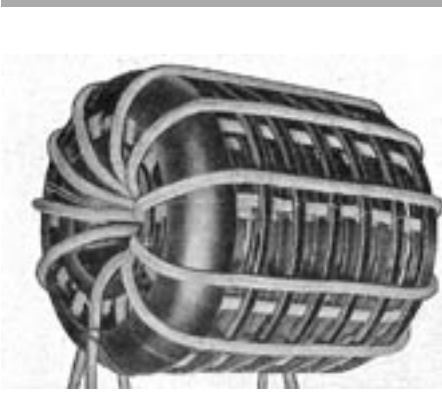


Bild 30: Hälfte eines Frequenztransformators für 400kW, aus [18] [19].

Maschine eine Ausgangsfrequenz zwischen 6000 und 10000 Hz. Diese wurde durch gegeneinander geschaltete gleichstromgesättigte Transformatoren im Primärkreis so verzerrt, dass man über einen abgestimmten Kreis hohe Leistung bis zur fünffachen Frequenz entnehmen konnte. Später wurden auch mehrere Vervielfacher hintereinander geschaltet (Bilder 29, 30). GRAF ARCO entwickelte nach diesem Prinzip einen ersten 3-kW-Sender für den Frequenzbereich 100 - 150 kHz; 1913 arbeitete bereits ein 11-kW-Sender in Nauen. H. BREDOW gelang mit einem Maschinensender von Telefunken in Sayville (Long Island) die erste musikalische Rundfunkübertragung.

In den darauffolgenden Jahren setzte sich der Maschinensender weltweit durch. Nationale und kommerzielle Großstationen wurden mit Maschinensendern bis 1000 kW Sendeleistung ausgerüstet, bald darauf auch die ersten Rundfunkstationen (Bild 31).

Zur Sicherstellung des Empfangs von Morsetelegraphie versuchte man in dieser Zeit mehrere aufwändige Empfangsverfahren, unter anderem

auch Überlagerungsempfang mit einer 10-kW-Maschine(!) als Oszillator. Eine einfache technische Lösung lieferte dann die Überlagerung mit einem Röhrenoszillator, der damals wesentlich zum schnellen Aufschwung des Maschinensenders beitrug.

In der Folgezeit konnte der Wirkungsgrad derartiger Sender von anfangs 65% auf 90% der Maschinenleistung gesteigert werden – in Deutschland wurden Maschinensender bis zum Ausgang der 20er Jahre gebaut, dann wurden sie endgültig von den Röhrensendern verdrängt, auch deswegen, weil sich mit Hochfrequenzmaschinen höchstens 100 kHz erzeugen ließen, also trotz Frequenzvervielfachung keine Kurzwellen.

Historischer Vergleich

Betrachtet man diese revolutionären technischen Entwicklungen, die im Wesentlichen in nur zwei Jahrzehnten seit experimenteller Entdeckung der elektromagnetischen Wellen durchlaufen wurden, so lässt sich durchaus ein Vergleich mit unserer Zeit anstellen: Wie in der jüngsten Entwicklung der Computertechnik und der Funkkommunikation (Handy) verkürzten sich schon damals die Entwicklungszyklen auf jeweils wenige Jahre. Kaum war ein technischer Schritt getan, so folgte die Anwendung auf dem Fuße, um dann wieder vom nächsten Schritt der Technik überholt zu werden. Aber es gibt doch einen großen Unterschied: Personal Computer und Handy wurden von der breiten, ja weltweiten Anwendung und von kommerziellen Interessen vorangetrieben, während seinerzeit die Funkentelegraphie zunächst eine

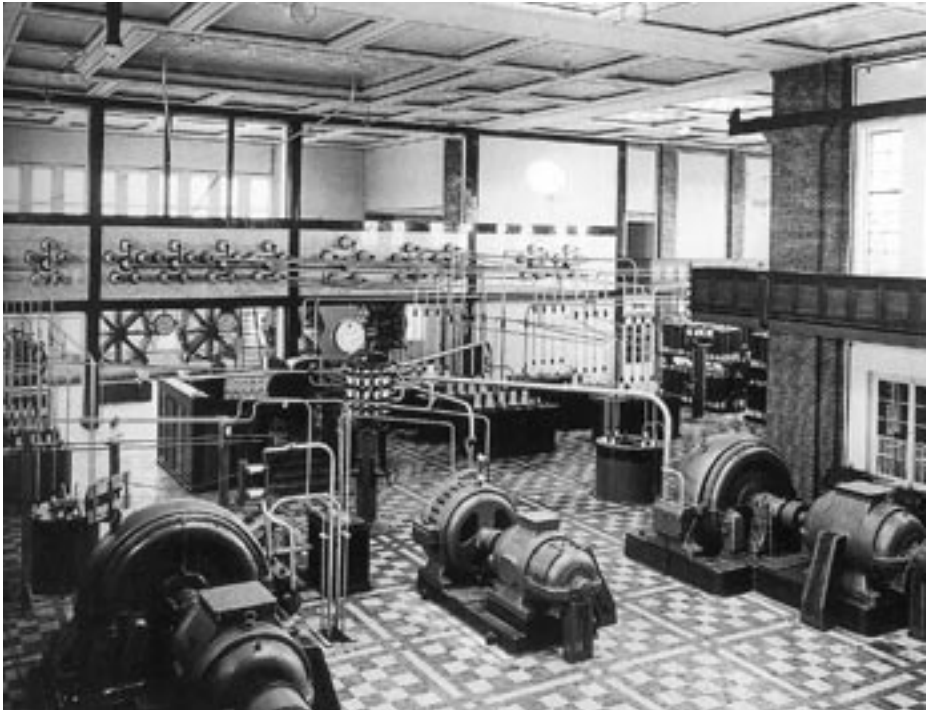


Bild 31: *Maschinensaal des Großsenders Nauen 1922, im Vordergrund zwei 400-kW- und ein 100-kW-Maschinensender, aus [33].*

exklusive Technik für wenige war. Daran beteiligt waren wenige Nationen, wenige (noch als Einzelpersonen bekannte) Wissenschaftler, wenige Nutzer der neuen Technik: Regierungen (mit der hoheitlich verstandenen Post), Schifffahrt, beginnende Luftfahrt und vor allem Militärs. Auch an diesem Vergleich wird die Veränderung von Lebensumständen deutlich. Wirtschaft und Kommerz sind heute die wesentlichen Antriebskräfte der technischen Entwicklung, nicht mehr Regierungen und einzelne Wissenschaftler – geblieben ist allerdings (vielleicht in noch stärkerem Maße als zu Beginn des letzten Jahrhunderts) das Streben nach Geltung,

nach Vorsprung vor den anderen, nach allem Neuen. ■

Literatur:

- [1] Mitteilungen für die Offiziere der Verkehrstruppen VIII/1903: Die Entwicklung der Funkentelegraphie..., Mittler, Berlin 1903.
- [2] Inspektion des Torpedowesens (Hrsg.): Grundlagen der Funkentelegraphie, Kiel 1906.
- [3] Heilbrun: Elementare Vorlesungen über Telegraphie und Telephonie, Georg Siemens, Berlin 1906.
- [4] Thurn: Die Funkentelegraphie, Teubner, Leipzig 1907.

- [5] Thurn: Die Funkentelegraphie, Teubner, 2. Auflage Leipzig 1913.
- [6] Gesellschaft für drahtlose Telegraphie: Artillerie-Flugzeug-Station System Telefunken, Berlin o. J. (ca.1910), Teil 2: Beschreibung des Empfängers.
- [7] Heeresdienstvorschrift T. D. V. E. Nr. 58: Militär-Funkentelegraphie, Mittler, Berlin 1913.
- [8] Dieckmann: Leitfaden der drahtlosen Telegraphie für die Luftfahrt, Oldenbourg, München/Berlin 1913.
- [9] Fuchs/K. B. Funker-Ersatz-Kompagnie: Techn. Unterricht über Funken-Telegraphie, Oldenbourg, München o. J.
- [10] Zenneck: Wireless Telegraphy, McGraw-Hill, New York 1915.
- [11] Hayward: How to Become a Wireless Operator, Amer. Techn. Soc., Chicago 1918.
- [12] Inspektion Nachrichtentruppen (Hrsg.): Merkbuch für das Abstimmen der Funkgeräte, o. O. 1919.
- [13] Jansky: Principles of Radiotelegraphy, McGraw-Hill, New York/London 1919.
- [14] Dowsett: Wireless Telegraphy and Telephony, Wireless Press, London 1920.
- [15] Nebel(?): Technische Entwicklung der Militär-Funkentelegraphie im Kriege, Vortragskonzept, 1920.
- [16] Signal Corps US-Army: Radio Pamphlet No. 40, The Principles Underlying Radio Communication, WarDept, Washington 1922.
- [17] Fürst: Im Bannkreis von Nauen, Stuttgart 1922.
- [18] Günther: Das Radiobuch, Franckh/Dieck, Stuttgart 1924.
- [19] Günther: Elektrotechnik für Alle, Dieck, Stuttgart 1925.
- [20] Günther: Pioniere der Radiotechnik, Franckh, Stuttgart 1926.
- [21] Thiele: Zur Geschichte der Nachrichtentruppe 1899-1924, Berlin 1925.
- [22] Banneitz (Hrsg.): Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie, Springer, Berlin 1927.
- [23] Admiralty Handbook of Wireless Telegraphy, HMS Office, London 1931.
- [24] H. Dv. 125: Unterrichtsbuch für die Funktechnik (A. Fu.), Offene Worte, Berlin ca. 1932.
- [25] British Army: 26/Manuals/1577, Signal Training Vol. II, Part II Wireless, WarOffice, London 1936.
- [26] H. Dv. 125: Fernmeldetechnik im Heere: Funktechnik Hefte 3a (Textteil) und 3b (Bildteil), Offene Worte, Berlin 1939/1943.
- [27] Mügge: Kurze Elektrizitäts- und Gerätelehre für Funker und Fernsprecher, Mittler, Berlin 1939.
- [28] Bachstroem, Major (Ing.): Technisches Hilfsbuch für Funker erläutert in Wort und Bild am „Elektronenschützen Iks“, OffeneWorte, Berlin, 1941.
- [29] Engelmann: Vom Knallfunken zum Datenfunk. 75 Jahre „Bewegliche Stationen“, AEG-Telefunken, Ulm ca. 1978.
- [30] Burkhardtsmeyer: 75 Jahre Sendertechnik bei AEG-Telefunken, AEG-Telefunken, Ulm ca. 1978.
- [31] Trenkle: Die deutschen Funknachrichtenanlagen bis 1945, Band 1: Die ersten 40 Jahre, Hüthig/TST, Heidelberg/Ulm, 1989.
- [32] Ritter: Die Funkertruppe, Bundesamt für Übermittlungstruppen, Bern o. J.
- [33] Thiele (Hrsg.): Telefunken nach 100 Jahren, Nicolai, Berlin 2003.
- [34] Lueger (Hrsg.): Lexikon der gesamten Technik und ihrer Hilfswissenschaften, 8. Band, Stichwort Telegraph, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart ca. 1910.

Berichtigung Bildunterschrift Bild 4 in FG 167, S. 92: Oben links Relais, rechts Kohäer mit Klopfer, vorn Morseschreiber.