

Nachweis der elektromagnetischen Wellen vor 100 Jahren [Schluss]

Autor(en): **Severin, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **62 (1989)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **16.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-562867>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Hans Severin, ehemals ordentlicher Professor am Institut für Hoch- und Höchstfrequenztechnik der Ruhr-Universität Bochum

Nachweis der elektromagnetischen Wellen vor 100 Jahren (II)

Der Weg zur drahtlosen Telegrafie ist geöffnet

Heinrich Hertz, dem es darum ging, die Maxwell'schen Postulate experimentell zu bestätigen und damit den Streit um die Grundgleichungen der Elektrodynamik zu beenden, hat mit seinen Versuchen die Grundlagen für die drahtlose Telegrafie geschaffen, sich selbst aber mit diesem Aspekt der technischen Anwendbarkeit seiner Ergebnisse nicht beschäftigt. Bevor es dazu kommen konnte, musste ein wesentlich empfindlicherer Empfänger für elektromagnetische Wellen gefunden werden, als es der hertz'sche Resonator mit Funkenstrecke war. Der entscheidende Schritt in diese Richtung gelang 1890 dem französischen Physiker E. Branly [13] mit seinem «Kohärer» (Fig. 1).

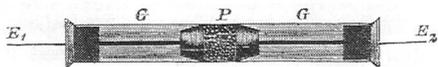


Fig. 1 Kohärer oder Fritter nach Branly [10]. E: Elektroden, G: Glasröhre, P: Metallspäne.

Dessen wesentliches Element ist ein Konglomerat von lockerem Metallfeilicht zwischen zwei leitenden Kolben (Elektroden) in einem Glasröhrchen. Wegen des schlechten Kontakts der einzelnen Metallteilchen besteht zwischen den Zuleitungen ein sehr hoher Widerstand, so dass beim Anschluss an eine Batterie zunächst praktisch kein Strom fließt. Treffen elektromagnetische Wellen auf das Röhrchen, dann werden benachbarte Metallteilchen durch feine Funken zwischen ihnen miteinander leicht verschweisst, durch die so entstehende leitende Brücke sinkt der Widerstand des Kohälers beträchtlich ab, und der Stromkreis ist geschlossen. Über ein in ihn eingefügtes Relais zeigt eine elektrische Klingel oder ein Morseschreiber das Auftreffen der Wellen an. Um einen Dauerstrom durch den leitend gewordenen Kohärer zu vermeiden, muss dieser durch leichte mechanische Erschütterungen wieder nichtleitend gemacht werden, wenn kein Signal mehr vom Sender her kommt. Bei dem von Branly vorgeschlagenen Empfänger geschieht dies durch den gegen das Glasröhrchen schlagenden Klöppel einer elektrischen Klingel.

Erste Versuche Marconis

Als erster benutzte der russische Physiker A. St. Popow 1895 den Kohärer zur Aufzeichnung luftelektrischer Entladungen. Er kam auf die Idee, eine Seite des Kohälers mit dem Blitzableiter, die andere mit Erde zu verbinden und konnte so durch einen Morseschreiber Blitzschläge aufzeichnen lassen, die in einem Umkreis von mehreren Kilometern auftraten. Er wurde in den Folgejahren der Pionier der drahtlosen Telegrafie in Russland, als er von den Erfolgen des italienischen Ingenieurs G. Mar-

coni hörte. Dieser hatte nach intensiver Beschäftigung mit den Hertz'schen Versuchen 1894 den Plan gefasst, elektromagnetische Wellen zur drahtlosen Übertragung von Nachrichten zu verwenden. Für seine anfänglichen Experimente stellte er drei wesentliche Elemente zusammen: Auf der Senderseite einen Funkeninduktor und eine Funkenstrecke, wie Hertz sie benutzt hatte, auf der Empfängerseite die «Antenne» nach Popow und den Kohärer von Branly. Damit gelang es ihm Ende 1895 die ersten Signale im Freien mehrere hundert Meter weit zu übertragen [16]. Zur Überbrückung grösserer Entfernungen brachte Marconi auch an der Funkenstrecke eine Antenne an und konnte damit Morsezeichen über viele Kilometer übermitteln. Mit diesem entscheidenden Schritt des jungen Erfinders – Marconi war gerade 23 Jahre alt – begann der Siegeszug der drahtlosen Telegrafie, über den in «Die berühmten Erfinder» [16] berichtet wird:

«Im Jahre 1898 die erste Verbindung über den «Giants causeway» in Irland, [...] im Jahre 1899 die Überwindung des Ärmelkanals, [...] 1901 Verbindung des Kontinents mit Korsika über hundertfünfundsiebzig Kilometer. Ohne länger zu warten, beschloss Marconi [...] den Versuch einer Überquerung des Atlantiks. [...] Er errichtete in Poldhu (Cornwall) eine Sendestation, deren Stärke [...] auf etwa zwanzig Kilowatt gesteigert wurde. Die Antenne bestand aus einem Netz von fünfzig Drähten, die von zwei neunundvierzig Meter hohen Masten aus einundsechzig Meter weit gespannt waren. Um beim Empfänger in Neufundland, «auf billige Weise eine grosse Höhe der Antenne zu erreichen, wurde sie mit einem Papierdrachen hochgelassen. [...] Vom ersten Tage (12. Dezember 1901 [17]) an waren die Signale von Poldhu [...] schwach hörbar; eine Strecke von dreitausendfünfhundertvierzig Kilometer war überbrückt.» Marconi der den Empfang selbst überwachte, erklärte: «Dies ist die grösste Freude meines Lebens.»

Die «Marconi Wireless Company» wurde gegründet und schon 1903 der transatlantische Dienst auf kommerzieller Basis aufgenommen. Selten hat eine Erfindung die Öffentlichkeit so bewegt wie Marconis drahtlose Telegrafie um die Jahrhundertwende, insbesondere auch, weil dank ihr 1909 und 1912 die Rettung von Schiffbrüchigen beim Untergang der Dampfschiffe «Republic» und «Titanic» gelang.

Die Nutzbarmachung der Hertz'schen Versuche für die drahtlose Telegrafie gelang G. Marconi nicht zuletzt dadurch, dass er die Bedeutung der Antenne erkannte. Dazu sagte er 1909 in seiner Nobelpreis-Rede [18]:

«My previous tests had considered me that when endeavouring to extend the distance of communication it was not merely sufficient to augment the power of the electrical energy of the sender, but it was also necessary to increase the area or height of the transmitting and receiving elevated conductors. As it would have

been too expensive to employ vertical wires of great height, I decided to increase their number and capacity, which seemed likely to make possible the efficient utilization of large amounts of energy.» (Meine vorgängigen Experimente machten mir klar, dass zur Verlängerung der Übermittlungsdistanz das Erhöhen der Senderleistung alleine nicht ausreichte, sondern dass es auch nötig war, die Fläche oder die Höhe der übertragenden und empfangenden aufgerichteten Leiter zu vergrössern. Da die Verwendung von vertikalen Drähten von grosser Höhe zu teuer war, entschied ich mich, die Anzahl und Kapazität dieser Drähte zu erhöhen, was die effiziente Verwendung von grossen Energiemengen möglich zu machen schien. Übers. der Red.)

Bei typischen Wellenlängen von 2000 m bis 10000 m betrug die Antennenhöhe den Bruchteil einer Wellenlänge, und ihr Strahlungswiderstand lag im Bereich um 1. Der Wirkungsgrad war gering, infolge der hohen Senderleistung von vielen Kilowatt wurde indessen ausreichend Energie abgestrahlt.

Die Grundform der Antenne ist der von Marconi in seinen ersten Versuchen benutzte senkrecht hochgeführte Draht. Aufgrund seiner Überlegungen entstanden dann flächenhafte Antennen, wobei zahlreiche Einzeldrähte in Form eines Fächers oder einer Harfe aufgespannt waren. Die erste derartige von Marconi 1901 in Cape Cod nahe New York errichtete Anordnung, aufgehängt an zwei 48 m hohen Holzmasten im Abstand von 60 m, wurde vor ihrer Inbetriebnahme durch einen Sturm zerstört. Eine ähnliche Fächerantenne hatte zunächst auch Marconis Poldhu-Station in Cornwall, bevor sie später durch eine räumliche, auch für andere Marconi-Stationen typische Anordnung ersetzt wurde, bei der die zahlreichen Einzeldrähte in der Spitze einer auf dem Kopf stehenden Pyramide zusammenliefen und die an vier massiven 70 m hohen Holztürmen aufgehängt war (Fig. 2).

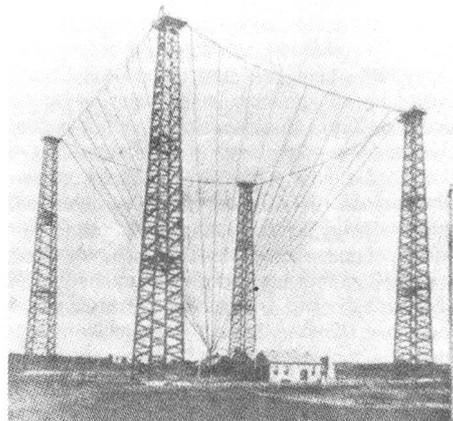


Fig. 2 Quadratische Pyramidenantenne in Marconis Poldhu-Station in England 1905. [15]

Grössere Entfernungen werden überbrückt

Um über grosse Entfernungen zuverlässig drahtlos telegrafieren zu können, mussten die abgestrahlte Leistung erhöht und die Empfängerempfindlichkeit gesteigert werden. Beides gelang dem deutschen Physikprofessor *F. Braun*, mehr bekannt durch die von ihm 1897 erfundene und später nach ihm benannte «Braunsche Röhre». Die Funkenstrecke im Marconi-Sender erzeugte nur kurze, stark gedämpfte Schwingungszüge, der im Empfänger benutzte Kohärer musste ständig mechanisch regeneriert werden und erlaubte daher keine schnelle Signalfolge. Braun hatte 1897 an der Universität Strassburg damit begonnen, sich auch mit der drahtlosen Telegrafie zu beschäftigen [20]. Ihm gelang die Erzeugung von länger dauernden, nur allmählich abklingenden Schwingungen, indem er die Funkenstrecke nicht unmittelbar in die Antenne, sondern in einen geschlossenen Resonanzkreis aus Spule und Kondensator legte und die Antenne induktiv an diesen ankopelte. Die Verwendung gekoppelter Kreise war nicht einfach eine Verbesserung der Anlage von Marconi, sondern eine wirklich grundlegende Erfindung, und dieses neue Verfahren ist auch in unserer modernen Technik die Basis für Senden und Empfang geblieben. Der 1898 patentierte «Braunsche Sender» [22] brachte nicht nur eine beträchtliche Vergrösserung der bis dahin zuverlässig möglichen Reichweiten, er brach auch das für die drahtlose Telegrafie bestehende patentrechtliche Monopol Marconis.

Nach der Entwicklung des neuen Senders richtete Braun sein Augenmerk auf die Verbesserung des Empfängers, in dem der Kohärer ein höchst unzuverlässiges, aber scheinbar unverzichtbares Bauelement war. Während daher alle, die sich damals mit der drahtlosen Telegrafie beschäftigten, den Kohärer zu verbessern suchten [23], war es Brauns Ziel, ihn durch ein neues, geeigneteres Element zu ersetzen. Er hatte bereits 1876 – damals als Physiklehrer am Thomasgymnasium in Leipzig – in einem Vortrag vor der naturforschenden Gesellschaft zu Leipzig seine «Versuche über Abweichungen vom Ohmschen Gesetz in metallisch-leitenden Körpern» mitgeteilt und in einem Demonstrationsexperiment gezeigt, dass der Strom durch eine federnd auf einen Schwefelkies-Kristall aufgesetzte Nadel richtungsabhängig ist. Auf der Basis dieser Ventilwirkung entwickelte Braun den Kristalldetektor und setzte ihn 1901 an die Stelle des Branlyschen Kohälers, der während des ersten Jahrzehnts der drahtlosen Telegrafie der einzige brauchbare Detektor geblieben war. Mit dem Braunschen Gleichrichter konnten die schwach gedämpften Schwingungen im Empfänger in einem Telefon hörbar gemacht werden, und damit vollzog sich der Übergang zum Hörempfang. Die Verbesserung der Empfindlichkeit durch den Kristalldetektor trug wie schon der Braunsche Sender wieder zur Steigerung der Reichweite bei. Braun und Marconi erhielten 1909 gemeinsam den Nobelpreis für Physik «in Anerkennung ihrer Verdienste um die Entwicklung der Telegrafie ohne Draht».

Die weitere Entwicklung der drahtlosen Telegrafie spiegelt sich im Aufbau der *Telefunken*-Versuchsstation Nauen wider. In den Jahren 1906 bis 1909 wurden mit einem Braunschen Sender Reichweiten von 3000 km erzielt. Mit der von *M. Wien* entwickelten Löschkunststrecke konnten in den Jahren 1909 bis 1911 eine drahtlose Verbindung mit den damaligen deutschen Kolonien Kamerun und Togo hergestellt und eine Entfernung von 5000 km fast ganz

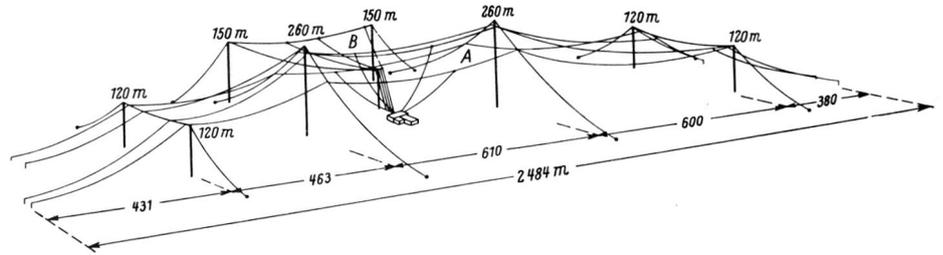


Fig. 3 Antennenanlage der Station Nauen, 1916–1919 [25].

über Land bezwungen werden. 1911 wurde die Versuchsstation Nauen zur Betriebsstation. Eine 1912 vergrösserte Löschkunststrecke mit 100 kW Sendeleistung reichte bis Mittelfrika und Nordamerika und stellte während des Ersten Weltkrieges über eine Entfernung von 8000 km die unmittelbare Verbindung mit Windhuk in Deutsch-Südwestafrika her. 1913 und 1915 erhielt die Station Nauen ihre ersten Hochfrequenzmaschinen mit Sendeleistungen von 100 kW und 200 kW, und 1920 zwei weitere von je 400 kW. Dadurch konnten Mittel- und Südamerika, Australien und Neuseeland in einer Entfernung von 20 000 km und damit praktisch jeder Punkt der Erde erreicht werden. Ein interessantes Zeitdokument aus jenen Jahren ist eine Skizze der umfangreichen Antennenanlage von Nauen (Fig. 3).

Mit der Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen hoher Frequenz durch Maschinen und deren Einführung in die Sendertechnik endete Anfang der 30er Jahre der erste grosse Abschnitt der Nachrichtenübertragungstechnik. Das folgende halbe Jahrhundert ist durch den Siegeszug von Elektronenröhre und Transistor gekennzeichnet. Den Beginn des dritten Abschnitts erleben wir gerade mit der Entwicklung der optischen Nachrichtentechnik. Damit wird sicher auch die Einheit des Spektrums elektromagnetischer Wellen (Fig. 4) stärker ins Bewusstsein der Allgemeinheit gerückt werden. Wenn sie auch seit Maxwell und Hertz unumstrittene Erkenntnis ist, so denkt man, wenn man von «elektromagnetischen Wellen» spricht, aufgrund der technischen Entwicklung der letzten 100 Jahre derzeit in erster Linie an die Wellen der elektrischen Nachrichtentechnik. Dieser heute noch dominierende Frequenzbereich des Spektrums wird mit wachsendem Gewicht der optischen Nachrichtentechnik viel-

leicht in nicht allzu ferner Zukunft wieder wie in früheren Publikationen als Bereich der «Hertz-schen Wellen» bezeichnet werden.

Eine ungeahnte Entwicklung

Heinrich Hertz konnte nicht ahnen, dass seine Ergebnisse eine Entwicklung einleiten würden, die zu Rundfunk, Fernsehen und Satellitenfunk führen, und dass 100 Jahre später das gesamte Spektrum der elektromagnetischen Wellen einschliesslich der Lichtwellen für Zwecke der Nachrichtentechnik genutzt werden würde. Aber er hat sehr wohl die Einheit von elektrischen und optischen Vorgängen erkannt, wenn er in seinem Vortrag [8] nach der Schilderung seiner Versuche zusammenfasst: «Von dem Gebiete rein elektrischer Erscheinungen ausgehend, sind wir Schritt vor Schritt zu rein optischen Erscheinungen gelangt. [...] Die Verbindung zwischen Licht- und Electricität, welche die Theorie ahnte, vermutete, voraussah, ist hergestellt, den Sinnen fasslich, dem natürlichen Geiste verständlich [...] es eröffnet sich uns ein weiter Einblick in beide Gebiete. Sie erscheinen uns grösser, als wir sie bisher gekannt. Die Herrschaft der Optik beschränkt sich nicht mehr auf Ätherwellen, welche kleine Bruchteile des Millimeters messen, sie gewinnt Wellen, deren Länge nach Decimetern, Metern, Kilometern rechnen.»

Eine auführliche Darstellung «100 Jahre elektromagnetische Wellen» findet der Leser in einer anlässlich des 100jährigen Jubiläums verfassten sechsteiligen Artikelreihe des Autors über die historische Entwicklung in der «Frequenz» [26].

(Nachdruck aus «Technische Mitteilungen PTT» Nr. 11/1989) (Bibliografie auf S. 6)

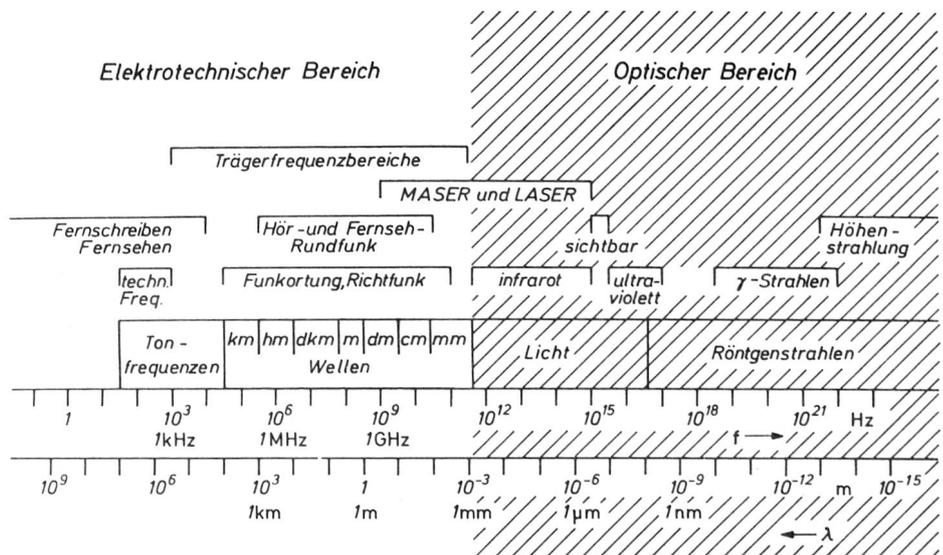


Fig. 4 Spektrum der elektromagnetischen Wellen.