

125 Jahre Entdeckung der elektromagnetischen Wellen durch Heinrich Hertz

Dr. Wolfgang Mattke

Schatzmeister der Thematische Arbeitsgemeinschaft Technik und Naturwissenschaft e.V.



125 Jahre elektromagn. Wellen BRD Mi.036

Heinrich Hertz gehört zu den großen Physikern der Zeitgeschichte und ist in einer Reihe mit Isaac Newton, Michael Faraday, James Clerk Maxwell und Albert Einstein zu nennen. 1864 hatte Maxwell theoretisch vorhergesagt, dass es noch elektromagnetische Wellen geben müsse, die sich ähnlich wie Licht verhalten.

Erst 23 Jahre später, 1888, entdeckte Heinrich Hertz diese Wellen. Damit begann vor 125 Jahren die stürmische Entwicklung der Funktechnik wie Funktelegrafie, Radartechnik, Funktelefonie, Rundfunk und Fernsehen. Eine Marke der DP und Münze des BMF würdigen Heinrich Hertz für die Entdeckung der „Strahlen elektrischer Kraft“, wie man die Wellen damals nannte.



Münze: 125 Jahre elektromagnetische Wellen

Vorgeschichte: 1819 hatte der dänische Physiker und Chemiker **Hans Christian Oerstedt** (1777-1851) entdeckt, dass ein elektrischer Strom bzw. ein stromdurchflossener Draht von einem kreisförmigen magnetischen Feld umgeben ist, das eine Kraftwirkung auf einen der Nähe befindlichen Permanentmagneten (z.B. auf eine Kompassnadel, s.Bild rechts) ausübt.



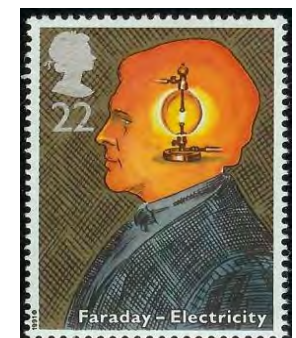
Hans Christian Oerstedt

Kompassnadel neben stromdurchflossenem Leiter



Francois Arago

1820 entwickelte der französische Physiker **D. François Arago** (1786-1853) einen Elektromagneten, indem er einen Kupferdraht auf einem Weicheisenstab zu einer Spule aufwickelte. Nach Einschalten eines Gleichstromes wirkt der Stab wie ein Permanentmagnet, dessen Magnetismus man einfach ein- und wieder ausschalten kann. Der elektrische Hubmagnet war geboren, mit dem man schwere ferromagnetische Lasten wie Eisen und Stahl transportieren, d.h. heben und ebenso leicht auch wieder absetzen konnte. Auf dieser Basis stellte 1851 der Amerikaner **Joseph Henry** (1797-1878) den ersten brauchbaren Hubmagneten mit einer Hubkraft von 2 Mp (!) her.



Michael Faraday

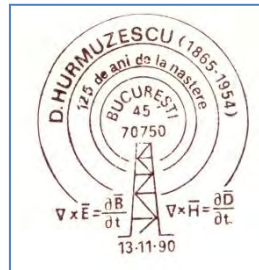
Lichtbogen im Kopf

Der englische Chemiker und Physiker **Michael Faraday** (1791-1867) stellte sich nach der Entdeckung Oerstedts, dass man durch elektrischen Strom ein Magnetfeld erzeugen kann (Strom erzeugt Magnetfeld) und nach der Entwicklung des ersten Elektromagneten (Arago s.o.) schon 1822 die Frage, ob es denn nicht umgekehrt auch möglich sein müsste, mit Hilfe eines Magnetfeldes elektrischen Strom zu erzeugen (Magnetfeld erzeugt Strom).

Diese Frage beschäftigte ihn 10 Jahre lang. Am 29.8.1831 bestätigte sich seine Annahme, als beim Einführen eines stabförmigen Permanentmagneten in eine Spule ein Galvanometer (Strommesser) in die eine und beim Herausziehen in die andere Richtung ausschlug. D.h., nur durch eine mechanisch erzeugte Änderung eines Magnetfeldes wurde in der Spule eine Spannung induziert (Induktionsgesetz). Diese Entdeckung war die Voraussetzung für die Entwicklung und den Bau der ersten Elektrogenatoren und Elektromotoren. Maxwell fasste später dieses Gesetz mathematisch in einer seiner berühmten Maxwell'schen Gleichungen (s.u.).



Eine Maxwellsche Gleichung
San Marino Mi.1487



Zwei Maxwellsche Gleichungen
Rumänien 13.11.1990



Eine Maxwellsche Weltformel
Nicaragua Mi.1617

Der schottische Mathematiker und geniale theoretische Physiker **James Clerk Maxwell** (1831-1879) analysierte die bis dahin gemachten Entdeckungen und Erfindungen und das gesamte bis dahin bekannte Wissen auf den Gebieten der Elektrotechnik und des Magnetismus. Er fasste es mathematisch in einem System von 20 miteinander verknüpften Differentialgleichungen. Diese heute zu den Weltformeln zählenden Gleichungen wurden später in Vektorschreibweise auf 6 bzw. 4 Gleichungen zusammengefasst. Sie beschreiben das Zusammenwirken von elektrischen und magnetischen Feldern im leeren oder im von Materie erfüllten Raum. Diese Gleichungen bilden heute die Grundlage der Lehre von Elektrizität und Magnetismus.

J.C.Maxwell veröffentlichte seine Ergebnisse 1864 in der Royal Society. Die Gleichungen sagten aus, wie es bereits Faraday vermutet hatte, dass es noch elektrische und magnetische Felder geben müsse, die sich ebenso wie das Licht in den freien Raum hinaus ausbreiten können (Energie wird abgestrahlt). Es galt nun, solche „Strahlen elektrischer Kraft“ zu finden.

Heinrich Hertz: Er wurde am 22.2.1857 in Hamburg als erstes Kind des Rechtsanwalts Gustav Hertz und seiner Frau Anna geboren. Hertz verfügte bereits als Kind über ein außergewöhnliches Gedächtnis. Nach dem Abitur absolvierte er ein Praktikum bei einem Baumeister in Frankfurt/ Main und begann mit 19 Jahren ein Bauingenieurstudium am Königlich-Sächsischen Polytechnikum Dresden, der heutigen TU Dresden. Nach dem ersten Semester leistete er seinen Wehrdienst in Berlin ab. Danach begab er sich 1877 nach München und nahm an der Königlich Bayerischen Technischen Hochschule München (heute TU München) nun ein Studium der Naturwissenschaften auf. Ein Jahr später kehrte Hertz wieder nach Berlin zurück. Er studierte an der TH Charlottenburg (heute TU Berlin) bei so bedeutenden Lehrern wie **Hermann von Helmholtz** (1821-1894) und **Gustav Robert Kirchhoff** (1824-1887) Physik und Mathematik. Bereits 1880 promovierte Hertz mit 23 Jahren bei Hermann von Helmholtz und habilitierte sich mit 26 Jahren an der Christian-Albrechts-Universität in Kiel.



Hermann von Helmholtz und Robert Kirchhoff (TH Charlottenburg, heute TU Berlin)

BRD Mi.1752

Berlin Mi. 401

DDR Mi.1941

Berlin Mi. 465

Hermann von Helmholtz erkannte sofort die Fähigkeiten des jungen Hertz und versuchte, ihn für sein Gebiet, die Elektrodynamik, zu interessieren. Helmholtz hatte 1871 selbst versucht, die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wirkungen im Raum zu bestimmen, war aber gescheitert. Ende des 19.Jhs. konkurrierten in der Physik bzw. Elektrodynamik zwei Auffassungen, deren Hauptfrage war, mit welcher Geschwindigkeit breiten sich elektromagnetische Kraftwirkungen im Raum aus. Nach der *Fernwirkungstheorie* sollte dies mit unendlicher Geschwindigkeit geschehen, wie man das vom Gravitationsgesetz her kannte. Die Anhänger der *Nahewirkungstheorie* (Faraday, Maxwell, Helmholtz) dagegen meinten, Kraftwirkungen breiten sich im Raum nur mit endlicher, höchstens aber mit Lichtgeschwindigkeit, aus.

Preisaufgabe: Helmholtz stellte seinen Studenten jedes Jahr eine Preisaufgabe. 1879 sollten sie nachweisen, ob nach der *Fernwirkungstheorie* eine isolierende Strecke in einem Stromkreis (z.B. ein Kondensator) in einem zeitlich veränderlichen elektrischen Feld einen Beitrag zum Magnetfeld leistet. Das ist von großer Bedeutung, weil es die Ausbreitung elektrischer Wellen in den Raum (auch im Vakuum) in sich einschließt. Die Lösung der Preisaufgabe sollte die *Maxwellsche Lichttheorie (Nahewirkungstheorie)* bestätigen. Hertz schätzte 1879 ein, dass diese Aufgabe noch nicht lösbar ist, weil es noch keine Schwingungsgeneratoren für hohe Frequenzen gab. Die Aufgabe hatte aber seinen Ehrgeiz geweckt und ließ ihn in den Folgejahren nicht mehr los.

Im Herbst 1885 folgte **Heinrich Hertz** einem Ruf an das *Polytechnikum Karlsruhe* (später Technische Hochschule, s. Postkarte), wo er **Ferdinand Braun**, der später noch eine große Rolle in der Entwicklung des Rundfunks spielen sollte, ablöste. Hier stand ihm ein großes Labor bzw. großer Hörsaal zur Verfügung. 1886 begann er mit Versuchen zur Induktion bei der Entladung von Kondensatoren (Leidener Flaschen). Bei einer Entladung beobachtete er, dass an einer naheliegenden Spule schwache Funken überspringen, was sich mit einfacher Induktion nicht erklären ließ. Er vermutete, dass es die Wirkung schneller elektrischer Schwingungen ist, die er seit langem suchte. Endlich konnte er mit einer Anordnung aus einem Funkeninduktor und einer Funkenstrecke mit Dipol (Hertzscher Oszillator) Schwingungen einer Frequenz von etwa 80 MHz (Wellenlänge 3,6m) erzeugen (liegt heute im UKW-Band). Mit dem „Funkengenerator“ hatte Hertz endlich eine Quelle gefunden, mit dem er die zur Lösung der Preisaufgabe nötigen hochfrequenten Schwingungen erzeugen konnte. Bei späteren Versuchen arbeitete er mit etwa 500 MHz (heute Dezimeterwellen - TV-Bereich IV).



Postkarte Frei lt. Avers Nr.16 Direktion der Großen(?) Badischen(?) Technischen Hochschule Karlsruhe mit Dienststempel

Als Sender benutzte Hertz einen Rühmkorffschen Funkeninduktor. Vereinfacht gesagt, ist das ein Transformator, der auf der Primärseite nur wenige Windungen, auf der Sekundärseite aber sehr viele Windungen hat. An die Primärseite wird über einen schnellen Schalter (Wagnerscher Hammer) eine kleine Gleichspannung angelegt. Der Schalter schaltet diese etwa 100mal pro Sekunde ein- und wieder aus. Dabei entsteht auf der Sekundärseite eine hohe Impulsspannung, die einen Kondensator auflädt, der sich bei Erreichen der Durchbruchspannung über eine Funkenstrecke entlädt. Der Funke stellt hier den Leiter dar, um den die elektrischen und magnetischen Felder entstehen. Das ist symbolisch auf der Marke der ČSSR und der neuen deutschen Marke bzw. Münze dargestellt. Auf der ČSSR- Marke ist am linken Bildrand ein Teil der Versuchsanordnung von Hertz mit kleiner Funkenstrecke (Mitte) zu sehen, von der sich die Wellen wegbewegen.



Heinrich Hertz und abgestrahlte elektromagnetische Wellen

Als **Empfänger** für die eintreffenden elektromagnetischen Wellen verwendete Heinrich Hertz einen ringförmigen Resonator (offener Schwingkreis) mit einer kleinen Funkenstrecke, die er im Dunkeln mit einem Mikroskop beobachtete (San Marino, Bildmitte, nächste Seite oben). Ein in der Funkenstrecke beobachteter Funkendurchschlag bedeutete das Eintreffen einer elektromagnetischen Welle. Diese Versuche führte er in der vorlesungsfreien Zeit in einem großen Hörsaal des Polytechnikums aus. Am 11.11.1886 gelang ihm die erste drahtlose Übertragung.



Sender: Funkenstrecke eines Schwingkreises strahlt Welle ab (Senden)

Empfänger: Ankommende Welle führt zu Funkendurchschlag

Hertz mit Polarisorator u. Feldlinienbildern (Hintergrund)

Die Ergebnisse seiner Untersuchungen veröffentlichte Hertz am 5.11.1887 in der Arbeit „Über Induktionserscheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren“, womit die Preisaufgabe von 1879 gelöst war. Hertz ging aber noch weiter und wollte „herausfinden, ob es die in der Maxwell'schen Theorie vorausgesagten elektromagnetischen Schwingungen tatsächlich gibt“. In der vorlesungsfreien Zeit um Weihnachten 1887 gelang es Hertz, im abgedunkelten Hörsaal des Polytechnikums „stehende Wellen an geradlinigen Drähten im freien Raum zu erzeugen und nachzuweisen.“

Bei der Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen im Luft-raum bemerkte er zufällig auch die Erscheinungen von Reflexion und Interferenz und ordnete sie richtig den elektrodynamischen Wellen zu, die Maxwell vorausgesagt hatte.



Heinrich Hertz



Stempel Heinrich Hertz



Einzig Marke Hertz und Maxwell

Licht als elektromagnetische Welle: Hertz zeigte auch, dass das Licht eine elektromagnetische Welle ist. Hierfür setzte er die Sende- und Empfangsdipole als Antennen in die Brennpunkte zweier Parabolspiegel aus Blech. Er demonstrierte, dass elektromagnetische Wellen an metallischen Flächen genauso reflektiert werden wie das Licht an einem Spiegel. Mit dem Sender-Parabolspiegel erzeugte er ebenso wie mit einer fokussierten Lichtquelle einen gerichteten Strahl elektromagnetischer Wellen. Ein mit parallelen Drähten bespannter Holzrahmen diente Hertz als Polarisator (s. Bild Guinea Bissau) Mit ihm konnte er durch Drehen des Rahmens um 90° den Sendestrahl sperren. Das zeigt, dass die Wellen, wie wir heute sagen, linear polarisiert waren (UKW-Sender strahlen vertikal oder horizontal polarisiert ab). Hertz bestimmte die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen zu $200\,000\text{ km/s}$, wobei ihm ein Fehler unterlief. Sie ist nur wenig kleiner als die Lichtgeschwindigkeit, die der französische Physiker **Armand H. L. Fizeau** (1819-1896) genial mit einem rotierenden Zahnrad (720 Zähne) und einem Spiegel in $8,5\text{ km}$ Entfernung zu etwa $300\,000\text{ km/s}$ bestimmt hatte.

Heinrich Hertz war nur daran interessiert, die Existenz der Wellen nachzuweisen, nicht aber an ihrer praktischen Nutzung. Da sich elektromagnetische Wellen geradlinig wie Licht ausbreiten, erwartete Hertz auch keine große Reichweite seiner Wellen. Der Ingenieur **Heinrich Huber** richtete 1889 an Hertz die Anfrage, „ob sich seine Wellen nicht zu einer drahtlosen Telegraphie würden verwenden lassen?“ Er wolle Schwingungen über den „Äther“ übertragen und in einem Telefon nachweisen. Hertz erklärte, dass die Schwingungen dafür zu langsam und zu schwach wären. Das war ein gewaltiger Irrtum.



Spektrum des sichtbaren Lichtes
BRD Mi. 2907



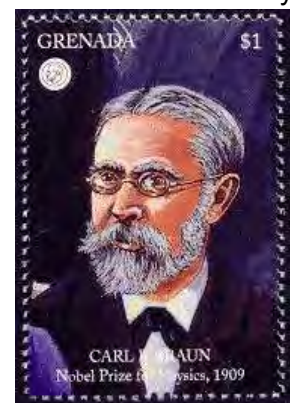
Edouard Branly mit Kohärer
(Wellenempfänger)

Karl Ferdinand Braun (1850-1918) schrieb dazu, „wäre sie (die Anfrage) zwei Jahre später an ihn (Hertz) gegangen, vielleicht hätte er sie bejaht“, nachdem der französische Physiker **Edouard Branly** (1844-1940) mit dem Kohärer einen einfachen Wellenanzeiger erfunden und damit experimentiert hatte. Die meisten Forscher, die Hertz' Versuche nachstellten, begnügten sich wie Hertz, mit dem Nachweis, dass es die elektromagnetischen Wellen gibt.

Sie erkannten, ebenso wenig wie Hertz, nicht das Potential der Wellen

und suchten nicht nach einer praktischen Anwendung (Branly, Lodge).

Vor 125 Jahren, am 13.12.1888, veröffentlichte *Hertz* seine Arbeit „Über Strahlen elektrischer Kraft“ in den Sitzungsberichten der *Berliner Aka-*



Ferdinand Braun

demie der Wissenschaften, die großes Aufsehen erregte. Dieses Datum gilt als das **Geburtsdatum der elektromagnetischen Wellen** und wird heute in der ganzen Welt gefeiert. Hertz Entdeckung bildete die Grundlage für die stürmische Entwicklung der Funktechnik wie der Funktelegrafie (Schiffsfunk – Rettung der Titanic-Schiffbrüchigen), der Radartechnik (1904/1935), der Funktelefonie (1906), des Rundfunks (um 1920) und des Fernsehens (um 1925).

1889 wechselte Hertz an die für ihn zum Arbeiten viel ruhigere Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität nach Bonn. Den Siegeszug seiner Wellen hat Heinrich Hertz leider nicht mehr erlebt, denn er verstarb am Neujahrstag 1894 im Alter von nur 36 Jahren an einer Sepsis, die heute mit einem Antibiotikum schnell zu heilen gewesen wäre.

Hätte es schon zu Hertz Lebzeiten den Nobelpreis gegeben, wäre Hertz sicher noch vor **Conrad Röntgen** erster Anwärter auf den Nobelpreis für Physik gewesen. Die ersten Preise wurden aber erst 1901 vergeben. Vielleicht wäre uns mit Hertz der von Marconi 1894 eingeleitete Umweg in der Entwicklung der Funktechnik über Längst-, Lang- und Mittelwellen zu den von Hertz bereits verwendeten und heute noch begehrten Kurz- und ultrakurzen Wellen (UKW) erspart geblieben.

Zu Ehren der großen Verdienste von Heinrich Hertz wurde die Einheit der Frequenz später Hertz (Hz) genannt. 1 Hertz ist eine Schwingung pro Sekunde (s. Zudruck auf FDC, links).



Heinrich Hertz mit Sinuswelle (links) auf FDC mit Mi. BRD 1710

anlässlich seines 100. Todestages

Die berühmte Versuchsanordnung von Heinrich Hertz befindet sich heute als Nachbau im *Sender- und Funktechnikmuseum* in Königs Wusterhausen bei Berlin und ist einen Besuch wert.

Im Dunkeln werden die Versuche von Hertz nachgestellt. Man ist erstaunt, mit wie einfachen, aber genialen Mitteln die wohl berühmtesten Experimente der Elektrotechnik durchgeführt wurden.

Literatur:

Mattke, Wolfgang: „Vom Blitz zum Radio“ – zur Geschichte des Rundfunks in Deutschland, 2012, Eigenverlag,.

Hinweis:

Eine ähnliche Fassung erschien in der DBR in den November- und Dezemberheften. Zur Werbung für die ArGe wurde eine andere Fassung in Heft 212 des Fachmagazins der GFGF, der Gesellschaft der Freunde der Geschichte der Funktechnik, in der alle zwei Monate erscheinenden Zeitschrift "Funkgeschichte", untergebracht.