

## Die Geschichte der Elektromagnetischen Wellen

eine Übersicht über die Entwicklung der letzten zwei Jahrhunderte.

Die Entwicklung der Elektronik-Industrie und damit auch die Entwicklung und der Einsatz von Elektromagnetischen Wellen bzw. Mikrowellen (Bezeichnung für extrem kurze Elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge von einigen cm bzw. mm) ist eine produktive Mischung aus Theorie und Pragmatismus.

Die Entdeckung der Elektromagnetischen Wellen geht auf James Clerk Maxwell zurück, ein brillanter Theoretiker der schon 1864 die Existenz von Elektromagnetischen Wellen schriftlich erwähnte. Es dauerte allerdings noch 22 Jahre bis Heinrich Hertz im Jahre 1886 die Existenz dieser Elektromagnetischen Wellen experimentiell nachweisen konnte.

Hertz verwendete eine Induktionsspule mit einer Funkenstrecke um in einiger Entfernung in einer auf 450 MHz resonanten Empfangsschleife wiederum einen Funken zu erzeugen. Auf die Frage ob Seine „Erfindung“ von weiterem Nutzen sein werde, beantwortete Hertz mit „eher nicht“. Eine Antwort, die Heinrich Hertz später sicher revidiert hätte. Heinrich Hertz starb im Alter von nur 36 Jahren an der Wegnerschen Krankheit.

Hertz erbrachte den Beweis dass sich Elektromagnetische Wellen genauso schnell und auf gleicher Art wie das Licht ausbreiten. Seine Ergebnisse sind Auslöser für die spätere Entwicklung der Drahtlosen Kommunikation. (Radio, Funk, Radar, etc.)

Sir Joseph Oliver Lodge (Englischer Physiker) führte der „Royal Society“ in London im Jahre 1894 die Anwendung der „Hertzschen Wellen“ vor. Auch Lodge dachte erstmals nicht daran dass diese Erfindung eine größerer Bedeutung hätte und schränkte den Anwendungsbereich auf etwa eine halbe Mile ( $< 1$  km) bzw. auf den sichtbaren Horizont ein. Im Gegensatz zu Heinrich Hertz konnte Oliver Lodge jedoch die ab der Jahrhundertwende rasant einsetzende Entwicklung der Drahtlosen Kommunikationstechnik miterleben, Lodge starb 1940 im Alter von 89 Jahren.

1896 hielt Sir Jagadish Chandra Bose (Indischer Physiker, Botaniker) vor der Royal Society in London einen Vortrag über Seine Experimente zur Erzeugung von Elektromagnetischen (Mikro) Wellen von bis zu 60 GHz. Bemerkenswert daran ist dass Bose diese Frequenzen mit den damals üblichen Funkensendern erzeugte und anscheinend auch "Empfangsmittel" für diese im mm Bereich liegenden Frequenzen herstellen konnte.

Bis zu diesem Zeitpunkt konnte man das „er-und gefundene“ Potential nicht wirklich verwerten. Die Entdecker entsprachen auch eher dem Typus von Forschern und Wissenschaftler die mehr durch Wissensdurst und Neugierde getrieben wurden und nicht unbedingt aus kommerziellen Gründen handelten.

Das änderte sich schlagartig als ein gewisser Guglielmo Marconi (später Marchese) die Weltbühne betrat. Marconis Stärke war nicht die Wissenschaft und die Theorie, Marconi war pragmatisch veranlagt und erkannte als erster die Bedeutung der "Hertzschen Wellen" um Daten und Signale über große Entfernungen zu übertragen. Seine Taten sind Geschichte und bis zur Gegenwart bestens bekannt. Mit Marconi begann der Siegeszug der drahtlosen Kommunikation der bis heute noch anhält, jedoch nicht mehr so spektakulär wahrgenommen wird.

1972 wurde die Weltraumsonde Pioneer 10 in das Weltall geschickt, versorgt durch einen radioisotopen thermoelektrischen 150 Watt Generator, ausgestattet mit einer 2,74m Parabolantenne. Für den downlink wurde ein TWT mit 8 Watt HF Ausgangsleistung auf 2292 MHz eingesetzt. 1973 erreichte Pioneer 10 den Jupiter, im Jahre 2003 konnte die NASA bei einer Entfernung von 7,5 Milliarden Kilometer zum letzten Mal eine Kommunikation mit Pioneer 10 herstellen der weiter zum Sternensystem des Aldebaran (Alpha Tauri) unterwegs ist.

Was würde wohl Marconi über diesen Weitenrekord sagen? Es dauerte 172 Jahre von Volta's Batterie bis zum Start von Pioneer 10, was werden sich Intelligente Lebewesen im Aldebaran über die Parabolantenne, den Transistoren, den TWT und den Thermogenerator denken wenn in etwa 2 Millionen Jahren die Raumsonde dort angekommen sein wird? Und, auf welchem technischen Niveau werden ir Mnschen stehen?

## Technologie Meilensteine von 1800 bis 2000

---

1800 Volta erfindet die Batterie

1820 Örstedt, entdeckt den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus

1827 Ohm definiert das Ohmsche Gesetz

1831 Faraday entdeckt die magnetische Induktion und die Gesetze der Elektrolyse

1864 Maxwell erstellt Dokument über den Elektromagnetismus

1876 Bell baut das erste brauchbare Telefon

1880 Heaviside ergänzt Maxwells Gleichung

1886 Hertz weist die Existenz von Elektromagnetischen Wellen nach

1893 Thompson entwickelt Theorie des Hohlleiters

1896 Bose arbeitet mit Mikrowellen bis 60 GHz

1897 Marconi gründet die Firma "Wireless Telegraph Company Limited", Braun entwickelt die „Braunsche Röhre“, Lord Raleigh beschreibt die „Mathematik“ des Hohlleiters

1899 Marconi, überbrückt den Ärmelkanal

1900 Fessenden erfindet die Sprachmodulation

1901/1902 Marconi überbrückt den Atlantik

1904 Fleming entwickelt die Diodenröhre

1906 DeForest entwickelte die Triodenröhre

1912 Amstrong entwickelt die Modulationsart FM

1916 Czochralski gelingt synthetische Herstellung von Quarzkristallen

1919 Eccles and Jordan entwickeln das „Flip-Flop“

1920 Hull entwickelt das Magnetron

1922 Cady, entwickelt den Quarzoszillator

1926 Yagi-Uda entwickelt die später nach ihm benannte Antenne

1928 Potocnik erwähnt Geostationäre Positionierung im Orbit, Nyquist veröffentlicht Seine Sampling Theorie

1930 Clavier verwendet Parabolantennen bei Mikrowellenlinks

1932 Jansky entdeckt Rauschspektrum des Sagittarius, die Radio-Astronomie beginnt

1935 Watson-Watt generiert die Begriffe „Radar“ und „Ionosphäre“

1946 Eisler entwickelt die gedruckte Schaltung (printed circuit)

1937 Varian entwickelt das Klystron

1938 Schottky bechreibt „Metal Semiconductor Junctions“

1939 Hewlett und Packard beginnen in einer Garage die Produktion von Elektronischen Geräten,

---

Smith entwickelt das nach ihm benannte Kreisdiagramm  
1940 England installiert Landesweite Luftraumüberwachung mittels Radar (Chain Home)  
1942 Friies definiert Formel für die Berechnung der Rauschzahl (Noise Figure)  
1946 Reflexionen von Elektromagnetischen Wellen vom Mond empfangen (EME)  
1947 Bardeen, Brattain und Shockley entwickeln den Transistor  
1948 NTSC Norm für B&W Fernsehen in USA eingeführt  
1950 AT&T verwenden Mikrowellen für Richtfunkstrecken im C-Band  
1953 Deschamps stellt Patch Antenne vor  
1957 Die UDSSR startet den Sputnik  
1958 Kilby (TI) und Noyce (Fairchild) entwickeln die Integrierte Schaltung (IC)  
1960 HP und Monsanto bringt die Leuchtdiode (LED) auf den Markt  
1965 Kurokawa beschreibt die Funktion von S-Parameter  
1968 RCA entwickelt CMOS  
1969 Das Internet beginnt als Arpanet  
1972 NASA startet Pioneer 10  
1973 Software für Mikrowellenschaltungen verfügbar  
1978 AT&T starten Tests für das 800 MHz AMPS Mobiltelefonsystem  
1980 GaAs FETs für eine Ausgangsleistung von 10 Watt auf 10 GHz verfügbar  
1981 IBM bringt den AT-PC auf den Markt  
1983 Motorola bringt ein Handtelefon für den analogen AMPS Standard auf den Markt  
1993 GPS Block II in Betrieb  
2003 NASA`s letzter Kontakt mit Pioneer 10

## Epilog

Natürlich gibt es noch viele andere Erfindungen in der Sparte der Nachrichtentechnik und Elektronik die man noch aufgezählen könnte. Dies betrifft im Wesentlichen auch die Entwicklung von aktiven und passiven Bauelemente, der Messtechnik und den maschinellen Produktions- und Herstellungsverfahren. Erst mit der Verfügbarkeit moderner und hochwertiger Bauelemente konnten bestimmte Geräte in der Form realisiert werden in der wir sie heute kennen. Von der Entwicklung des flip-flop bis zum ENIAC Computer dauerte es gerade mal 27 Jahre, bis zum PC von IBM immerhin 62 Jahre.

Manche Technologien (wie z.B. die Fernsehnormen) haben sich zum Teil mit Veränderungen und Modifikationen relativ lange behaupten können, nach insgesamt 61 Jahren Betrieb, inkl. der Umstellung auf Farbe, ist nun das Ende der analogen Television Standards (NTSC, PAL, SECAM) gekommen, in den Industrienationen werden terrestrische TV - Übertragungen nur mehr digital moduliert ausgesendet.

Ein klassisches Beispiel frühezeitiger Innovation ist auch die gedruckte Schaltung, wahrscheinlich hat sich Eisler im Jahre 1946 die gesamte Tragweite seiner Erfindung wohl nur vage vorstellen können. Bis zur Massenanwendung hat es dann noch ca. 25 Jahre gedauert und heute geht ohne Leiterplatte nichts mehr.

## Änderung der Komplexität im Wandel der Zeit (z.B. bei Amateurfunkgeräte)

um 1900 > eine Diode bzw. Kristall (1 aktives Element)  
1935 - 1970 > bis zu 20 Röhren [Collins 75S 3B]  
1970 - 1980 > Transistoren ersetzen Röhren, [Kenwood TS820] (ca. 150 aktive Elemente)  
1980 - 2000 > Einsatz von IC,  $\mu$ P, [Yaesu FT 1000MP] (>100.000 aktive Elemente)  
ab 2000 > Software Defined Radio + PC (zig-Millionen aktive Elemente)

....."Lastly, from millions of vibrations per second, proceed to billions, we will come to light radiation. The great gap between Hertzian waves and waves of light has not yet been bridged, but I do not doubt that it will be done by the discovery of improved methods of generating and observing very short waves"

Olivier Heaviside, Heavisides` s Electromagnetic Theory, 30. January, 1891

### **Quellenverzeichnis & Web Resources**

*J.C. Rautio, "Maxwell's Legacy," IEEE Microwave Magazine, June 2005, pp. 46-53*

*www.wikipedia.com: Heinrich Hertz.*

*E. Larson, Thunderstruck, Three Rivers Press, New York, NY 2006.*

*H. Potocnik, The Problem of Space Travel, Government Printing Office, Washington, DC (English reprint from 1928 book in German)*

*www.wikipedia.com: Pioneer 10*

*Microwave Journal Vol. 51 | No. 7 | July 2008 | Randy Rhea, Susina LLC*

*Doug Millar, K6JEY; moonlink-net*