Die Geschichte der Elektromagnetischen Wellen

eine Übersicht über die wissenschaftliche und technische Entwicklung seit 1800.

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 brillianter 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 erzeugen und anscheinend auch "Empfangsmittel" für diese im mm Bereich liegenden Frequenzen herstellen konnte.

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

Das änderte sich schlagartig als ein gewisser Gugliemo 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 wir Menschen dann stehen?

Technologie Meilensteine von 1800 bis 2000

1800 Alessandro Volta erfindet die Batterie
1820 Hans Christian Oersted, entdeckt den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus
1827 Georg Simon Ohm definiert das Ohmsche Gesetz
1831 Michael Faraday entdeckt die magnetische Induktion und die Gesetze der Elektrolyse
1873 James Clerk Maxwell veröffentlicht A Treatise on Electricity and Magnetism, ein Lehrbuch über den Elektromagnetismus
1876 Alexander Graham Bell baut das erste brauchbare Telefon
1880 Oliver Heaviside ergänzt Maxwells Gleichung und erhält das Patent auf die Koaxialleitung in England.
1886 Heinrich Hertz weist die Existenz von Elektromagnetischen Wellen nach
1893 Joseph John Thomson entwickelt Theorie des Hohlleiters
1896 Jagadish Chandra Bose arbeitet mit Mikrowellen bis 60 GHz
1897 Guglielmo Marconi gründet die Firma “Wireless Telegraph Company Limited”, Karl Ferdinand Braun entwickelt die „Braunsche Röhre“, Lord Raleigh beschreibt die „Mathematik“ des Hohlleiters
1899 Guglielmo Marconi überbrückt den Ärmelkanal
1900 Nikola Tesla erhält am 20. März 1900 sein erstes Patent über die drahtlose Energieübertragung, das heute als erstes Patent der Funktechnik gilt. Nur einen Monat später, am 26. April 1900, meldete Guglielmo Marconi sein Patent zur drahtlosen Telegraphie an.
Reginald Fessenden erfindet die Sprachmodulation
1901/1902 Guglielmo Marconi überbrückt den Atlantik
1902 Oliver Heaviside sagt die Existenz der Kennelly-Heaviside-Schicht ("E-Schicht") in der Ionosphäre vorher.
1904 John Ambrose Fleming entwickelt die Diodenröhre

1906 Lee De Forest entwickelte die Triodenröhre
1912 Edwin Howard Armstrong entwickelt die Modulationsart Frequenzmodulation (FM)
1916 Jan Czochralski gelingt synthetische Herstellung von Quarzkristallen
1919 William H. Eccles und Frank W. Jordan entwickeln das „Flip-Flop“
1920 Albert W. Hull entwickelt das Magnetron
1922 Walter Guyton Cady entwickelt den Quarzoszillator
1924 Edward Victor Appleton weisst die von Oliver Heaviside 1902 vorhergesagte E-Schicht (Kennelly-Heaviside-Schicht) experimentell nach.
1926 Yagi Hidetsugu und Uda Shintaro entwickeln die später nach ihnen benannte Yagi-Uda Antenne
1928 Herman Potočnik erwähnt Geostationäre Positionierung im Orbit, Harry Nyquist veröffentlicht sein Abtasttheorem
1930 André G. Clavier verwendet Parabolantennen bei Mikrowellenlinks
1932 Karl Guthe Jansky entdeckt Rauschspektrum des Sagittarius, die Radio-Astronomie beginnt
1935 Robert Alexander Watson-Watt erfindet das Radar und den Begriff„Ionosphäre“
1937 Gebrüder Russell und Sigurd Varian entwickeln das Klystron unter Mithilfe von William Webster Hansen
1938 Walter H. Schottky bechreibt „Metal Semiconductor Junctions“
1939 William R. Hewlett und David Packard gründen das Unternehmen Hewlett-Packard und beginnen in einer Garage mit der Produktion von Elektronischen Geräten, Phillip Hagar Smith entwickelt das nach Ihm benannte Kreisdiagramm
1940 England installiert Landesweite Luftraumüberwachung mittels Radar (Chain Home)
1942 Harald Friis definiert Formel für die Berechnung der Rauschzahl (Noise Figure). Gustav Guanella beantragt ein Patent in der Schweiz für ein Verfahren zur Übermittlung von Nachrichten, die mit Hilfe von Steuersignalen verschleiert werden. Es wird 1952 erteilt. Das Verfahren erlangte als Direct sequence spread spectrum transmission DSSS (deutsch: Frequenzspreizverfahren) große Bedeutung in der abhörgesicherten drahtlosen Übertragung. Das entsprechende US-Patent 2405500 wurde 1946 erteilt.
1946 Reflexionen von Elektromagnetischen Wellen vom Mond empfangen (EME)
1946 Paul Eisler entwickelt die gedruckte Schaltung (printed circuit)
1947 John Bardeen, Walter Houser Brattain und William Shockley entwickeln den Transistor
1948 NTSC Norm für Schwarz-Weiß Fernsehen in USA eingeführt
1950 AT&T verwenden Mikrowellen für Richtfunkstrecken im C-Band
1953 G. A. Deschamps stellt Patch Antenne vor
1957 Die UdSSR startet den Sputnik
1958 Jack Kilby (Texas Instruments) und Robert N. Noyce (Mitbegründer von Fairchild Semiconductor und Intel) entwickeln die Integrierte Schaltung (IC)
1960 HP und Monsanto bringt die Leuchtdiode (LED) auf den Markt
1965 Kaneyuki Kurokawa beschreibt die Funktion von S-Parameter
1968 Radio Corporation of America (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 hier 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 von hochwertigen Bauelemente und modernen Verfahrenstechniken konnten Geräte in der Form realisiert werden in der wir sie heute kennen. Von der Entwicklung des flip-flop bis zum ENIAC Computer (mit einigen tausend Vakuum Röhren) dauerte es gerade mal 27 Jahre, bis zum PC von IBM immerhin 62 Jahre.

Manche Technologien (wie z.B. die Fernsehnormen) haben sich inklusive Veränderungen und Modifikationen relativ lange behaupten können. Nach insgesamt 61 Jahren Betrieb, ist nun das Ende der analogen Televison 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, µP, [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

aus verschiedenen Quellen, zusammengestellt von OE4WOG mit Ergänzungen von OE1VMC.

zurück zu Einleitung Mikrowelle

Was sind Mikrowellen?

Die Entwicklung der Mikrowelle im Amateurfunk