

# Die Geschichte der Elektromagnetischen Wellen

Ausgabe:  
17.07.2025

Dieses Dokument wurde erzeugt mit  
BlueSpice

Seite von

## Inhaltsverzeichnis

- [1. Die Geschichte der Elektromagnetischen Wellen](#)
- [2. Die Entwicklung der Mikrowelle im Amateurfunk](#)
- [3. Einleitung Mikrowelle](#)
- [4. Was sind Mikrowellen?](#)

## 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 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 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 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 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](#) weist 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 Potonik 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](#) beschreibt „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 Guanello](#) 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 abhör gesicherten 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 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 Massen Anwendung 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` 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](http://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](http://www.wikipedia.com): Pioneer 10

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

Doug Millar, K6JEY; [moonlink-net](http://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

- „Die USA“

[Datei:w7lhlqst.jpg](#)

Die ersten bekannt gewordenen Mikrowellen Anwendungen im Amateurfunk stammen aus dem Jahr 1946 und kommen aus den USA. Zu dieser Zeit war in Europa und in anderen Teilen der Welt die Ausübung des Amateurfunks noch stark eingeschränkt wenn nicht komplett untersagt. Erst ab Beginn der 50er Jahre wurden diese Restriktionen aufgehoben und die Funkamateure in Europa konnten wieder offiziell ihr Hobby ausüben.

Im Jahre 1927 wurden die ersten Richtlinien durch die im Jahr 1865 gegründete International Telegraph Union (I.T.U) zur Vergabe und Zuteilung von Radiofrequenzen, für die im raschen Wachstum begriffene drahtlose Kommunikationstechnik, erstellt. Bis zum heutigen Zeitpunkt ist es Aufgabe der I.T.U, technische Standards zu definieren und die Radiofrequenzen für die Dienste wie: Land/Mobil, Schifffahrt, Flugfunk, Rundfunk und Amateurfunk, etc., international zu koordinieren. In der 1947 abgehaltenen I.T.U Konferenz in Atlantic City wurde der Grundstein für die zum Teil noch heute gültigen Bandpläne (u.a. auch für den Amateurfunk) gelegt. In der I.T.U werden die Belange der Funkamateure durch die IARU (International Amateur Radio Union) vertreten. Durch das Bemühen der IARU konnten auch Frequenzbänder oberhalb von 1.000MHz für den Amateurfunk „erworben“ werden. Seit 1948 ist der Sitz der I.T.U. in Genf (Schweiz).

Bedingt durch den zeitlichen Vorsprung war es daher nicht verwunderlich dass die ersten Veröffentlichungen, Gerätebeschreibungen und Berichte über Amateurfunkaktivität im Mikrowellenfrequenzbereich, hauptsächlich aus den USA kamen. Die für die Übertragung der Mikrowellensignale verwendeten Geräte wurden vollständig im Eigenbau („home made“) hergestellt, wobei die HF bestimmenden Bauteile großteils aus den „Surplus“ Beständen der Industrie und des Militärs kam. Als Modulation wurde Breitband Frequenzmodulation (WBFM) eingesetzt.

Das erste bekannt gewordene QSO auf dem 3cm Band (10GHz) wurde zwischen W2RJM und W2JN im Jahr 1946 über eine Entfernung von 3,22Km durchgeführt. Im Jahr 1947 stand der „Weltrekord“ im 3cm Band, gehalten von W6IFE/3 und W4HPJ/3, immerhin schon bei 12,31km. Das Callsign von W6IFE, Donovan Thompson, ein Mikrowellen Pionier der ersten Stunde, wurde später das Klubrufzeichen der „San Bernardino Microwave Society“ (SBMS). Die SBMS ist die weltweit älteste Amateurfunk Mikrowellen Interessensgruppe und wird bis heute als eigenständiger Verein geführt. 1960 wurde der Weltrekord im 3cm Band von W7JIP/7 und W7LHL/7 auf (für diese Zeit sensationelle) 427km erweitert.

das Bild links zeigt die Kopie des in der QST veröffentlichten Photos aus dem Jahr 1960

## • „ in Europa “

In Europa waren es die Funkamateure aus den UK die sich schon früh der Verwendung und dem Einsatz von Mikrowellen zuwandten. Bereits 1943 wurde eine Reihe technischer Artikel über „Communication on centimetre waves“ im „RSGB Bulletin“ veröffentlicht. 1947 erschien ein aus 54 Seiten bestehendes Buch mit dem Titel „Microwave Technique“. Zu dieser Zeit beschäftigten sich in den UK nur wenige Funkamateure mit Frequenzen oberhalb des 70cm Bandes. 1950 gelang es G3APY und G8UZ, den Weltrekord im 3cm Band auf eine Entfernung von 12 Meilen (ca. 20Km) anzuheben. Nur einen Monat später wurde dieser Rekord durch G3APY und G3ENS/p auf eine Streckendistanz von 27 Meilen (ca. 43Km) verbessert. In Folge wechselten die 3cm Weltrekorde einige Male zwischen USA und UK.

Ein wesentlicher Beitrag am Erfolg der Mikrowellenaktivität in Europa erfolgte durch die Veröffentlichungen der Artikel und Beiträge von D.S. Evans (G3RPE) und G.R. Jessop (G6JP) im VHF-UHF Manual, das von der RSGB publiziert wurde. In diesem Handbuch wurden die Grundlagen der Mikrowellentechnik als auch die klassischen Mikrowellen Bauteile wie Hohlleiter, Antennen, Messmittel, Klystrons und Gunn Oszillatoren erstmals und detailliert beschrieben. Das VHF-UHF Manual war in den 60er und 70er Jahren die Grundlage für den Eigenbau von Mikrowellen Geräten und ermöglichte vielen Funkamateuren den Einstieg in die Thematik der Mikrowellen.

Zu Beginn der 70er Jahre wurden in Österreich die ersten Experimente im 3cm Band durch OM Richard Vondra, OE1RVW durchgeführt. OE1RVW baute verschiedene 3cm GUNN-WBFM Transceiver und mechanische Absorptions-Frequenzmesser. Seine Selbstbauprojekte und Berichte über die ersten 3cm Funkverbindungen (QSO`s) zwischen OE1RVW und OE1ABW wurden in der DUBUS und erstmals 1975 in der August Ausgabe der QSP veröffentlicht.

## • „ Die System Generationen „

Die Geschichte der Mikrowellenaktivität im Amateurfunk lässt sich am besten in zeitliche Abschnitte einteilen und entspricht der in jener Zeit machbaren und finanziell tragbaren Technologie.

**1946 bis 1972: Breitband FM modulierte Systeme mit Klystrons**

**1972 bis 1982: Breitband FM modulierte Systeme mit Gunn Elemente und passiven Halbleitern**

**ab 1980: Schmalband (SSB/CW/FM modulierbare) Transverter Systeme unter Verwendung aktiver Halbleiterschaltungen (GaAs-Halbleiter, MMIC`s, etc.)**

Bei den Geräten der ersten beiden Generationen wurde die Endfrequenz direkt und freischwingend erzeugt. Als Modulation wurde „Wide Band“ FM Modulation (WBFM) mit sehr großen Frequenzhuben verwendet. Die Empfänger Eingangsstufe (front end) bestand üblicherweise aus einer Mikrowellen Germaniumdiode vom Typ 1N23(x). Die ZF Bandbreite des Empfangsteils war breitbandig um einerseits die großen Hübe zu verarbeiten und um andererseits den Problemen der Systembedingten Frequenzunstabilität einigermaßen entgegenzuwirken.

**Kennzeichnend für die beiden ersten Generationen waren folgende Leistungsmerkmale:**

- **Geringe Ausgangsleistung**
- **Geringe Empfängerempfindlichkeit**
- **Geringe Frequenzstabilität**
- **Hoher mechanischer und elektrischer Aufwand (Klystron)**
- **Komplizierte Handhabung im portablen Betrieb (Klystron)**

Anfang der 70er Jahre begann man weltweit auf dem 3cm Band mit GUNN Elemente zu experimentieren. Diese ersetzten sehr rasch das sperrige Klystron als HF Generator. Die Modulationsart WBFM und der um die ZF Frequenz versetzte Duplex Betrieb wurde weiterhin beibehalten. Diese Betriebsart wurde auch als „Durchblasemischer“ Verfahren bekannt. Zur Besonderheit dieser Betriebsart gehörte, dass ein Funkverkehr nur dann durchgeführt werden konnte wenn beide Stationen die gleiche Zwischenfrequenz (ZF) verwendeten, was nach anfänglichen Variationen (man verwendete auch UKW-FM Autoradios als ZF Module) letztendlich zur Normung der ZF-Frequenz von 30MHz führte.

Etwa 1975 kamen X-Band Radar Module (ursprünglich als Bewegungsmelder konzipiert) unter der Bezeichnung GUNNPLEXER, zu finanziell erschwinglichen Bedingungen auf den Markt. Die Hersteller waren: Microwave Associates mit dem Typ MA 87127 und AEI Semiconductors mit dem Typ DA-8525/DA-8001 (unter den Entwicklern waren sicher einige Amateure). Diese GUNNPLEXER wurden damals als Set, zusammen mit einer rechteckigen 17db Hornantenne, zum Stückpreis von ca. 50 Euro angeboten. Der Einsatz solcher GUNNPLEXER für den Bau von 3cm WBFM Amateurfunk Transceivern wurde in vielen Fachzeitschriften beschrieben und war für lange Zeit Stand der Amateurfunktechnik im 3cm Band. Geräte die GUNN Elemente verwendeten waren nachbausicher, handlich und zu wesentlich günstigeren Bedingungen herstellbar.

Die Geräte der dritten Generation bestehen aus Transverter Systeme und sind damit für Schmalbandbetrieb (CW/SSB/NBFM) wie auch für den Breitbandbetrieb (TV, Daten, etc.) gleichermaßen geeignet. Für den Schmalbandbetrieb wird üblicherweise ein 2m oder 70cm Allmode Portable Transceiver zur Aufbereitung der Modulationssignale bzw. als Empfänger-Nachsetzer verwendet.

Der Sende/Empfangs Nachsetzer dient somit nur als ZF Stufe (Basisband) für den eigentlichen Mikrowellen Sende-Empfangsmischer (Transverter) der auf der endgültigen Endfrequenz arbeitet. Die Modulation/Demodulationseigenschaften und die Selektivität werden durch den Nachsetzer bestimmt.

Die Aufgabe des Mikrowellen Transverter ist die lineare Umsetzung der ZF Signale auf die Endfrequenz (TX Pfad) und umgekehrt (RX Pfad) wobei die Ausgangsleistung und die Empfangsempfindlichkeit der gesamten Anlage nur von den HF Eigenschaften des Transverters selbst abhängig sind.

Die Transvertertechnik ist nicht neu und wird auch oft zur Erzeugung von VHF und UHF Frequenzen eingesetzt, als Nachsetzer dienen dabei Kurzwellen Sende-Empfangsgeräte (KW Transceivern). Grund dafür ist, dass einige KW Geräte mehr Features und bessere HF- Eigenschaften (z.B. bei ZF-Bandbreite /Selektivität/Oszillatorrauschen) aufweisen als so manches VHF/UHF Allmode Funkgerät.

Diese (Transverter) Konfiguration ist bei Kontest-Stationen und auch bei EME Operatoren sehr beliebt. Während Transverter schon früher für den Betrieb auf 70cm, 23cm oder 13cm eingesetzt wurden, musste man im Mikrowellenbereich auf die Entwicklung und die Verfügbarkeit von geeigneten und kostengünstigen Bauteilen warten. Transverter für Frequenzen von VHF bis zu 47 /76GHz, werden heute in Halbleitertechnik realisiert und üblicherweise mit 12VDC betrieben, was den Einsatz für den „portablen“ Betrieb wesentlich erleichtert.

### **Transvertersysteme haben folgende Eigenschaften:**

- **Hohe Ausgangsleistung durch aktive Endstufen (Ausgangsleistung frequenzabhängig)**
- **Geringe Empfangs-System Rauschzahl durch aktive rauscharme LNA's**
- **Hohe Frequenzstabilität durch Quarzsteuerung bzw. Einsatz von OCXO's**
- **Geringer mechanischer Aufwand**
- **Hervorragende Eignung für den portablen Betrieb**

Mit dem heutigen Stand der Transverter Technik ist es dem Funkamateur möglich, z.B. auf 3cm die gleichen Performance wie die eines üblichen KW/VHF/UHF Amateurfunkgerätes zu erreichen, bzw. dieses in einigen Parameter sogar zu übertreffen.

Günstig für die Entwicklung der Mikrowellen Amateurfunk Aktivität, erwies sich die (fast) weltweite Zuteilung des 3cm Frequenzbandes (X-Band) von 10,0 bis 10,5GHz. Damit wurde der Grundstock für eine genügend große kritische Masse an potentiellen Teilnehmern gelegt. (die für OE gültigen Frequenz Bandpläne findet man auf der Wiki Seite: [Was sind Mikrowellen?](#)) bzw. die regional gültigen Bandpläne, im „VHF Managers Handbook“ der IARU Region 1.

Glücklicherweise besitzt das 3cm Band eine relativ günstige Ausbreitungscharakteristik, da die Frequenzen im Bereich um die 10GHz durch Atmosphärische Dämpfungen weniger betroffen sind. Das X Band wird auch das Weltraumband genannt, die Funkfrequenzen die für die Radiokommunikation in den Weltraum zugeteilt sind, liegen bei 8GHz. Ein weiterer Treiber fand sich in der Verfügbarkeit von „Surplus“ Material, wie z.B. Hohlleiter, Klystrons, GUNN Module, Parabolantennen, etc., die aus Restbeständen der zivilen und militärischen Radaranwendungen im 9GHz Bereich gewonnen werden konnten und von den Funkamateuren für den Einsatz auf 10GHz „reanimiert“ wurden.

Halbleiter und Bauteile für den SHF Bereich sind in der Zwischenzeit für Amateure verfügbar und erschwinglich geworden. Grund dafür ist, der in den letzten 30 Jahren stark gewachsene Einsatz diverser Technologien für die drahtlose Kommunikation und dem daraus entstandenen „second hand“ Angebot an Industriellen Mikrowellen Komponenten (ebay, Flohmärkte, etc.) Mikrowellen Transverter werden heute auch bereits als Bausätze bzw. als fertige Module/Geräte angeboten. Darüber hinaus gibt es auf Flohmärkten immer wieder die Gelegenheit, günstige Komplettgeräte, Bausätze, Antennen oder auch nur geeignete Bauteile zu erwerben.

Ab etwa 1990 sind wir in der Lage Transverter Systeme für den oberen SHF bzw. den mm-Bereich (75 bis 250GHz) herzustellen. Dabei wird die Umsetzung des Sende bzw. Empfangssignals durch so genannte „Subharmonic Mischer“ bewerkstelligt, die nur aus einer passiven Mikrowellendiode bzw. einem Diodenpaar bestehen. Die mit solcher Anordnung erzielbare HF Ausgangsleistung beträgt allerdings nur einige hundert MicroWatt, die mit solcher Anordnung erzielbare Empfänger System Rauschzahl liegt bei 15 bis 20db. Diese vergleichsweise bescheidenen Leistungsmerkmale werden jedoch durch den auf diesen Frequenzen erzielbaren Antennengewinn teilweise wieder kompensiert. Um Leistungen im mW Bereich zu erzeugen werden auf diesen Frequenzen Varactor Dioden eingesetzt, was die Anwendung auf die Modulationsart CW (Morsecode) beschränkt, oder anders ausgedrückt, diese Betriebsart wieder zu neuem Leben erweckt. Alternativ ist bei Verwendung eines Varactor Vervielfachers auch NBFM (Narrow Band Frequency Modulation) möglich.

Mikrowellen haben den Vorteil dass der Empfang durch so gut wie keinen Störpegel (man made noise) beeinträchtigt wird und auf Grund der geringen räumlichen Abmessungen der Antennen die Aufstellung und der Betrieb, egal ob für portabel oder Feststationen, viel leichter zu bewerkstelligen ist, als auf KW oder UKW. Mikrowellenantennen weisen Antennengewinne auf, von denen man auf der (langen) Kurzwelle nur träumen kann. PLC (power line communications) und Sonnenflecken Abhängigkeit sind hier kein Thema.

Während das 3cm Band bei den Funkamateuren einen nachhaltigen und durchschlagenden Erfolg erreicht hat, hinkt die Anzahl der auf den mm Wellen experimentierenden Funkamateure etwas hinterher. Ein Grund mag sein, dass der Aufwand zur Herstellung und Betrieb von Transverter und Antennensysteme im oberen Mikrowellen (mm) Frequenzbereich noch immer als zu hoch eingeschätzt wird, was wir mit den Artikeln dieser Interessensgruppe entkräften möchten.

Ca. 90% der gesamten, den Funkamateuren überlassenen und zugewiesenen Frequenzbändern liegen im Mikrowellenfrequenzbereich. Dieses Potential sollte genutzt werden, ein Frequenzengpass wie auf den langwelligen Bändern ist hier vorerst nicht zu befürchten. Egal welche frequenzmäßige Beschränkung man sich auferlegt, für den experimentierfreudigen und technisch ambitionierten Funkamateure sind Mikrowellen das ideale Betätigungsfeld um Geräte und Einrichtungen noch selbst herzustellen und auszuprobieren.

Und, „last, but not least“ man braucht keinen PC. Zum Einstieg in die Mikrowelle empfiehlt sich das 3cm Band, hier findet man die größte Beteiligung und viel versprechende Ausbreitungsbedingungen, was absoluten Spaß und Erfolg garantiert.

• „the early days...“

Die Industrie hatte es schon lange mit den Mikrowellen. Radaranwendungen, Militärische Anwendungen, Richtfunkverbindungen und Raumfahrt waren die klassischen Treiber dieser Technologie. Bereits in den 30er Jahren war die SHF Technik industriell beherrschbar wenn auch die Auswahl an Bauteilen damals eine andere war. Die in den militärischen Anwendungen gewonnenen Erkenntnisse kamen den neuen zivilen Anwendungen zu gute und führten zur Entwicklung und Einsatz von modernen Bauteilen, Produkte, Anlagen und Anwendungen.

Im Gegensatz zur Industrie haben sich die Funkamateure im deutschsprachigen Raum nur sehr zögerlich der Mikrowellentechnik zugewandt. Grund war die damals (nicht ganz unberechtigte) Meinung dass die Herstellung von Anlagen und Geräte für den SHF Bereich, äußerst kompliziert und kostenintensiv sei. Eine weitere Begründung findet sich in der Annahme, dass die Reichweite von Funkverbindungen bei steigenden Frequenzen immer geringer werden würde (man verglich dabei die Kurzwelle mit dem 2m Band) und der Funkbetrieb auf Frequenzen oberhalb von 500MHz, keine nennenswerten Distanzen (DX) erlaubt.

Bei näherer mathematischer Betrachtung zeigte es sich allerdings, dass Funkverbindungen auch über größere Entfernungen unter „Line of Sight“ (LOS / optischer Sicht) Bedingungen selbst mit extrem kleiner HF Ausgangsleitungen und moderatem Antennengewinn möglich sind. In Folge wurde festgestellt dass, unter Tropo und Scatter Bedingungen Reichweiten, weit über den Optischen Horizont hinaus, erzielt werden können.

Die in der POLA-PLEXER bzw. in der GUNNPLEXER Zeit erzielten Weitenrekorde waren daher in erster Linie von den geographischen Gegebenheiten (Lage der Standorte) abhängig und da hatten in Europa die Alpenländer den Vorteil, über einige mehr als hundert(e) Kilometer lange hindernisfreie Funkfelder zu verfügen. Diese Umstände trieben die Mikrowellenfunkamateure in die Berge. Zur Planung solcher Funkverbindungen wurden wie auch in der kommerziellen Richtfunktechnik üblich, Geländeschnitte zwischen den gewählten Standorten angefertigt.

Diese Methode wird auch weiterhin zur Erzielung von Weitenrekorde im mm Bereich (ab 47GHz aufwärts) angewendet. Seit ca. 1990 wächst die Zahl an Stationen die vom Home QTH Schmalband Betrieb (CW, SSB, FM) auf den Mikrowellenbändern durchführen. Ein hindernisfreier Standort ist dabei von Vorteil, trotzdem wurden bereits Verbindungen über Regenscatter bzw. Tropobedingungen auch aus nicht optimalen Standorten getätigt.

Text von OE4WOG

[Das Reflexklystron](#)

[GUNN-Plexer](#)

[zurück zu Einleitung Mikrowelle](#)

## Einleitung Mikrowelle

Die folgenden schriftlichen Beiträge dieser Interessensgruppe befassen sich mit der Anwendung (Applikation) von Höchstfrequenztechnik (Mikrowellentechnik) im Rahmen des Amateurfunks.

Inhaltlich werden technische Grundlagen, Mikrowellengeräte, Antennentechnik, Funkausbreitungsbedingungen und betriebliche Belange behandelt.

Der Schwerpunkt der Beiträge und Artikel liegt in der Anwendung und dem Einsatz von Schmalbandbetriebsarten wie CW, SSB und NBFM. Beiträge zu Themen wie ATV-Richtfunk, Digitale Betriebsarten und Satellitenkommunikation im Mikrowellenbereich, sind willkommen.

Fragen, Anregungen betreffend Mikrowellen im Amateurfunk, Bitte per email unter der Angabe des Rufzeichens oder des Vornamens an [oe3wog@oevsv.at](mailto:oe3wog@oevsv.at) richten. Wir werden diese auf der Seite "Leser Forum" (wenn gewünscht), veröffentlichen und dienen als zusätzliche Information. Weiters ersuchen wir um Zusendung von Stationsbeschreibungen und Bilder die dann auf der Seite "Galerie" veröffentlicht werden. Um rege Beteiligung wird gebeten.

Mit diesem Interessensgruppen-Beitrag soll das Interesse der Funkamateure (und derer, die es noch werden wollen) auf die Verwendung von Frequenzbändern gelenkt werden, die in der breiten Welt des Amateurfunks nur geringfügig wahrgenommen werden. Dies mag vielleicht damit zu tun haben, dass der Mikrowellentechnik der Ruf anhaftet:

- a) technisch besonders herausfordernd zu sein und
- b) keine Fertiggeräte (wie z.B. bei Kurzwelle und UKW üblich) im Handel erhältlich sind.

Dieses scheinbare „Manko“ bietet uns Funkamateuren jedoch die Gelegenheit zum Experimentieren, Freude an der Herstellung und an der Erprobung von selbst gefertigten Anlagen und das (fast) ganz ohne den Einsatz von Software und Personal Computer. Die Beschaffung von passenden HF-Modulen, aktiven oder passiven Bauteilen, bzw. Antennen für den Mikrowellenbereich ist heutzutage kein Thema. Für das 3cm Band werden bereits Fertiggeräte (outdoor tauglich, für portablen bzw. stationären Betrieb) mit Ausgangsleitungen von 1 Watt, bzw. 10 Watt angeboten.

Durch die Anwendung hoher Stückzahlen von Mikrowellen Richtfunkgeräten im Zellularen Mobilfunk ist auch die Verfügbarkeit von Mikrowellen Surplus Material deutlich angestiegen, Ausschlachtteile, Module bzw. ganze Geräte sind auf Flohmärkte oder bei Internet-Auktionshäuser erhältlich.

Bei mäßigem Eigenbauanteil liegen die Anschaffungskosten für eine 3cm (10 GHz) Anlage (Transverter, Antenne, Stativ, Akku,) ohne Nachsetzer im Bereich der Kosten für ein digitales Handfunksprechgerät, können jedoch durch Steigerung des Eigenbauanteils noch deutlich reduziert werden.

Ein weiteres Anliegen dieser Seite(n) ist die jährliche Fortführung des OE Mikrowellenstammtisches (Microwave Round Table) in dem sich aktive und zukünftige „Microwaver“ zum Erfahrungsaustausch, Gerätevorstellung, etc. persönlich treffen können und auch Fachvorträge, HF-Messungen an Geräten und ein Flohmarkt abgehalten werden. In Folge würden wir diese „Events“ auch mit dem benachbarten Ausland koordinieren.

Als eine Österreichische Amateurfunk Internetseite macht es natürlich Sinn diese Seiten in deutscher Sprache zu editieren, damit erreichen wir auch den Großteil der Schweiz und natürlich DL. Unabhängig der Nationalität, laden wir Mirowellen-Amateurfunkfreunde aus dem Ausland herzlich ein diese Informationsplattform mit uns zu nutzen. Wir freuen uns über jedes Feedback“ bzw. über Kommentare.

Dear Ham,  
Dear Reader,

*This chapter is entirely devoted to “microwave amateur radio”. It covers technical papers, building projects, propagation, measurement techniques, etc. for microwave frequencies from 6cm up to the SHF mm-bands. The goal is to increase the number of microwave enthusiasts in OE and to provide state-of-the-art information on microwave amateur radio topics.*

*Most of the pages appear in german language, however due to the high amount of technical content it will be probably easy to cover the most parts of it.*

*We will establish an annual “microwave round table” to meet together and share our microwave experiences and to have some microwave measurement capabilities available to test homebrew equipment. In case of any interests or feedback on microwave issues, don't hesitate to contact me via email at: [oe3wog@oevsv.at](mailto:oe3wog@oevsv.at).*

Hope to meet you there, 73 de Wolfgang, [OE4WOG](#)

[Die Geschichte der Elektromagnetischen Wellen](#)

[Was sind Mikrowellen?](#)

[Die Entwicklung der Mikrowelle im Amateurfunk](#)

[Leser Forum](#)

[Galerie](#)

[Mikrowellen - Erstverbindungen](#)

Sammlung externer [Links](#) mit Infos über Amateurfunk auf Mikrowellenbändern

## Was sind Mikrowellen?

- **Was sind eigentlich Mikrowellen?**
- **Mikrowellen im Amateurfunk?**

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen die als Gleichung beschrieben werden können. Der Begriff "Mikro" leitet sich davon ab dass die Wellenlänge extrem kurz ist. Zum Vergleich: UKW Radio mit der Frequenz von 100 MHz entspricht einer Wellenlänge von 3 Meter. 300 MHz entsprechen einer Wellenlänge von 1 Meter. Diese Wellenlängen sind im Vergleich zur

Mikrowelle eher lang. Üblicherweise wird der Frequenzbereich beginnend ab 1000 MHz (1 Gigahertz /1 GHz) bis zu 300 GHz als Mikrowellenbereich bezeichnet. Das entspricht Wellenlängen von 30 cm bis hin zu 1 mm.

- **Typische Industrielle Anwendung von Mikrowellen:**

Richtfunkverbindungen  
Radar  
Satelliten Übertragungsstrecken  
WLAN  
Sensoren  
Medizin  
Radioastronomie  
Mikrowellenherd  
Strahlenwaffe



Richtfunkanlage

Eine präzise Zuordnung und Abgrenzung ist nicht zu 100% möglich, z.B. wurde Radar (Radio Aircraft Detection and Ranging) bereits im Kurzwellenband (russian woodpecker) bzw. auch im Frequenzbereich von 800 bis 900 MHz eingesetzt. Während die meisten Anwendungen in klassischer Weise hauptsächlich mit Nachrichtentechnik zu tun haben fällt z. B. der Mikrowellenherd eher nicht unter diese Kategorie. Auch Mobiltelefone die im Frequenzbereich von 1880 MHz (GSM) bzw. 2200 MHz (UMTS) arbeiten, sind auch nicht wirklich der Mikrowelle zuzuordnen.



## Radarantenne

Im Amateurfunk verwenden wir Mikrowellen ausschließlich zur Übermittlung von Sprache, Daten oder Bildern ohne kommerziellen Anspruch. Die Nutzung ist dabei ähnlich wie die auf UKW bzw. UHF. Der wesentliche Unterschied zwischen UKW/UHF und der Mikrowelle besteht in den unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen und in den mechanischen Abmessungen der aktiven Module, Geräte, Antennen und HF-Leitungen und im Wegfall der klassischen mobilen Anwendungen via Umsetzer oder Repeater.

- **Einteilung und Benennung der Frequenzbereiche:**

|             |         |             |       |
|-------------|---------|-------------|-------|
| 3 MHz bis   | 30 MHz  | HF Bereich  | (KW)  |
| 30 MHz bis  | 300 MHz | VHF Bereich | (UKW) |
| 300 MHz bis | 3 GHz   | UHF Bereich | (UHF) |
| 3 GHz bis   | 30 GHz  | SHF Bereich | (SHF) |
| 30 GHz bis  | 300 GHz | EHF Bereich | (EHF) |

über 300 GHz (Terahertz Bereich) beginnt der Infrarote Bereich mit dem Übergang zum sichtbaren Licht.(d.h. der Übergang von der Hertzschen Welle zur Infrarotstrahlung) In diesem Bereich wird die Frequenz nicht mehr in Hertz sondern als Wellenlänge in nano-Meter (nm) angegeben. Die Erzeugung solcher extrem kurzen Wellen erfolgt direkt durch eine Licht Quelle, z.B. einem Laser der auch gleich das Sendemodul darstellt und das Ausgangssignal direkt auf der gewünschten Wellenlänge erzeugt. Weiters verwendet man in diesem Bereich keine elektrisch erregten Antennen, sondern optische Systeme bzw. Linsen. Der eigentliche Mikrowellenbereich erstreckt sich daher auf den Frequenzbereich von 3 GHz bis 300 GHz.

- **Für den Amateurfunk stehen im Mikrowellenbereich folgende Frequenzbänder zur Verfügung:**

[Datei:erdefunkstelle](#)

[raisting 1.jpg](#)

Erdefunkstelle

|            |         |     |     |         |     |       |
|------------|---------|-----|-----|---------|-----|-------|
| 23 cm band | 1,240   | GHz | bis | 1,300   | GHz | (S)   |
| 13 cm band | 2,304   | GHz | bis | 2,310   | GHz | (S)   |
| 13 cm band | 2,320   | GHz | bis | 2,322   | GHz | (S)   |
| 13 cm band | 2,400   | GHz | bis | 2,450   | GHz | (S)   |
| 9 cm band  | 3,400   | GHz | bis | 3,410   | GHz | (S)   |
| 6 cm band  | 5,650   | GHz | bis | 5,850   | GHz | (S)   |
| 3 cm band  | 10,368  | GHz | bis | 10,370  | GHz | (S)   |
| 3 cm band  | 10,400  | GHz | bis | 10,450  | GHz | (S)   |
| 1,2cm band | 24,000  | GHz | bis | 24,050  | GHz | (P)   |
| 6 mm band  | 47,000  | GHz | bis | 47,200  | GHz | (Pex) |
| 4 mm band  | 76,000  | GHz | bis | 77,500  | GHz | (S)   |
| 4 mm band  | 77,500  | GHz | bis | 78,000  | GHz | (P)   |
| 2 mm band  | 122,250 | GHz | bis | 123,000 | GHz | (S)   |
| 2 mm band  | 134,000 | GHz | bis | 136,000 | GHz | (P)   |
| 1 mm band  | 241,000 | GHz | bis | 248,000 | GHz | (S)   |
| 1 mm band  | 248,000 | GHz | bis | 250,000 | GHz | (P)   |

Bem.: Von November 2008 bis Ende Dezember 2011 durften in Österreich Inhaber der Lizenzklasse 1, Aussendungen auf Frequenzen über 275GHz auf sekundärer Basis durchführen.

(S) dem Amateurfunk auf sekundärer Basis zugewiesen  
(P) dem Amateurfunk auf primärer Basis zugewiesen  
(Pex) dem Amateurfunk exklusiv zugewiesen

Die Mikrowellenbänder sind seit Jahren einer permanenten Begehrlichkeit ausgesetzt. Militär, Staat (Regulator), Industrie und auch Funkamateure sind ständig bemüht weitere Frequenzsegmente der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Frequenzressourcen zur alleinigen Nutzung zugeteilt zu bekommen. Noch nie war es für den Amateurfunk so wichtig die im Mikrowellenbereich zugeteilten Frequenzabschnitte zu (be)nutzen und abzusichern.

**„ Use it or lose it“ !!**

Text von OE4WOG

[Zurück zu Einleitung Mikrowelle](#)

[Die Entwicklung der Mikrowelle im Amateurfunk](#)

[Die Geschichte der Elektromagnetischen Wellen](#)

[Testseite](#)