

Die Schichten der Ionosphäre

Kurzwellenverbindungen im Bereich 1-30 MHz werden dort eingesetzt, wo große Entfernungen überbrückt werden müssen. Durch die Reflexion der Raumwelle zwischen Erde und der Ionosphäre sind weltweite Funkverbindungen durchführbar. Durch die Veränderungen der Oberflächenschichten der Ionosphäre ergeben sich große tageszeitliche Variationen der Ausbreitungen.

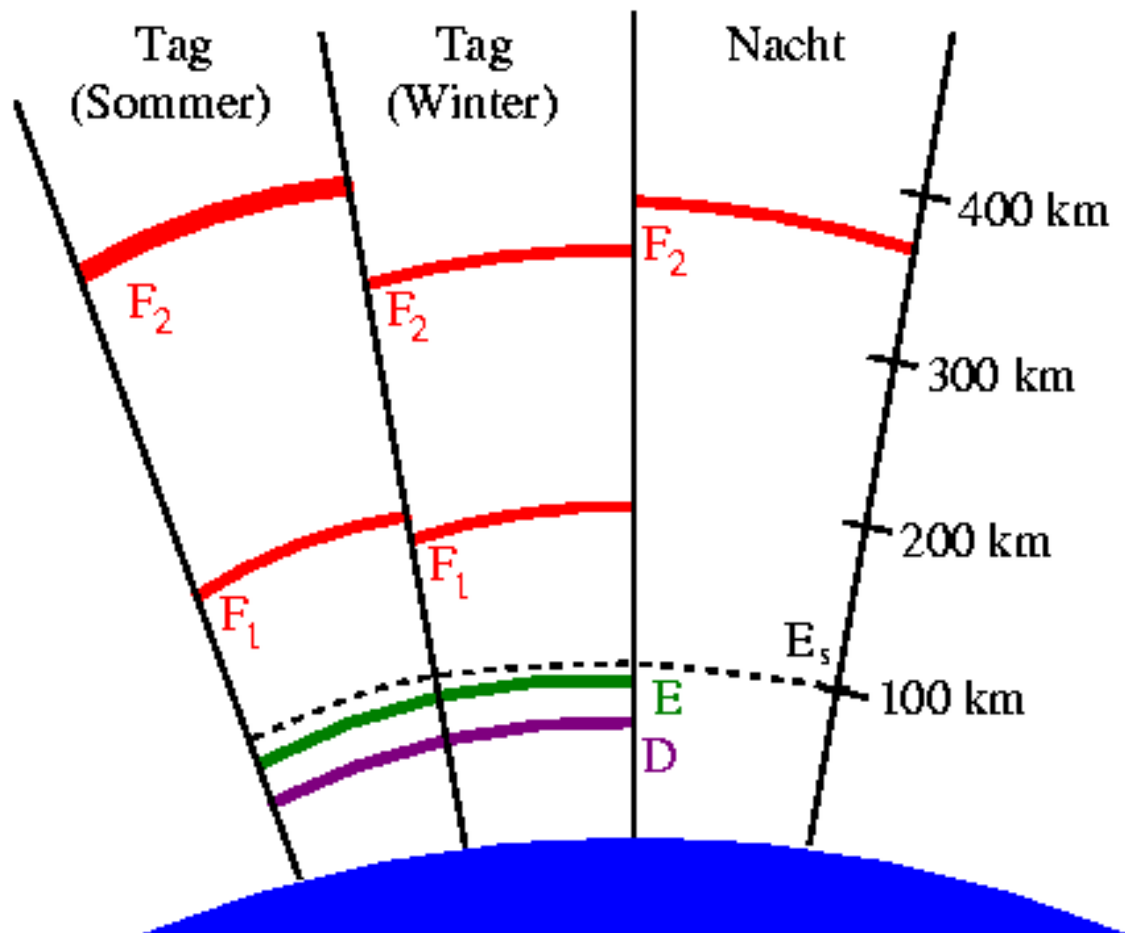


Bild 1: Schichten der Ionosphäre

Das Wetter (Höhe ca. 5km)

Durch die ultraviolette Strahlung der Sonne werden bei geringem Druck die Gase von O₂ und N₂ ionisiert, d.h. positive und negative Ladungsträger werden getrennt. Misst man die Ionisation der Atmosphäre, so stellt man fest, dass es schichtweise gewisse Maxima gibt. Diese Schichten werden wie folgt bezeichnet:

D - Schicht (Höhe 40 - 80 km)

Diese ist tagsüber bei starker Sonneneinstrahlung vorhanden, und reflektiert hauptsächlich Lang- und Längstwellen, kürzere Wellen werden gedämpft.

Ionosphäre und Ausbreitung der Funkwellen auf den Amateurfunkbändern

E - Schicht (Höhe 110 - 130 km)

Diese verschwindet in den späten Abendstunden und reflektiert hauptsächlich Mittel- und lange Kurzwellen bis ca. 5 MHz. Kürzere Wellen passieren diese Schicht.

Es - Sporadic Schicht (Höhe 100 -130 km)

Unter "Sporadic E" (Es) versteht man, dass sich in 100 - 130 km Höhe über dem Erdboden in der Nähe der E-Schicht der Ionosphäre örtlich eng begrenzte Zonen "Wolken" hoher Ionisation bilden, die auch Frequenzen um 50 MHz und bei besonders starker Ionisierung sogar bis über 200 MHz reflektieren. Hier ist keine Prognose möglich, diese Wolken entstehen zufällig, sporadisch. Es ergeben sich aber gute Überreichweiten Verbindungen. Im Bereich vom Äquator gibt es eine Abschirmung.

F - Schicht

Über der E-Schicht befindet sich die F-Schicht die sich im Sommer während der Tagesstunden in die **Schichten F1 und F2** aufspaltet. Geeignete Ionisation besteht bei der F1-Schicht in etwa 200km Höhe und bei der F2-Schicht in einer Höhe von etwa 200km bis 400km.

Die Ionisation steigt von Schicht zu Schicht an und erreicht in der F2-Schicht bei etwa 400km ein Maximum. Oberhalb dieser Schicht wird die Ionisation immer geringer und verschwindet schließlich ganz.

Das Entstehen der F2-Schicht kann nur sehr unvollkommen erklärt werden. Sie bildet ein breites Maximum der Elektronendichte mit rund 1 Million freier Elektronen pro cm^3 und ist von allen Schichten am stärksten ionisiert.

Über Reflexionen an der F2-Schicht kommen die meisten KW-Verbindungen zustande. Auf Grund der trägen Rekombination ist diese Schicht auch über die Nachtstunden in mehr oder weniger abgeschwächter Form vorhanden. Kurz vor Sonnenaufgang besteht ein Minimum der Elektronendichte – nach Sonnenaufgang steigt die Ionisation an und erreicht innerhalb von 1 bis 2 Stunden durchschnittlichen Tagespegel. Im Sommer liegt die F2-Schicht tagsüber bei etwa 400km Höhe – im Winter und während der Nachtstunden sinkt sie auf 250km bis 300km Höhe ab.

Die F1-Schicht bildet sich nur tagsüber in einer Höhe von etwa 200km bis 280km aus (im Sommer häufiger als im Winter). Von der Untergrenze der F2-Schicht ist sie durch ein etwa 50km breites Gebiet geringer Elektronenkonzentration getrennt. Diese Schicht enthält maximal 400000 freie Elektronen pro cm^3 .

Die F1-Schicht ist für die KW-Ausbreitung unerwünscht, da sie die Ausbreitung über die F2-Schicht durch Absorption behindert.

Die F1-Schicht kann nur im Zusammenhang mit der F2-Schicht entstehen – beide Schichten gehören deshalb zusammen und bilden einen Komplex, die F-Schicht.

Diese F2 - Schicht (Höhe 250 - 400 km) ist besonders wichtig für den DX - Verkehr (s.o.) und ist meist auch nachts noch vorhanden, das sehr geringer Druck und kleine Rekombination.

MUF, LUF und FOT

Für jede Funkverbindung zwischen zwei Punkten gibt es eine höchste und eine brauchbare Frequenz. Wellen höhere Frequenzen erreichen den Bestimmungsort nicht, da sie durch die Ionosphäre in den Weltraum austreten.

Ionosphäre und Ausbreitung der Funkwellen auf den Amateurfunkbändern

MUF = maximum usable frequency
LUF = lowest usable frequency
FOT = Fréquence optimale pur le trafic

Die Eigenschaften der Kurzwellenbänder und weiterer Amateurfunkbänder

Allgemein

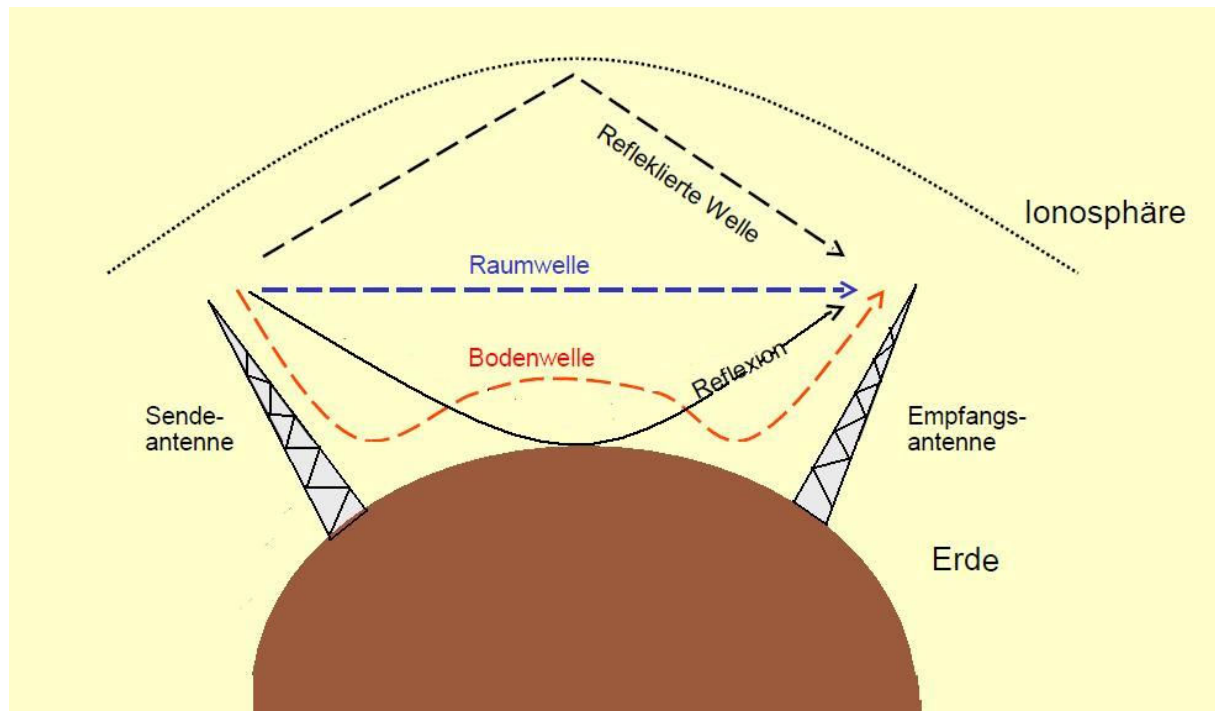


Bild 2: Die möglichen Ausbreitungsformen der Wellen

2200 m oder 136kHz

Zu jeder Zeit, sowohl bei Tag wie bei Nacht, können Amateurstationen mittels der Bodenwelle Distanzen bis zu 1000km überbrücken. Nachts können die Reichweiten mit Hilfe der Raumwelle bei guten Bedingungen 2000km oder mehr betragen. Mit sehr gut ausgerüsteten Stationen kann sogar der Atlantik überbrückt werden. Wegen den kleinen abgestrahlten Leistungen (Antennen sind sehr klein im Verhältnis zur Wellenlänge) sind die Signale in der Regel schwach.

600 m oder 500 kHz

Nachdem der Seefunkdienst den Betrieb auf dieser Frequenz eingestellt hat, sind Frequenzen um 500kHz in mehreren europäischen Ländern provisorisch für den Amateurfunkbetrieb freigegeben worden. Einige Amateurfunk-Baken können dort regelmässig beobachtet werden. Mit der Grundwelle können Amateurstationen 100 bis 300 km tagsüber zuverlässig überbrücken. Da die D-Schicht der Ionosphäre die 600m-Wellen stark absorbiert, ist Raumwellenausbreitung am Tag nicht möglich. Erst bei Dunkelheit lassen sich mit der Raumwelle Entfernungen von mehreren tausend Kilometern überbrücken.

160 m oder 1.8 MHz

Das Top-Band, wie es auch genannt wird, ist ein ausgesprochenes Nachtband. Tagsüber sind die Reichweiten mittels der Bodenwelle auf ca. 100km beschränkt. Nach Einbruch der Dunkelheit ist

Ionosphäre und Ausbreitung der Funkwellen auf den Amateurfunkbändern

Europaverkehr möglich und für gut ausgerüstete Stationen auch interkontinentaler Verkehr (DX). 160m kennt keine tote Zone, da die LUF meistens nicht unter 2MHz sinkt und eignet sich deshalb sehr gut für QSOs über größere Distanzen. In den Winternächten ist es oft das einzige Band in dem Verbindungen noch zuverlässig möglich sind. Im Sommer steigt jedoch, im Vergleich zu den kürzeren Bändern 80 oder 40m, der atmosphärische Störpegel sehr stark an.

80 m oder 3.5 MHz

Auch dieses Band ist ein Nachtband, obschon die Übergänge nicht so abrupt sind wie im 160m-Band. Größere Entfernungen (DX) können nur überbrückt werden, wenn zwischen Sender und Empfänger vollständige Dunkelheit herrscht (Absorption der D-Schicht). Wegen der längeren Dunkelheit und den geringeren atmosphärischen Störungen sind die Winternächte besser für DX geeignet. Wobei Verbindungen entlang der Dämmerungszone das beste DX versprechen (Grayline-DX). In Zeiten des Sonnenfleckenminimums und im Winter können tote Zonen auftreten, die eine Verbindung über kürzere Distanzen außerhalb der Bodenwelle verunmöglichen.

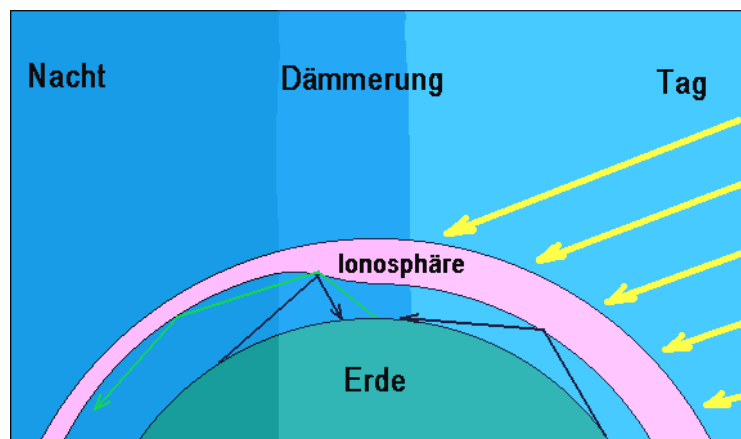


Bild 3: Schichten der Ionosphäre nach Tageszeit

60 m oder 5 MHz

Dieses Band ist in mehreren Ländern (z.B. USA, UK) provisorisch zugelassen. Dieses Band ermöglicht oft auch tagsüber – besonders im Winter – gute Raumwellenausbreitung innerhalb Europas. Nachts ist DX möglich und mit weniger Aufwand zu erreichen als im 80m-Band. Das 60m-Band ermöglicht Verbindungen über Distanzen von einigen 100km, wenn diese wegen der Dämpfung auf 80m und wegen der toten Zone auf 40m nicht mehr möglich sind.

40 m oder 7 MHz

Tagsüber ist Europaverkehr möglich, nachts DX. Die atmosphärischen Störungen sind wesentlich kleiner als im 80m-Band und behindern nur noch in seltenen Fällen den Funkverkehr. Besonders nachts treten aber tote Zonen auf, das heißt, Funkverkehr über kürzere Distanzen (einige 100km) außerhalb der Bodenwelle ist nicht mehr möglich. Während des Sonnenfleckenminimums treten auch tagsüber tote Zonen auf und verunmöglichen so einen Verkehr. DX bis zu den Antipoden ist auch mit kleinen Leistungen möglich.

30 m oder 10 MHz

Dieses Band ist ein Tag- und Nachtband und ermöglicht fast jederzeit DX-Verkehr in die eine oder andere Richtung. Wegen der geringen Breite von 50kHz sind nur CW und digitale Betriebsarten zugelassen.

Ionosphäre und Ausbreitung der Funkwellen auf den Amateurfunkbändern

Besonders im Sonnenfleckenminimum zeigt es seine guten DX-Eigenschaften, während es im Sonnenfleckenmaximum eher für mittlere Distanzen (Europa) geeignet ist.

20 m oder 14 MHz

Dieses Band ist ein ausgesprochenes DX-Band mit besonders guten Ausbreitungsbedingungen im Winter über Tageslichtstrecken, im Sommer über Nachtstrecken. Bevorzugt werden Verbindungen über Strecken auf denen Dämmerzustand herrscht. Der Radius reicht bis zu 1000 km und die Mittagsreichweiten sind durch die von der Sonneneinstrahlung verursachten Absorption der Wellen in der D-Schicht relativ klein. In Zeiten starker Sonnenfleckenaktivität ist es rund um die Uhr für DX offen, während des Sonnenfleckenminimums aber oft nur tagsüber. Die toten Zonen sind ausgeprägt, besonders nachts und europäische Stationen oft nicht zu hören.

17 m oder 18 MHz

Das 17m-Band übernimmt in den Jahren des Sonnenfleckenminimums die Rolle des 15m Bandes und ist dann oft das höchste Band, das für DX-Verkehr tagsüber noch offen ist. In Zeiten des Sonnenfleckenmaximums übernimmt es mehr die Eigenschaften des 20m-Bandes und DX ist fast zu jeder Tageszeit möglich.

15 m oder 21 MHz

Dieses Band ist auch ein ausgesprochenes DX-Band. Durch die hohe Grenzfrequenz ist fast nur Tagverkehr möglich. Die tote Zone ist auch wesentlich größer als im 20m Band. In den Jahren des Sonnenfleckenminimums sind die Ausbreitungsbedingungen ähnlich dem 10m Band, bei Sonnenfleckenmaxima gleicht es dem 20m Band. Im Sonnenfleckenminimum ist es praktisch tot. 15m ist ein ausgesprochenes Tagband und weist praktisch immer eine tote Zone auf.

12 m oder 24 MHz

Das 12m-Band ähnelt sehr stark dem 10m-Band. DX ist meistens nur in den Jahren starker Sonnenaktivität möglich. Vor allem in den Monaten Mai und Juni können aber über sporadisch auftretende E-Schichten Distanzen bis zu ca. 2000km überbrückt werden. Dabei ist die Dämpfung gering, die Signale sind entsprechend stark.

10 m oder 28 MHz

In den Jahren des Sonnenfleckenmaximums ist dies ein ausgesprochenes DX-Band, hauptsächlich über Tageslichtstrecken. Bei guten Bedingungen genügen minimale Leistungen für den DX-Verkehr. Auch auf diesem Band können besonders im Frühsommer Verbindungen über die sporadische E-Schicht getätigt werden.

6 m oder 50 MHz

Das 6m-Band wird auch Magic-Band genannt. Technisch zwar dem VHF-Bereich (30-300 MHz) zugeordnet, bietet es ab und zu auch Kurzwelleneigenschaften. Insbesondere die Ausbreitung über sporadische E-Schichten über Distanzen bis zu ca. 2000km. In den Jahren des Sonnenfleckenmaximums kann die MUF sogar soweit steigen, dass weltweiter Funkverkehr möglich ist. Zudem ist das Band von allen Amateurfunkbändern am besten geeignet für Meteorscatterverbindungen. Auch Aurora- und Tropoverbindungen gehören zu den gängigen Ausbreitungsarten auf diesem Band. Die Reichweite der Bodenwelle ist zwar gering, doch die 6m-Wellen sind wegen besseren Beugungseigenschaften den 2m-Wellen in hügeligem Gelände überlegen. Allerdings sind die Reflexionen an Bergen, Hügeln und Gebäuden weniger ausgeprägt als auf 2m.

Ionosphäre und Ausbreitung der Funkwellen auf den Amateurfunkbändern

4 m oder 70 MHz

Dieses Band ist in einigen europäischen Ländern zugelassen. Ausbreitung über die sporadische E-Schicht ist hier seltener anzutreffen als auf 6m. Das Band hat mehr VHF-Charakter und ähnelt in Vielem dem 2m-Band.

2 m oder 145 MHz

Das klassische UKW-Band. Die Wellen breiten sich im Prinzip wie Licht geradlinig aus und werden kaum gebeugt. Das hat zur Folge, dass zur Überbrückung größerer Distanzen ein erhöhter Standort wichtig ist. Zudem werden die Wellen an den Bergen reflektiert und gebrochen, was die Reichweiten erheblich erhöht. Können in hügeligem Terrain nur wenige km überbrückt werden, erhöhen Reflexionen und Brechungen an Bergen die Distanzen auf 100km und mehr. Daneben kommt es oft zu atmosphärischen Überreichweiten. Grenzschichten zwischen Luftmassen unterschiedlicher Temperatur und Feuchte wirken – ähnlich der Ionosphäre auf Kurzwelle – wie eine Reflexionsschicht. Manchmal werden so Wellen zwischen zwei Schichten eingefangen und über Distanzen von über 1000km transportiert, bevor sie wieder austreten (Ducting). Auf 2m spielen auch Reflexionen an Meteoriten (Meteorscatter) und Nordlichtern (Aurora) eine Rolle. Das Band wird zudem benutzt um Verbindungen mit Reflexionen an der Mondoberfläche (EME) zu tätigen. Das 2m-Band ist neben 70cm ein Hauptträger des lokalen FM-Sprechfunkverkehrs und es existieren entsprechend viele Relaisstationen.

70 cm oder 432 MHz

70cm gehört technisch zum UHF-Bereich (300-3000MHz). Die Reichweite der Bodenwelle ist geringer als auf 2m, die Reflexionen an Bergen, Gebäuden usw. jedoch oft besser. Auch hier kommt es zu atmosphärischen Überreichweiten und zu Ducting. Aurora und Meteorscatter sind selten und spielen nur noch eine geringe Rolle. 70cm ist ebenfalls ein beliebtes EME-Band. Wie bereits 2m, ist das 70cm-Band wichtig für den lokalen FM-Sprechfunk und den Datenfunkverkehr, der hier meistens über Relaisstationen abgewickelt wird.

23 cm oder 1.2 GHz

23cm ist ein Mikrowellenband (>1GHz). Die Bodenwellenreichweiten sind noch einmal geringer als auf 70cm, Reflexionen jedoch sehr ausgeprägt. Aurora und Meteorscatter kommen nicht mehr vor, doch atmosphärische Überreichweiten oft, ebenfalls mit Ducting. Um hohe Reichweiten zu erzielen, muss ein hoher Antennenaufwand betrieben werden (stark bündelnde Richtantennen). Verbindungen kommen außerhalb von Contesten praktisch nur auf Verabredung zustande. Typische ODX bei Contesten ca. 750km (üblicherweise maximale Distanzen von exponierten Standorten). 23cm ist ebenfalls ein wichtiges EME-Band.

13 cm oder 2.4 GHz

Die Welt der Mikrowellenöfen und WLANs. Ähnliche Ausbreitung wie im 23cm-Band, doch für vergleichbare Verbindungsqualität müssen nochmals stärker bündelnde Antennen eingesetzt werden. Wenn atmosphärische Überreichweiten auf 70cm und 23 cm festgestellt werden, sind sie oft auch auf 13cm anzutreffen. Typische ODX bei Contesten etwa 600km.

9 cm oder 3.4 GHz

Dieses Mikrowellenband ist in einigen europäischen Ländern freigegeben. Die Ausbreitungseigenschaften sind ähnlich wie auf dem 13cm-Band.

Ionosphäre und Ausbreitung der Funkwellen auf den Amateurfunkbändern

6 cm oder 5.7 GHz

Wenig benutztes Band, daher ist auch wenig über die Ausbreitungsbedingungen bekannt. Zu atmosphärischen Überreichweiten durch Ducting kommt im 6cm eine neue Betriebsart hinzu: Rainscatter, Reflexionen an Regenfronten. Durch die Regentropfen werden die Signale gestreut und sind so über weite Strecken zu empfangen (Prinzip Wetterradar).

3 cm oder 10 GHz

Rainscatter ist hier noch ausgeprägter und gehört zu den wichtigsten Betriebsarten in diesem Band. Das 3cm Band ist das beliebteste Mikrowellenband neben 23cm. Allerdings beginnt sich hier bereits die Absorption (Dämpfung) durch die Atmosphäre bemerkbar zu machen. Ducting durch Inversionsschichten in der Atmosphäre führt bei speziellen Wetterlagen auch in diesem Band zu Überreichweiten. Auch ist 3cm noch für EME gut zu gebrauchen. Contestdistanzen etwa 500km. Europarekord 1400km.

1.2 cm oder 24 GHz

Auf diesem Band ist die Absorption durch den Wasserdampf in der Atmosphäre bereits sehr hoch (ca. 0.2dB pro km). Daher betragen die typisch erreichbaren Distanzen weniger als die Hälfte der Reichweiten auf 3cm. Auch auf diesem Band kann noch Rainscatter gemacht werden

Millimeterwellen 47GHz, 76 GHz und höher

Sehr hohe Absorption durch die Atmosphäre, besonders bei hoher Feuchte. Deshalb sind die Reichweiten auch bei theoretischer Sichtverbindung normalerweise auf einige 10km beschränkt. Trotzdem beträgt der Weltrekord auf 47 GHz 343km, auf 76 GHz 175km, auf 134 GHz 114km und auf 241GHz 61.8km.

[Quellen: Wikipedia und Mix aus div. Amateurfunkpublikationen deren Ursprung im Einzelnen nicht mehr recherchiert werden konnte, ein wesentlicher Beitrag stammt von einem Funkamateurl aus HB9]

Irrtum vorbehalten