

Entstehung der Ionosphäre

Die Ionisation (Erzeugung elektrisch geladener Teilchen) der Gasmoleküle in der Ionosphäre erfolgt durch elektrisch geladene Elementarteilchen, die als Sonnenwind auf die Atmosphäre der Erde treffen.

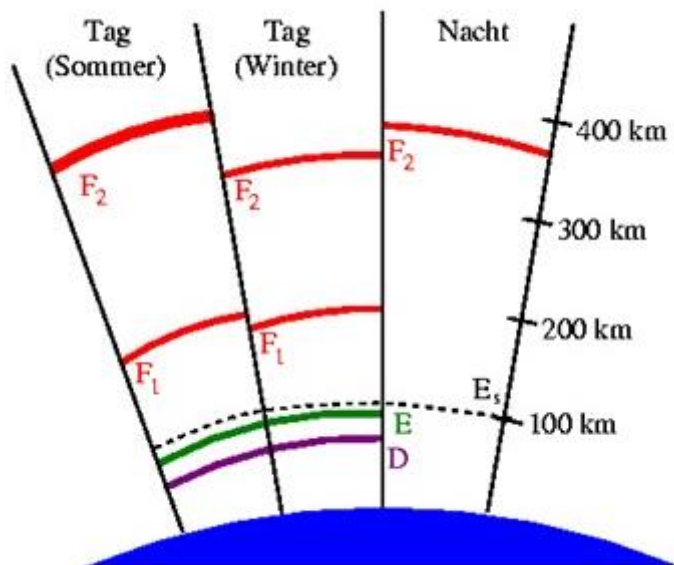
Die Reflexion von Kurzwellen an der elektrisch leitfähigen Ionosphäre ist verlustarm, funktioniert aber nur bis zu einer **einfallswinkelabhängigen Grenzfrequenz (Maximum Usable Frequency = MUF)**.

Der Grad der Ionisation hängt primär von der solaren Strahlungs-Intensität ab, aber auch von den Rekombinations- und Anlagerungsprozessen. Folglich gibt es eine diurnale (tägliche), eine saisonale (jahreszeitliche) und eine geographische (örtliche) Abhängigkeit.

Eine wichtige Rolle spielt auch die Sonnenaktivität im elfjährigen Sonnenfleckenzyklus, gelegentlich auch Ereignisse wie Sonnenstürme.

Die Ionosphäre entsteht durch Absorption ionisierender solarer Strahlung, vor allem durch energiereiche elektromagnetische Wellen (Ultraviolett- und Röntgenstrahlung) aber auch durch Teilchenstrahlung (Korpuskularstrahlung) hauptsächlich Elektronen und Protonen. Jedoch leisten die kosmische Hintergrundstrahlung und Meteoritenströme, die pausenlos in der Erdatmosphäre verglühn, ebenfalls einen gewissen Beitrag zur Ionisation. Durch die solare Strahlung werden Valenzelektronen von den Atomen gelöst: Es entstehen positive Ionen und freie Elektronen und somit ein elektrisch leitender Bereich der Atmosphäre

Innerhalb der Ionosphäre existieren drei lokale Ionisationsmaxima, weswegen sie in drei Bereiche unterteilt wird: die **D-**, die **E-** und die **F-Schicht**.



Reflexion durch die normale F2-Schicht.

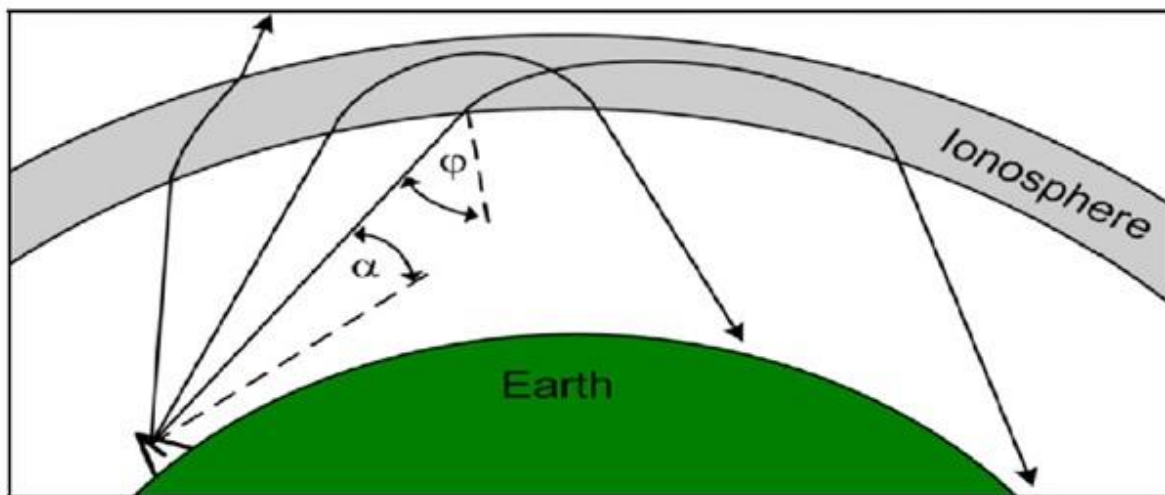
Die Grenze von 30 MHz=10m des UKW-Bereichs ist deshalb gewählt worden, weil 30 MHz normalerweise die Grenzfrequenz bedeutet, bei der es noch zur ionosphärischen Reflexion kommt.

Dies ist jedoch nur eine Art Mittelwert, und bei starker Ionisierung, besonders in Jahren maximaler Sonnentätigkeit, kann es im Meterwellenbereich noch oft zu normalen Reflexionen durch F2-Schicht kommen.

Die hohen Frequenzen der Meterwellen dringen viel tiefer in die ionisierte Schicht ein als die normalen Kurzwellen, sie erreichen meist, die Höhe der maximalen Ionisation der F2-Schicht.

Die Entfernung die die Meterwellen mit einem Sprung zu überbrücken vermögen und die wie bei den Kurzwellen durch die Krümmung der Erdkugel begrenzt ist, liegt daher eher bei etwa 4000 km als bei den 3500 km, die bei längeren Kurzwellen üblich sind.

Für Frequenzen von 3 MHz bis 30 MHz („Kurzwelle“) wirkt die Ionosphäre wie ein großer Reflektor. Höhere Frequenzen durchdringen die Ionosphäre (z.B.im GHz-Bereich), tiefere Frequenzen werden durch die D- und E-Schicht so gedämpft, dass sie nur zeitweise (überwiegend nachts) reflektiert werden.



Reflexion an der Ionosphärenschicht, Erhebungswinkel α , Einfallswinkel φ

Ein senkrecht auf die Reflexionsschicht der Ionosphäre einfallender Strahl kann nur bis zu einer bestimmten oberen Frequenz, der sogenannten kritischen Frequenz, F_{crit} reflektiert werden. Weist die senkrecht eintretende Welle ein höhere Frequenz auf, so wird diese nicht mehr reflektiert sondern durchdringt die Ionosphäre und geht damit ungenutzt in den freien Raum.

Für Strahlung, die nicht senkrecht sondern unter einem flacheren Winkel in die Ionosphäre eintritt, ist eine Reflexion auch oberhalb der Grenzfrequenz möglich. Die gerade noch reflektierte Frequenz ist umso höher, je flacher das Signal auf die Ionosphäre trifft. Dieser Zusammenhang wird durch das so genannte Sekansgesetz für die MUF beschrieben.

Sekansgesetz $MUF = F_{crit} \cdot \sec \varphi$, $\sec \varphi = 1/\sin \varphi$

Die MUF (maximum usable frequency) ist deutlich größer als die kritische Frequenz foF2, weil bei schrägem Einfall schon eine geringere Richtungsänderung zur Totalreflexion ausreicht.

MUF

Die Maximum Usable Frequency (MUF) ist die höchste für eine Kurzwellen-Funkverbindung zwischen zwei Orten verwendbare Frequenz.

Die MUF ist die höchste Frequenz, bei der eine Reflexion an der Ionosphäre möglich ist.

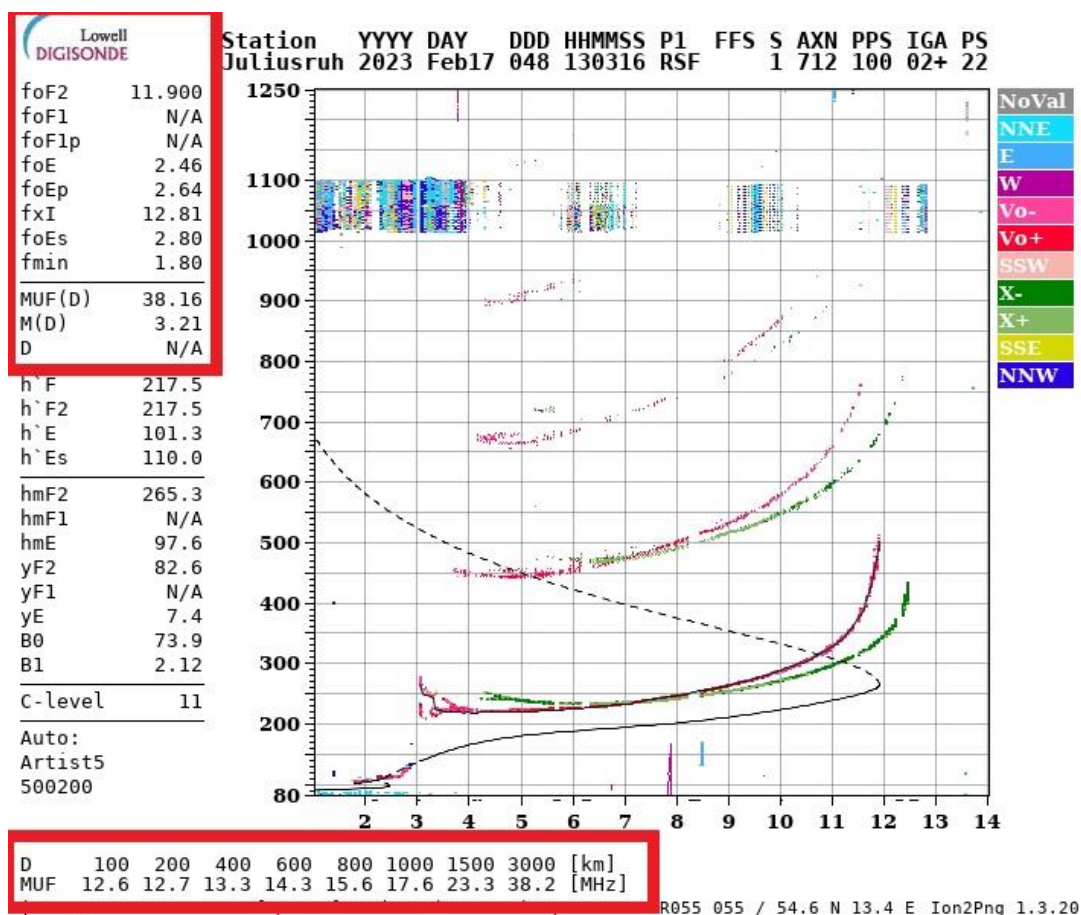
Die MUF ändert sich in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit. Weiterhin hat die Sonnenaktivität und der Sonnenfleckenzyklus einen starken Einfluss auf die MUF.

Ionosonden

Eine Ionosonde ist eine Radar-Anlage zur aktiven Untersuchung der Ionosphäre. Ionosonden überwachen die Höhe und die kritische Frequenz der Ionosphärenschichten. Dazu senden sie Kurzwellen-Radarpulse verschiedener Frequenzen gegen die Ionosphäre und messen hauptsächlich die Laufzeit des empfangenen Echos, aus der die Höhe der Reflexion bestimmt werden kann.

Beim Überschreiten der kritischen Frequenz ist die Ionosphäre nicht mehr in der Lage, das Signal zu reflektieren.

Mit den Sonden können Aufzeichnungen der Signallaufzeit beziehungsweise daraus berechneten Reflexionshöhe über der Frequenz erstellt werden, die sogenannten Ionogramme.



foF2 - kritische Frequenz der F2-Schicht (ordentlichen Komponente, Vertikal)

foF1 - kritische Frequenz der F1-Schicht

foF1p - Prognostizierte kritische Frequenz der F1-Schicht

foE - kritische Frequenz der E-Schicht

foEp - Prognostizierte kritische Frequenz der E-Schicht

fxI - Höchste Frequenz von Spread-F-Echos

foEs - kritische Frequenz der Es-Schicht

fmin - Niedrigste Frequenz, bei der im Ionogramm Echos beobachtet werden

MUF(D) - Höchste Übertragungsfrequenz für eine Entfernung D, wobei die Ionosondenposition den Mittelpunkt der Übertragungsstrecke markiert

M(D) - Übertragungsfaktor (M-Faktor) für eine Distanz D; Quotient aus MUF(D) und foF2

D - Bezugsentfernung; wenn nichts angegeben wird gelten 3000km

Ionogramm – MUF-Tabelle (Tabelle am unteren Rand des Ionogramms)

Umrechnung der Übertragungsfrequenz auf Entfernungen in km.

D - Bezugsentfernung

MUF - Höchste Übertragungsfrequenz für eine Entfernung D, wobei die Ionosondenposition den Mittelpunkt der Übertragungstrecke markiert