

HF-Ausbreitungsarten

Stand : 20.05.2004

Allgemein

Elektromagnetische Wellen können sich auf drei Arten ausbreiten :
 Bodenwelle
 Tropshärenwelle
 Raumwelle

Bodenwelle Die Bodenwelle ist der Ausbreitungsanteil der durch den Erdboden beeinflusst wird. Sie folgt der Erdkrümmung und unterliegt dem absorbierenden Einfluß des Erdbodens (Erwärmung). Die Ionosphäre spielt dabei keinerlei Rolle.

Die Absorption vergrößert sich mit steigender Frequenz. Sehr niedere Frequenzen (LF) haben deshalb eine große Bodenwellenreichweite. Die Bodenwelle besteht aus drei Teilen:

Oberflächenwelle

Die el. Leitfähigkeit des Erdbodens und die Struktur der Oberfläche (Bebauung, Bewuchs, usw.) beeinflusst die Reichweite, welche direkt von der Strahlungsleistung abhängig ist.

Direktwelle

Der direkte Strahlungsanteil zwischen Sender und Empfänger wird Direktwelle oder auch Sichtwelle genannt.

Erdreflexionswelle

Das ist der Wellenanteil, welcher auf die Erde auftrifft und von ihr wieder reflektiert wird.

Polarisation

| | | | | | |
|------------|------------------|-------------------|---|---|-------|
| Dämpfung | horizontal | D = Er | = | Er = Dielektrizitätskonstante des Bodens od. Wassers | |
| | vertikal | D = 1 / Er | | | |
| bei Er = 4 | horizontale Pol. | D = 4 | = | 16 | Teile |
| | vetikale Pol. | D = 0,25 | = | 1 | Teile |

Eine horizontal polarisierte Welle wird um Größenordnungen stärker bedämpft als eine vertikal polarisierte Welle. Das ist der Grund, warum Lang- und Mittelwellen-Rundfunksender mit vertikalen Sendemasten als Antennen arbeiten und ein umfangreiches Radialernetz aufweisen.

Reichweite

Ausbreitungsarten

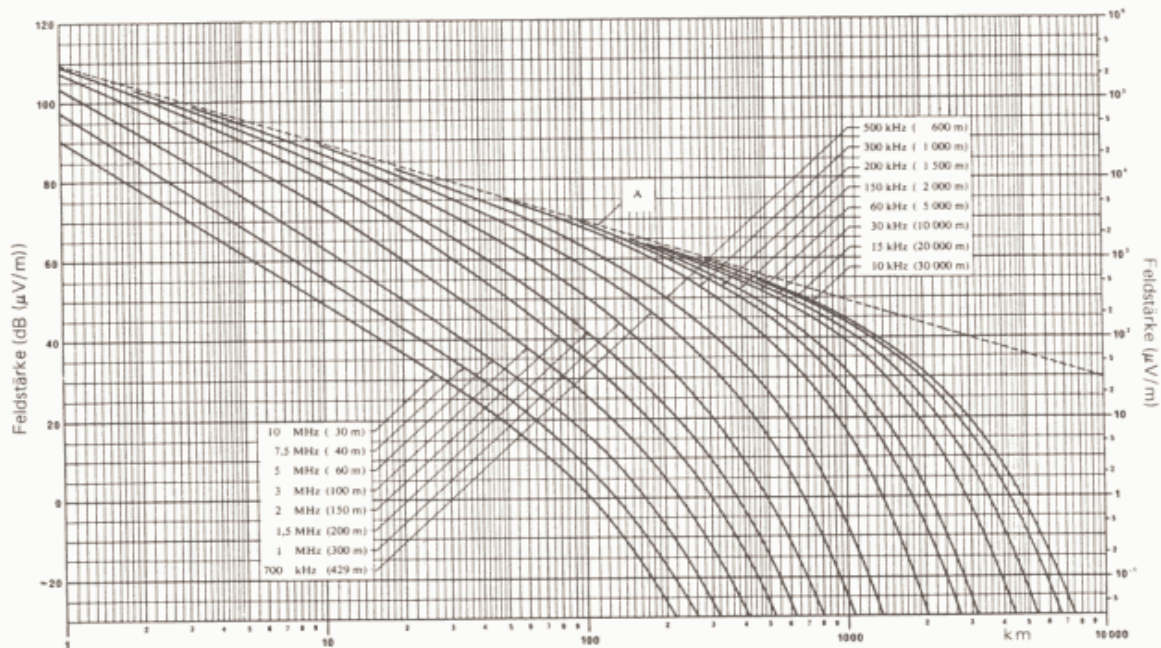


Bild 5.4: Bodenwellen-Feldstärke für Boden mittlerer Leitfähigkeit [5.4];
 $\underline{\sigma} = 10^{-2} \text{ s/m}$; $\underline{\epsilon}_r = 4$; A : reziproke Entfernung

Beispiel mit gleicher Ausgangsleistung auf allen Frequenzen bei vertikaler Polarisation :
 Feldstärke am Empfangsort soll 100 uV/m bzw. 40 dB uV/m sein.

QRG

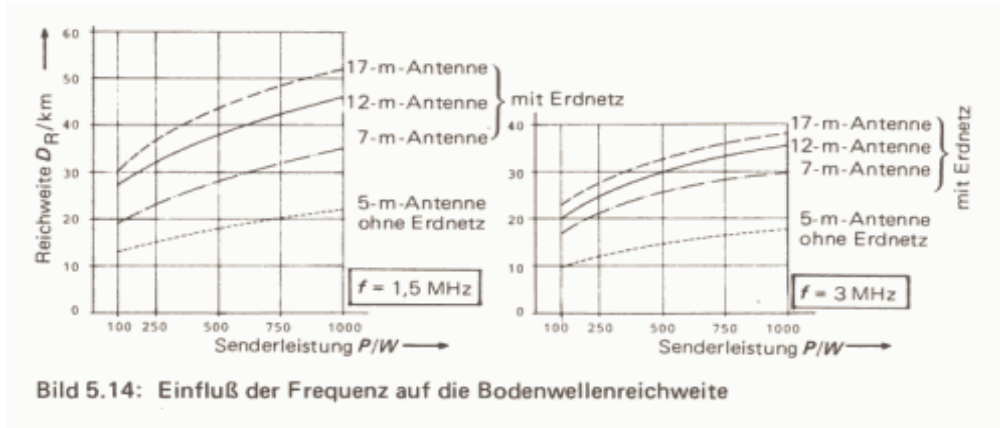
| | | |
|------------|---------|---------|
| VLF 30 kHz | 10 km = | 1100 km |
| LF 150 kHz | 2 km = | 400 km |
| MF 500 kHz | 600 m = | 320 km |
| MF 1,5 MHz | 200 m = | 110 km |
| HF 3 MHz | 100 m = | 55 km |
| HF 7,5 MHz | 40 m = | 22 km |
| HF 10 MHz | 30 m = | 16 km |

Reichweite

Die Feldstärke sinkt schnell mit steigender Frequenz und damit die Reichweite der Bodenwelle.

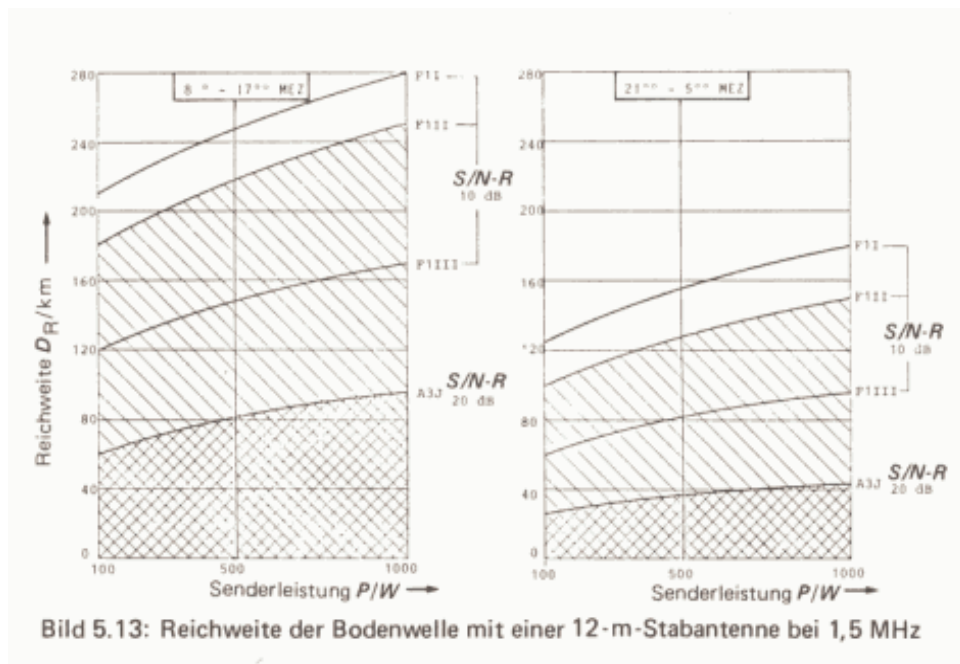
Bei mittlerer Bodenleitfähigkeit (Ackerboden) verringert sich die Bodenwellenreichweite bei 100 Watt und $\lambda/4$ -vertikalem, resonantem GP-Strahler mit Radialnetz von etwa 50 km im 80-m-Band auf ca. 8 km im 10-m-Band.

Ausbreitungsarten



Eine 12-m-GP-Antenne mit Erdnetz und 500 Watt Einspeiseleistung in den Strahler bringt Entfernungen von 38 km bei 1,5 MHz und 30 km bei 3 MHz. Wird die Leistung auf 100 Watt gesenkt sind nur noch 28 km bei 1,5 MHz und 20 km bei 3 MHz erreichbar. 5-fache Leistung bei 80 m bringt also nur etwa 50 % mehr Reichweitenvergrößerung von 20 km auf 30 km in bei dem gewählten 12-m-Strahler durch die Bodenwelle ein.

Sofern Bodenwellenreichweiten angestrebt werden, muss also die QRG nieder sein und unbedingt eine vertikale Polarisierung gewählt werden.



In der **Nacht** besteht ein erheblich höherer QRM-Pegel und damit fällt die Reichweite bei höherem Signal-Rausch-Abstand um den Faktor 2 niedriger aus.
 $S/N = 20 \text{ dB} = A3j$; $S/N = 10 \text{ dB} = F1 \text{ bis } F3$

Bei 12 m Strahlerlänge der GP und 1,5 MHz ist die Reichweite bei 500 Watt am Tage ca. 80 km und in der Nacht etwa 40 km bei 20 dB Signal-Rausch-Abstand und SSB.

Troposphärenwelle

Im Kurzwellenbereich tritt die Troposphärenwelle nicht auf. Anders ist dies bei den höheren Frequenzen (VHF, UHF und SHF). Dort können durchaus größere Entfernungen durch Beugung, Brechung und Streuung in der Troposphäre (bis zu 11 km Höhe) auftreten. Ein Betätigungsfeld ähnlich der Polarlicht-Rückstreuung (Aurora) für die nicht KW-Amateure.

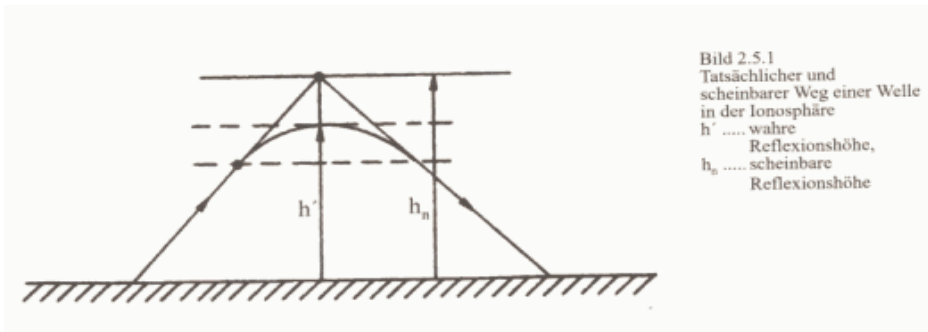
Das wäre dann eine weitere Vortragsveranstaltung !!! Hi hi

Raumwelle

Für die Kurzwellenausbreitung ist die Raumwelle die wichtigste Welle. Die Raumwelle wird in der Ionosphäre reflektiert. Eigentlich ist es keine echte Reflexion (Spiegelung), denn die Wellen werden nicht sehr abrupt, sondern allmählich der sich stetig verändernden Ionisation und damit verbundenen Leitfähigkeit und Dichte folgend, bogenartig umgelenkt. Richtigerweise ist es eine

Refraktion

Refraktion (Beugung). Das Bild zeigt den tatsächlichen und scheinbaren Weg einer Welle in der Ionosphäre.

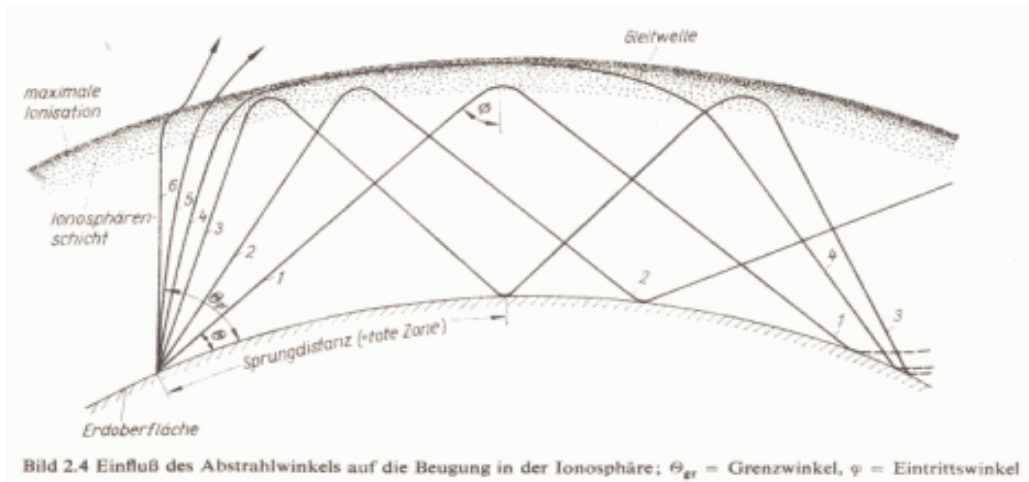


Diese Beugung erklärt sich wie folgt :

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenfront in der Ionosphäre (Phasengeschwindigkeit) ist etwas größer als in der Troposphäre und hängt von der Elektronendichte und der Frequenz ab. Eine Vergrößerung der Elektronendichte bei gegebener Frequenz erhöht die Phasengeschwindigkeit. (besserer Leiter). Tritt nun die Wellenfront schräg in die Ionosphäre ein, dann überholen die höherliegenden, schnelleren" Teile der Front die darunterliegenden Teile. Als Folge dieser unterschiedlichen Phasengeschwindigkeit wird die Wellenfront abgelenkt und kann bei ausreichend großer Elektronendichte zur Erde hin gebrochen werden. Wird ein Stab schräg in ruhiges klares Wasser gehalten wird die optische Beugung des Stabes sichtbar.

Ausbreitungsarten

Damit die Beugung der Kurzwelle stattfindet muss die Elektronendichte um so stärker sein, je höher die Betriebsfrequenz ist. Die Raumwelle wird umso leichter in Richtung Erde gebrochen je kleiner der vertikale Abstrahlwinkel der Antenne ist, d.h. je flacher die Welle in die Ionosphärenschicht (E bis F) eintritt.



Bei der Welle 2 ist der Abstrahlwinkel größer als bei Welle 1 und sie dringt auch tiefer in die brechende Schicht ein. Die Sprungdistanz ist erheblich geringer. Die Dicke der Schicht ist dabei nicht unerheblich bis die Beugung erfolgt.

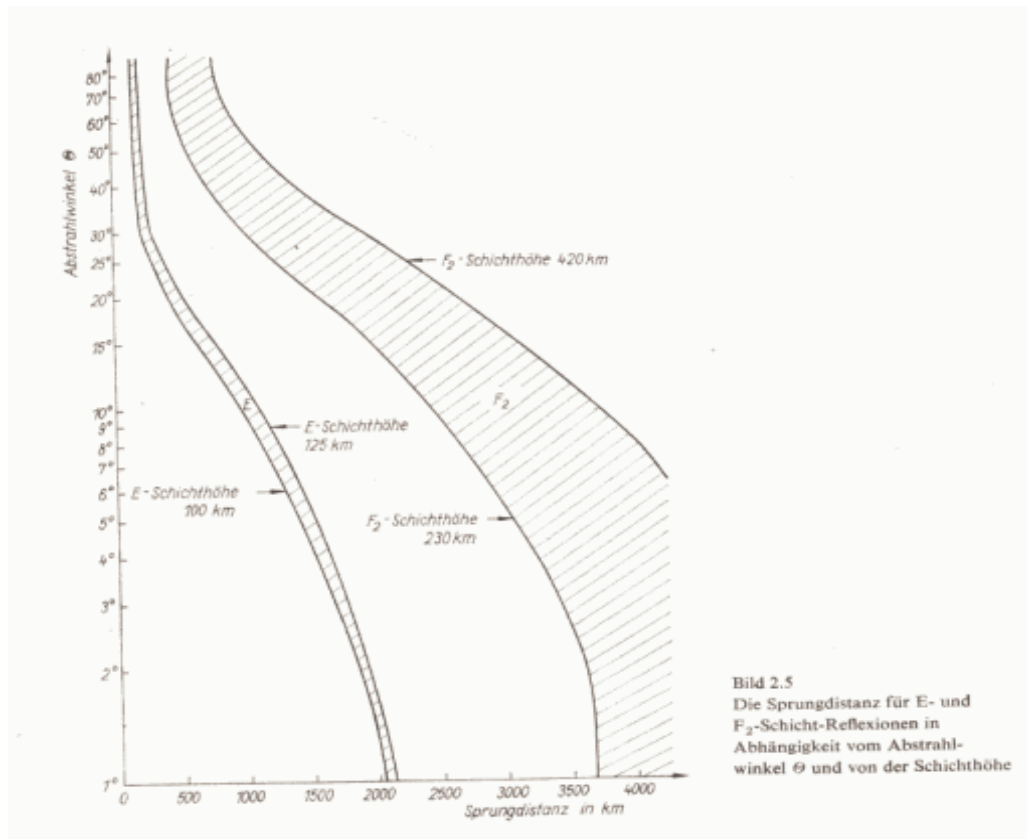
Sprungdistanz

Klar wird hier, dass die *Sprungdistanz* umso größer wird je höher die brechende Schicht liegt und je flacher die Antenne abstrahlt.

Wenn an der F2-Schicht gebrochen wird, beträgt die *maximale Sprungdistanz zur Tageszeit* etwas über 4 000 km, bei der E-Schicht im Höchstfall etwa 2 000 km.

Unschwer erkennbar ist wie wichtig ein möglichst *kleiner Erhebungswinkel* der Antenne im Sende- und Empfangsfall ist. Der Mechanismus der Mehrfachsprünge ist sehr komplex, da sich die Ionisationsstärke von Ort zu Ort ändert und das Springen sich auch zwischen F-Schicht und E-Schicht zutragen kann.

Ausbreitungsarten

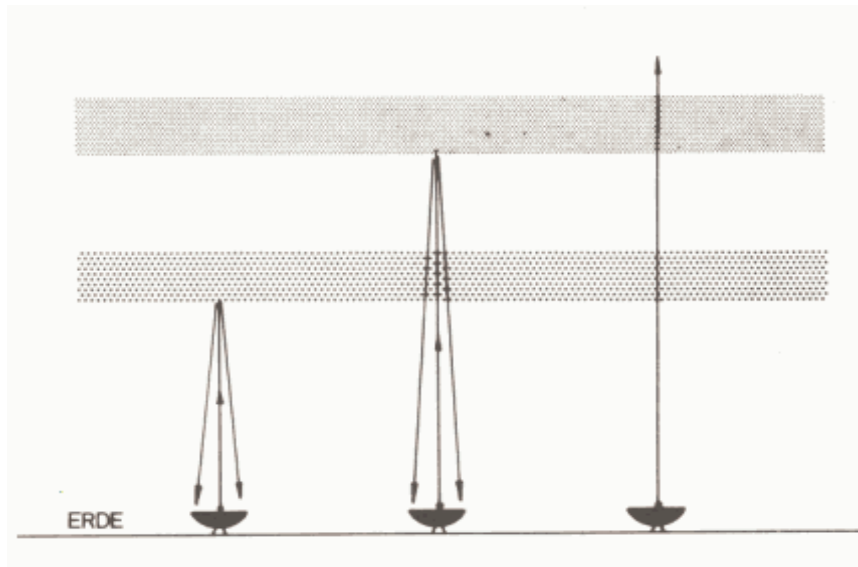


Dieses Bild veranschaulicht die zu erwartenden Sprungdistanzen als Funktion des Abstrahlwinkel und der Schichtdicke.

Als Überleitung zum nächsten Kapitel ist ein vertikaler Abstrahlwinkel von 90 Grad von Interesse. Bis jetzt konnte ich immer nur von Tendenzen und generellen Richtungen berichten und es gab keine fixen Werte.

MUF / LUF

Kritische Frequenz f_c nennt man die höchste Frequenz, bei der die senkrecht (90 Grad Erhebungswinkel der Antenne) in die Ionosphäre eintretende Strahlung von der gegebenen Schicht gerade noch reflektiert wird.



Messung der kritischen Frequenz f_c

Mit Hilfe von Echolotungen wird f_c ermittelt, wobei gleichzeitig aus der Laufzeit des Meßsignals auch die Höhe der reflektierenden Schicht errechnet wird. Das Ergebnis ist die Virtuelle Höhe (scheinbare Höhe) h_n . Tatsächlich liegt die Unterkante der Schicht etwas tiefer als die virtuelle Höhe.

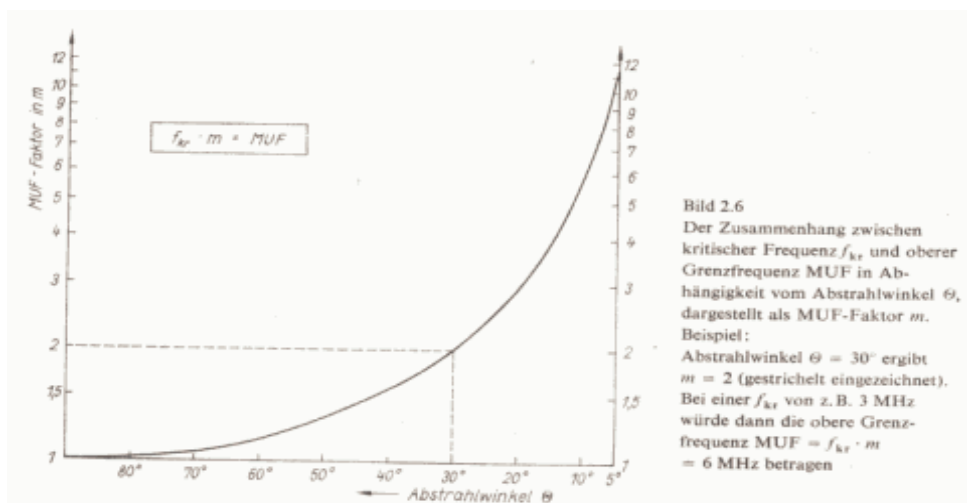
Die kritische Frequenz einer einzelnen Schicht gilt nur für einen Abstrahlwinkel von 90 Grad. Man nennt diese Frequenz **obere Grenzfrequenz** oder **MUF** (Maximum Usable Frequency).

Durch das Sekangesetz ist die MUF mit der f_c verbunden und es gilt :

$$MUF = f_{cr} \times 1 / \sin(\text{vertikale Abstrahlwinkel der Antenne})$$

Die MUF wird also bei kleineren Abstrahlwinkeln immer größer, und die nutzbare Frequenzgrenze steigt nach oben an.

Das nachfolgende Schaubild möge dies verdeutlichen.



Der Faktor **$m = \sin$ (des vertikalen Abstrahlwinkels der Antenne)**

Die Dämpfung (Absorption) wächst mit dem Quadrat der Wellenlänge !
Auch steigt die Dämpfung mit der Trägerdichte an.
Die D-Schicht ist dichter wie E- oder gar F-Schicht.

Wie es eine obere Grenzfrequenz gibt, muß es auch eine **untere Grenzfrequenz** geben, bei welcher gerade noch eine Verbindung über Raumwellenausbreitung möglich sein wird. Das Meßverfahren ist das gleiche wie bei der MUF. Genannt wird die untere Grenzfrequenz **LUF** (Lowest Usable Frequency).

$$\text{LUF} = f_{cu} \times 1 / \sin (\text{vertikale Abstrahlwinkel der Antennen})$$

Der nutzbare Frequenzbereich wird somit von der MUF und der LUF bei 90 Grad vertikalem Abstrahlwinkel der Antenne begrenzt.
Maximale Feldstärken an den Empfangsorten ergeben sich in etwa in der geometrischen Mitte zwischen MUF und LUF.

Die **optimale Frequenz f_{opt}** oder auch **FOT** genannt, liegt bei **ca. 0,80 bis 0,85 x MUF**. und liefert die höchste Feldstärke.

Bei Weitverkehrsverbindungen zwischen zwei Orten verschiedener Längen- und Breitengrade müssen die längs des Ausbreitungsweges sich ändernden MUF- und LUF-Werte berücksichtigt werden