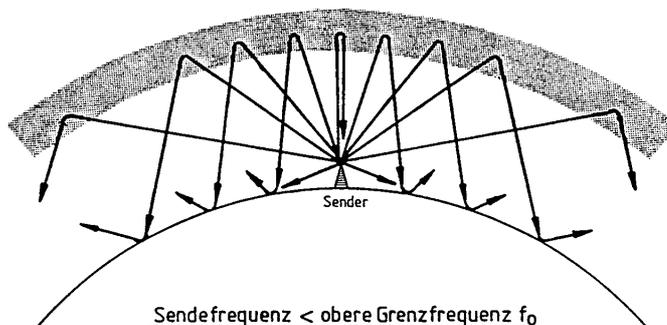


## Ausbreitungsbedingungen

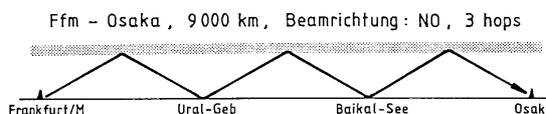
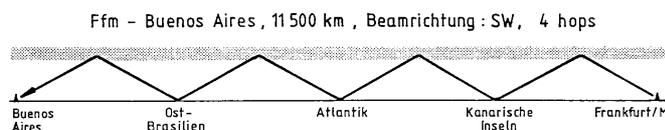
Die Wellenausbreitung ist von der Tageszeit, der Frequenz, den Sonnenflecken, dem Standort der anderen Funkstelle und vielen anderen Effekten abhängig. Sie beschäftigt daher die Funkamateure mehr als viele andere Probleme des Funkbetriebes.

### Kurzwellenausbreitung

Bei der Ausbreitung der Kurzwellen (1,8 bis 29,7 MHz) unterscheidet man die Bodenwelle und die Raumwellen. Die Bodenwelle breitet sich entlang der Erdoberfläche aus. Ihre Reichweite nimmt mit der Frequenz deutlich ab. Im Langwellenbereich werden Reichweiten von 10000 km erzielt; bei 80 m liegt sie wegen der ansteigenden Dämpfung bei 100 km und im 10-m-Band bei nur noch ca. 15 km.



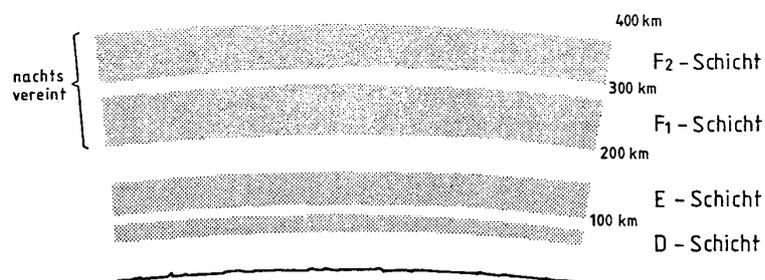
Die Überbrückung größerer Entfernungen ist auf der Erde nur mit Raumwellen möglich, die an verschiedenen ionisierten Schichten in 100 bis 400 km Höhe reflektiert werden. Mit einem Sprung (Hop) sind Entfernungen bis zu 4000 km möglich. Für noch größere Entfernungen sind mehrere Hops nötig. Der Bereich, in dem die Bodenwelle nicht mehr und die Raumwelle noch nicht empfangen werden kann, bezeichnet man als "Tote Zone".



Die Entfernung Erdoberfläche - F2-Schicht ist 2,5-fach überhöht gezeichnet.

### D-, E- und F-Schicht

Die oberen Schichten der Erdatmosphäre werden durch die UV-Strahlen der Sonne ionisiert. Sie sind dadurch elektrisch "leitend" und reflektieren die Funkwellen. Das Reflexionsvermögen hängt nicht nur von der Tages- und Jahreszeit, sondern auch von der Sonnenfleckenhäufigkeit und anderen Faktoren ab.



Die unterste Schicht in einer Höhe von 60 bis 90 km ist die D-Schicht. Sie reflektiert nicht, sondern ist eine reine Dämpfungsschicht und begrenzt die Ausbreitung erheblich. Sie ist nur am Tage vorhanden. Durch Gasausbrüche auf der Sonne kann die D-Schicht gelegentlich so stark ionisiert werden, daß der

gesamte Kurzwellen-Funkverkehr oberhalb von 1 MHz für mehrere Minuten (bis zu Stunden) durch Absorption völlig zusammenbricht (**Mögel-Dellinger-Effekt**).

In 100 bis 150 km Höhe tritt am Tage die E-Schicht auf und löst sich mit Nachlassen der Sonneneinstrahlung wieder auf. Sie ist für die Reflexion der Wellen des 80-m- und des 40-m-Bandes verantwortlich und erlaubt Hops von bis zu 2000 km.

Die F-Schicht in 200 bis 400 km Höhe ist ständig vorhanden, spaltet sich aber tagsüber in die F1- und F2-Schichten auf. Reflexionen an der F2-Schicht erlauben Hops von 3000 bis 4000 km.

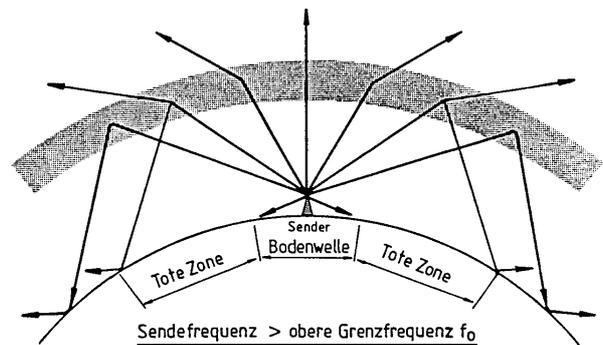
Band	Ausbreitungsbedingungen (Siehe auch Tabelle in Lektion Welle-3)
80 m 3,5 - 3,8 MHz	Am Tage Deutschlandverkehr, nachts Europaband. Eine tote Zone tritt normalerweise nicht auf.
40 m 7,0 - 7,1 MHz	Am Tage Europaverkehr, nachts ist - insbesondere im Winter - Überseeverkehr möglich.
20 m 14,0 - 14,35 MHz	Europa- und Überseeverkehr, Tag- und Nacht-Band
15 m 21,0 - 21,45 MHz	Am Tage DX-Möglichkeiten, nachts ist das Band tot.
10 m 28,0 - 29,7 MHz	Am Tage (zu Zeiten des Sonnenfleckenmaximums) DX-Möglichkeiten. Nachts ist das Band tot. Durch sporadische Reflexionen an der E-Schicht können Entfernungen von bis zu 1000 km überbrückt werden (short skip).

Das Sonnenflecken-Maximum tritt etwa alle 11 Jahre auf (1969, 1980, 1991, 2001). In dieser Zeit wird die F-Schicht so stark ionisiert, daß im 15-m- und 10-m-Band DX mit kleinsten Sendeleistungen möglich ist (D-Schicht hat geringe Dämpfung!). Während des Sonnenfleckenminimums durchdringen Frequenzen oberhalb 20 MHz die F-Schicht, so daß die Bänder meist "tot" sind.

### Grenzfrequenzen

Trifft eine Welle senkrecht auf die Ionosphäre, so bestehen folgende Möglichkeiten:

- die Welle wird absorbiert
- die Welle wird an einer der Schichten reflektiert
- die Welle durchdringt die Ionosphärenschichten



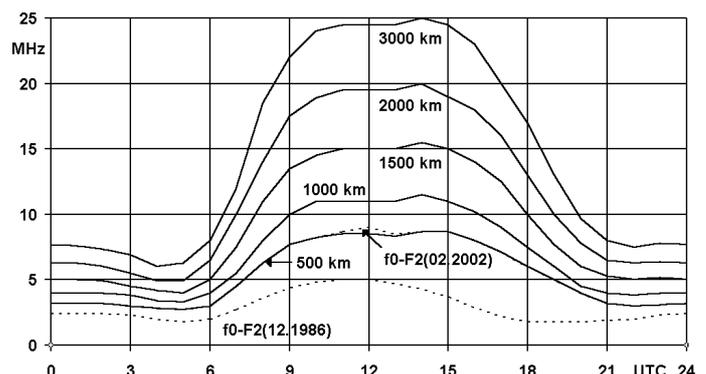
Die Frequenz darf nicht zu niedrig gewählt werden, damit die Wellen nicht zu stark gedämpft werden. Sie soll aber auch nicht zu hoch ausfallen, da sonst keine Reflexion mehr stattfindet.

Um die günstigste Frequenz zu finden, gehen wir von der Senkrecht-Grenzfrequenz  $f_0$  aus. Das ist die Frequenz, bei der senkrecht auftreffende Wellen gerade noch reflektiert werden. Höhere Frequenzen durchdringen die Ionosphärenschichten, es sei denn, sie treffen unter einem flacheren Winkel auf (wie ein Kieselstein auf der Wasseroberfläche). Je flacher der Winkel ist, um so größer ist die mit einem Sprung (Hop) überbrückte Entfernung.

Die günstigste Betriebsfrequenz, die sog. MUF (maximal useable frequency), ist die höchste Frequenz, die für einen bestimmten Übertragungsweg genutzt werden kann. Die niedrigste Sendefrequenz, die man für einen bestimmten Übertragungsweg nutzen kann, bezeichnet man als LUF (lowest useable frequency). Sie wird durch den Zustand der D-Schicht bestimmt.

Als Richtwert kann man annehmen, daß die MUF etwa dem doppelten Wert der Senkrecht-Grenzfrequenz  $f_0$  entspricht. Wenn also hohe Werte für die  $f_0$  vorhergesagt werden, herrschen gute Ausbreitungsbedingungen.

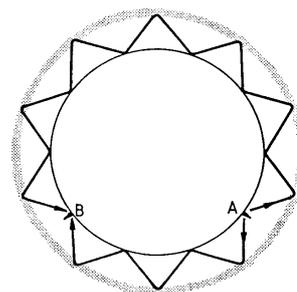
**Bild:** Die MUF für verschiedene Entfernungen in EU zu Zeiten hoher Sonnenaktivität (Febr. 2002). Zum Vergleich die  $f_0-F_2$  im Dez. 1986 (Sonnenflecken-Minimum, gestrichelt)



Die Funkwettervorhersagen in der CQ DL enthalten eine Grafik mit der MUF für EU-QSOs bei verschiedenen Entfernungen. Die Kurve für 0 km entspricht dem Verlauf der  $f_0 - F_2$ -Senkrechtgrenzfrequenz. Sie fällt fast mit der Kurve für 500 km zusammen. Daneben sind Grafiken für 9 Zielgebiete (Tokio, Sydney, Singapur, Kapstadt, Rio, Lima, New York, San Francisco und Hawaii) mit der QSO-Wahrscheinlichkeit auf dem kurzen (oder direkten) Weg und - wenn möglich - auch auf dem langen oder indirekten Weg angegeben.

DIREKTER UND  
INDIREKTER WEG

Die Entfernung  
Erdoberfläche - F<sub>2</sub> Schicht  
ist rund 5 fach  
überhöht gezeichnet



Aktuelle Analysen und Prognosen entnimmt man dem DL-Rundspruch (Do. 1730 UTC, 3770 kHz), dem DX-Rundspruch (Fr. 1700 UTC 3745 kHz) oder bei <http://www.dwelle.de/service/> dem Internet (Stand Febr. 2002).

### Ultrakurzwellenausbreitung

Ultrakurzwellen (VHF, UHF, SHF) breiten sich geradlinig aus. Sie werden jedoch durch Beugung an Kanten leicht zur Erdoberfläche hin abgelenkt. Die dabei zu beobachtende Dämpfung nimmt allerdings stark mit zunehmender Frequenz zu. Die erreichbare Entfernung entspricht etwa der quasi-optischen Sicht. Überreichweiten von 1000 km und mehr sind immer auf besondere Ereignisse zurückzuführen. Man spricht dann auch von "angehobenen Bedingungen".

### Aurora

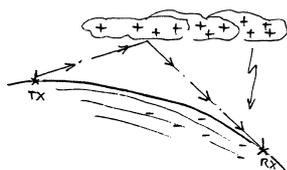
Beim Aurora-Effekt werden Ultrakurzwellen an stark ionisierten Luftschichten reflektiert. Der Effekt ist auch als Polarlicht bekannt und tritt wegen des Erdmagnetfeldes vor allem in nördlichen Breiten auf. Die Signale erscheinen stark "verbrummt", was bei CW nicht so störend ist. Der Zustand kann über einige Stunden anhalten oder nur Minuten dauern.

### Tropo-Scatter

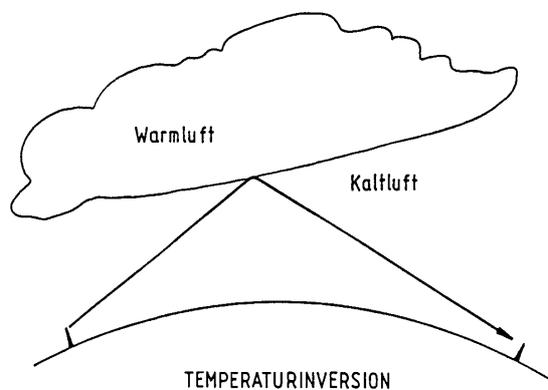
Von Tropo-Scatter spricht man, wenn Ultrakurzwellen an zufälligen Inhomogenitäten in der Troposphäre gebrochen oder reflektiert werden. Sie treten bei bestimmten Wetterlagen auf und sind örtlich und zeitlich begrenzt.

### Inversionswetterlage

Wenn sich eine warme Luftschicht über kalte Luft schiebt, tritt eine Temperatur-Inversion (= Abweichung vom normalen mit der Höhe abnehmenden Temperaturverlauf) auf. An der Grenzschicht können Ultrakurzwellen gebrochen und zur Erde zurückgeworfen werden.



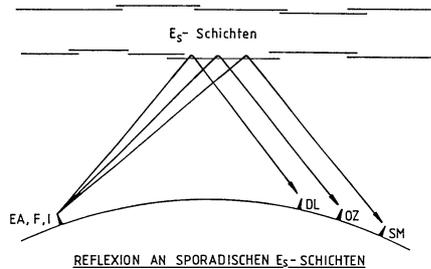
Zu dieser Kategorie gehören auch Reflexionen an elektrisch geladenen Gewitterwolken, die für manche Überhorizontverbindung gut sind.



## EME-Verbindungen

EME steht für Erde-Mond-Erde, wobei der Mond als Reflektor für die stark gebündelten Ultrakurzwellen dient. Der technische Aufwand für die Antennen ist enorm, außerdem benötigt man eine hohe Sendeleistung und empfindliche Empfänger.

## Sporadic E (E<sub>S</sub>-Schichten)



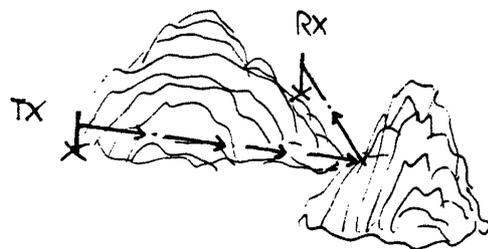
Bei starker Sonneneinstrahlung bilden sich in niedrigen geografischen Breiten in rund 120 km Höhe in ganz unregelmäßigen Abständen ionisierte Gaswolken aus, an denen die höheren Kurzwellenbänder und (mit abnehmender Wirkung) auch die unteren Ultrakurzwellenbänder reflektiert werden. Bei Reflexionen an E<sub>S</sub>-Schichten können Entfernungen von 1000 bis 4000 km überbrückt werden.

## Meteor-Scatter

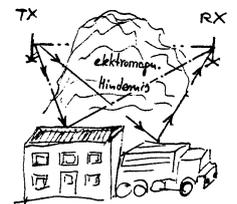
Meteor-Scatter (kurz MS) entsteht durch Reflexion an ionisierten Meteoriten Spuren, die diese beim Verglühen in den oberen Luftschichten verursachen. Da die Ionisation nur sehr kurzzeitig auftritt (ca. 0,1s bis 5s, max. 10s), werden MS-Verbindungen sorgfältig geplant und verabredet. Man tauscht nur Call und Rapporte aus.



## Reflexionen an großen Gegenständen, Fading und Schwund



Häufig beobachtet man, daß zwei Stationen, die sich eigentlich wegen eines dazwischen gelegenen großen elektromagnetischen Hindernisses (Berg) nicht hören können, doch eine Verbindung herstellen, wenn sie ihre Antennen auf einen benachbarten Berg, ein großes Haus oder einen anderen gut reflektierenden Gegenstand ausrichten.



Wenn mehrere derartige Reflektoren vorhanden sind und diese - oder eine der Stationen - sich bewegt, tritt sog. Flutterfading auf. Man kann es auf jedem FM-Relais beobachten. Auch Flugzeuge können bewirken, daß zwei Stationen, die sich vorher gar nicht oder nur mit S1..S3 hören konnten, plötzlich S9+ mit Fading melden.

Fading entsteht immer dann, wenn die Phasenlage mehrerer an der Empfangsantenne eintreffender Wellenzüge sich verändert. Je nach Phasenlage kommt es zu einer Addition oder auch völligen Auslöschung der mit unterschiedlicher Laufzeit eintreffenden Signale.

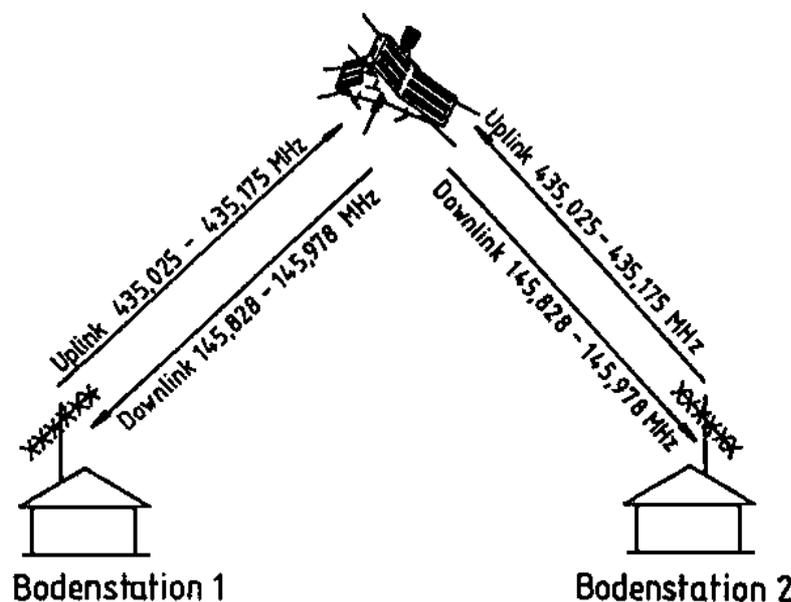
Auch bei Kurzwellenverbindungen tritt Fading auf. Es wird dort meist als Schwund bezeichnet. Ursache sind die sich ständig ändernden Reflexionsschichten, die Phasenunterschiede der auf verschiedenen langen Wegen eintreffenden Teilwellen, Änderungen der Dämpfung in der D-Schicht (Absorptionsschwund), Überlagerung von Boden- und Raumwelle oder Änderungen der Polarisationsebene durch Unregelmäßigkeiten in der Ionosphäre.

## Funkverkehr über Satelliten

Satelliten stellen eine ideale Möglichkeit dar, auch als Funkamateure mit einem Amateurfunkzeugnis der Klasse 2 (z. T. auch Klasse 3) DX-Verbindungen mit Ultrakurzwellen herzustellen. Sie erfordern aber eine sorgfältige Auswahl des richtigen Satelliten und des Modes, damit keine Umsetzung auf Kurzwellenbänder oder (bei Klasse 3) auf Frequenzen außerhalb des 2m- und 70cm-Bandes erfolgt. Bevorzugtes Kurzwellenband ist das 10-m-Band, das ja - außer zu Zeiten des Sonnenflecken-Maximums - meist "tot" ist.

Viele Amateurfunksatelliten erhalten eine Nummer, der ein Buchstabe zur Kennzeichnung der Betreiberorganisation (A=AMSAT) und O für OSCAR (Amateur Radio Carrying Amateur Radio) vorangestellt sind. Besonders bekannt: AO-10 und der neue AO-40.

### FUNKVERKEHR ÜBER LINEARTRANSPONDER



### SATELLITENFREQUENZEN

#### OSCAR 10-MODE B

Empfangsfrequenzen :  
435,025 - 435,175 MHz

Sendefrequenzen :  
145,828 - 145,978 MHz

#### OSCAR 10-MODE L

Uplink  
1269,050 - 1269,850 MHz

Downlink  
436,150 - 436,950 MHz

Im Gegensatz zu terrestrischen FM-Relais, bei denen in der Regel ein Kanal auf einen anderen im gleichen Band umgesetzt wird, setzt ein Satellit mit Lineartransponder ein ganzes Bandsegment von einem Band in ein anderes um. Welche Bänder jeweils betroffen sind, ist vom sog. MODE abhängig. Ein Mode-L-Transponder setzt ankommende 23-cm-Signale in das 70-cm-Band um. Im Mode-B-Betrieb setzt der Satellit einen Teilbereich des 70-cm-Satelliten-Bandsegmentes (Uplink) ins 2-m-Satelliten-Bandsegment (Downlink) um. Dabei entspricht eine bestimmte Uplink-QRG einer ganz bestimmten Downlink-QRG.

Bevorzugte Betriebsarten sind SSB und CW, gelegentlich findet man auch FM- und PR-Transponder. Da sich der Satellit bewegt, kommt es zu Frequenzverschiebungen durch den Dopplereffekt, der sog. Doppler-Shift. Da sich dieser Wert während des Überfluges stetig ändert, muß man ihn nicht nur bei Aufnahme des Betriebes bei der Wahl der Sendefrequenzen berücksichtigen, sondern ständig anpassen, damit die Verbindung aufrechterhalten bleibt.

Besonders wichtig ist die Einstellung der kleinstmöglichen Sendeleistung, da bei zu hoher Empfangsfeldstärke der Empfänger im Satelliten herunter regeln muß, damit sein TX nicht übersteuert wird. Dabei werden auch alle anderen Signale mit gedämpft, so daß oft kein Betrieb mehr möglich ist.

AMSAT-OSCAR-40 (AO-40) hat zu diesem Zweck eine LEILA genannte Einrichtung an Bord, die einzelne zu starke Signale mit Notchfiltern völlig ausblendet. LEILA gibt allerdings vorher für den unaufmerksamen OM noch eine Warnung auf der jeweiligen Downlink-QRG aus. Die Beobachtung des eigenen Signales auf der Downlink-QRG ist also unbedingt nötig.

Schließlich muß die Sende- und Empfangsantenne mit Hilfe von Rotoren auf den Satelliten ausgerichtet und ihm nachgeführt werden. Dazu gibt es PC-Programme, die aus den Kepler-Daten des Satelliten genau vorausberechnen, wann der Satellit an einem ausgewählten Ort der Erde zu "sehen" ist. Mit der berechneten Elevation (Höhe über dem Horizont) und dem Azimut (Himmelsrichtung von Nord über Ost) läßt sich dann die Antenne einstellen.

SAT	EPOCHE 2002	INCL	RAAN	CN	ARGP	MA	MM	DECY	REVN
AO-10	1362.7534359	26.05	235.69	.60555	211.47	90.97	2.0586974	-1.5E-6	13944
AO-40	2004.4732870	6.80	135.06	.79478	7.47	359.16	1.2559726	-2.1E-6	543
ISS	2008.1964338	51.64	137.00	.00024	75.51	359.17	15.6252497	6.8E-4	17907

Die Kepler-Daten kann man aus der CQ DL entnehmen, aus dem PR-Netz (Rubrik KEPLER) abrufen oder aus dem Internet herunterladen. Die meisten Programme "verstehen" beide Formen, in denen die Daten (je nach Quelle) angeboten werden oder können sie vorher umwandeln.