

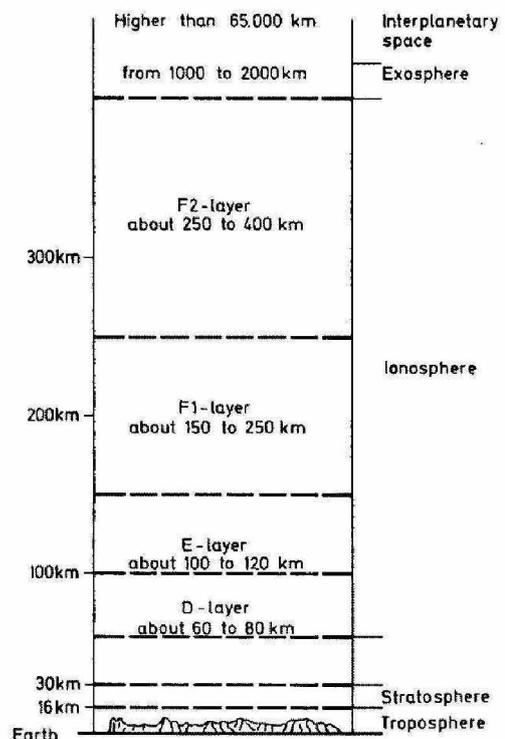
## Die Funkausbreitung auf Kurzwelle (1,8 – 30 MHz)

- Einleitung
- Bodenwellen und Raumwellen
- Bodenwellen
- Raumwellen
  - Reflexion der Raumwellen in der oberen Atmosphäre
- Der schichtförmige Aufbau der Atmosphäre
- Entstehung der Ionosphäre und Bildung der ionisierten Schichten
  - Wie entsteht die Ionosphäre?
  - Tote Zone
  - MUF, LUF und FOT
  - Dämpfung (Absorption) der Wellenfront
  - Mehrfachreflexion
- Einfluss der Sonne auf die Kurzwellenausbreitung
  - Die Sonne in Zahlen
  - Welche Wellenlänge hat die elektromagnetische Strahlung?
  - Was versteht man unter dem sog. Sonnenwind?
  - Wie groß ist der Einfluss des Erdmagnetfeldes?
  - Wie erfasst man die Veränderungen des Erdmagnetfeldes (A- und K-Index)?
  - Sonnenfleckenzyklus
  - Sonnenflecken
  - Was versteht man unter Fluxwerte?
  - Was sind "Flares" (Fackeln)?
  - Was ist die Gray-Line (Dämmerungszone)?
- Funktion der einzelnen Schichten der Ionosphäre
- Vorhersageprogramme (Freeware Rohde & Schwarz)

### Einleitung

Funkamateure waren es, die zu Beginn des letzten Jahrhunderts in den zwanziger Jahren als erste die Fernausbreitung der Kurzwellen entdeckten. Diese Entdeckung eröffnete ganz neue Möglichkeiten für die Übertragung von Nachrichten über sehr große Entfernungen.

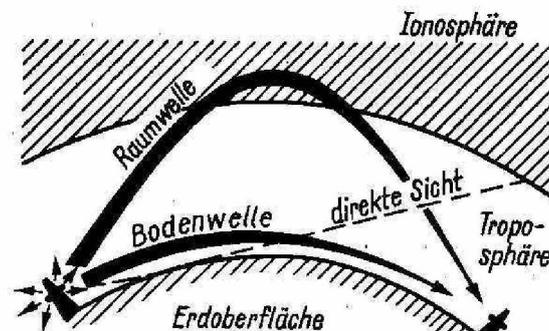
Vorher war man für die Überbrückung weiter Strecken auf die VLF- und LF-Frequenzbereiche angewiesen. Man konnte aber wegen der verfügbaren geringen Bandbreite und wegen des hohen Störpegels in diesen Frequenzbereichen nur CW-Verkehr durchführen. Interkontinentale Telefongespräche waren noch nicht möglich. Die Entdeckung der Fernausbreitung auf Kurzwelle bei schwächeren Störpegeln und verhältnismäßig geringen Ausbreitungsverlusten als auf VLF und LF eröffnete ganz neue Möglichkeiten der Nachrichtenübermittlung und dies vor allem bei wesentlich kleineren Sendeleistungen. Die Kurzwelle wurde bald experimentell und theoretisch untersucht. Bald fand man heraus, dass die Eigenschaften der



Kurzwelle stark veränderlich waren und diese mit der Sonne und den Eigenschaften der Ionosphäre zu tun hatten.

Die Funkausbreitung auf Kurzwelle ist ein **sehr komplexes Thema** bei dem viele einzelne Parameter eine Rolle spielen. Bis heute sind manche Erscheinungen und Auswirkungen noch nicht vollständig aufgeklärt. Deshalb sind auch Vorhersagen über die zu erwartenden Ausbreitungsbedingungen nur **ableitbare Näherungen**, die nur für einen bestimmten Zeitraum und nicht auf den Tag genau zutreffen. Es sind nur **statistische Vorhersagen** von mittleren Werten, **die mit bestimmter prozentualer Häufigkeit unter- oder überschritten werden**, denn den regelmäßigen jahreszeitlichen Veränderungen sind noch unregelmäßige Schwankungen (insbesondere Störungen) überlagert, deren Vorhersage nicht möglich ist. Es gibt ständig zeitliche und örtliche Änderungen der Ausbreitung.

## Bodenwellen und Raumwellen



Quelle: Antennenbuch Rothammel, 10. Auflage, 1991

Radiowellen können sich über zwei grundsätzlich verschiedene Wege ausbreiten. Entweder direkt entlang der Erdoberfläche oder durch Reflexionen in der Erdatmosphäre (Troposphäre, Stratosphäre, Ionosphäre).

Beide Ausbreitungswege unterliegen grundsätzlich unterschiedlichen physikalischen Ausbreitungsbedingungen.

## Bodenwellen

Die Bodenwellen, die von jeder KW Sendeantenne abgestrahlt werden, breiten sich quasi parallel entlang der Oberfläche der Erde in der Troposphäre aus. Die Bezeichnung Oberflächenwelle (Erdoberfläche) wäre zutreffender als Bodenwelle, obwohl andererseits der Erdboden den größten Einfluss auf das Ausbreitungsverhalten der Bodenwelle hat. Dabei nimmt die Feldstärke der Bodenwelle laufend ab. Hauptsächlich ist die Bodenwelle dem stark dämpfenden (absorbierenden) Einfluss des Erdbodens ausgesetzt. Die Absorption erhöht sich bei steigender Frequenz.

Die Bodenwelle wird heute besonders noch für die militärische Nachrichtenübermittlung bis etwa 10 MHz eingesetzt (kurze Entfernungen bei kleiner Leistung, Panzerverbände, Einsatzkommandos).

Für den Kurzwellenamateurfunk hat die Bodenwelle keine große Bedeutung, es sei denn, dass man kleinere Entfernungen mit kleineren Leistungen überbrücken möchte.

Bei Wellenlängen um 80 m (3500 – 3800 kHz) liegt die Reichweite **tageszeitenabhängig** im Bereich von 100 – 150 km. Die Tageszeitenabhängigkeit beruht auf den Zustand der Störstrahlung auf den niedrigeren Frequenzen der Kurzwelle.

Die **Reichweite der Bodenwelle** hängt von

- der Betriebsfrequenz,
- der Senderstrahlungsleistung ERP,
- der Senderantenne (Typ, Polarisierung, Installationshöhe)
- und vor allem von den vielen Eigenschaften der Bodenleitfähigkeit ab.

Die Bodenleitfähigkeit spielt bei der Ausbreitung der Bodenwelle eine entscheidende Rolle wie schnell die Feldstärkewerte der Bodenwelle mit der Entfernung abnehmen (trockener Boden, feuchter Boden, Baumbestand, Seen, Bebauung der Funkstrecke, Küstenbereich, Salzgehalt des Meeres, Wassertemperaturen, usw.). Dies führt in der Praxis oft zu überraschenden Ergebnissen.

Zum Beispiel können ein dichter Waldbestand mit hohen Bäumen die Bodenwelle sehr stark dämpfen, wenn der Standort der Sendeantenne im Wald ist. Die Feldstärke der Bodenwelle fällt dann sehr schnell ab und beträgt nur noch einige Kilometer. Bei einem militärischen Einsatz / Spionageeinsatz der Bodenwelle kann das gewollt sein (Thema Bodenwellenpeilung).

Die Reichweite der Bodenwelle mit vertikal polarisierten Antennen ist größer als mit horizontal polarisierten Antennen. Bei schräg aufgehängten Dipolen ist die Reichweite der Bodenwelle größer als bei horizontal aufgehängten Dipolen.

Die Reichweite der Bodenwelle ist jedoch nicht zu unterschätzen, denn schon bei sehr kleinen Sendeleistungen und bei niedrigeren Frequenzen kann man zum Beispiel bei einem trockenen Boden, 100 Watt ERP (abgestrahlte Sendeleistung der Sendeantenne) und 3 MHz in 190 km Entfernung eine Feldstärke von 0,5  $\mu$  V/m erzielen.

Hier einige Beispiele für die Reichweiten (km) der Bodenwelle mit einer Feldstärke von 0,5  $\mu$  V/m bei 10 W und 100 W ERP in Abhängigkeit von der Sendefrequenz (MHz) und bei trockenem Boden (Leitfähigkeit  $\sigma = 10^{-2} \Omega^{-1}/m$  und  $\epsilon = 4$ ). ERP bezieht sich auf einen Halbwelldipol und nicht auf einen isotropen Strahler (EIRP). 10 W ERP x Faktor 1,64 (2,15 dB) = 16,4 W EIRP:

	1 MHz	3 MHz	7 MHz	10 MHz	14 MHz	18 MHz	21 MHz	24 MHz	30 MHz
<b>10 W</b>	360 km	150 km	80 km	60 km	45 km	37 km	32 km	30 km	25 km
<b>100 W</b>	430 km	190 km	110 km	80 km	65 km	52 km	48 km	42 km	37 km

Die Leitfähigkeit verschiedener Bodenarten wird als Richtwert in  $\sigma$  (Leitfähigkeit) und  $\epsilon$  (Dielektrizitätskonstante) angegeben.

Für jedes Land gibt die ITU Landkarten über die Bodenleitfähigkeit heraus.

Es gibt sogar ein Ausbreitungs-Vorhersageprogramm für die Ausbreitung der Bodenwelle zwischen 10 MHz und 30 MHz im Küstenbereich (Littoral Environment). Das Programm heißt GRAPPLE und die Abkürzung steht für **GR**oundw**A**ve **P**ropagation **P**redictions for the **L**ittoral **E**nvironment. Dieses

Programm berücksichtigt auch den Wellengang des Meeres. Bei rauer See kann eine zusätzliche Dämpfung der Bodenwelle von 10 dB auftreten. Das Programm wird zum Beispiel auch von der Marine bei taktischen Einsätzen als Entscheidungshilfe eingesetzt.

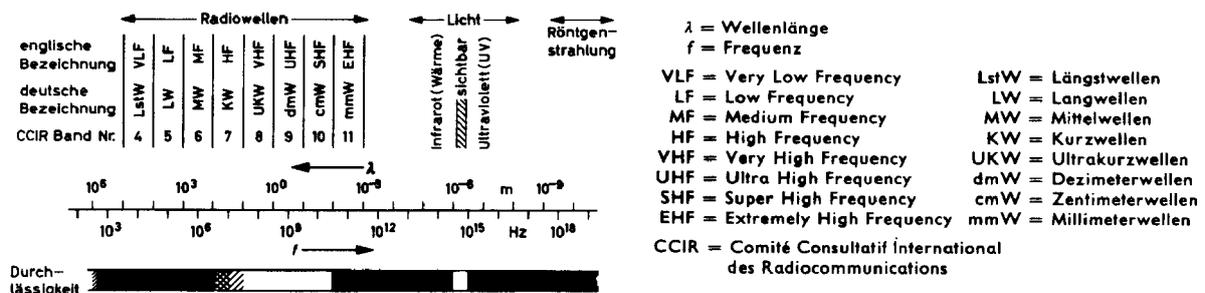
## Raumwellen

Die abgestrahlte Sendeleistung jeder Kurzwellenantenne wird als Bodenwelle als auch als Raumwelle abgestrahlt. Die Ausbreitung der Energie der Raumwelle unterliegt aber völlig anderen physikalischen Bedingungen als die der Bodenwelle.

## Reflexion der Raumwellen in der oberen Erdatmosphäre

Das Medium, das die Ausbreitung der Raumwellen bewirkt und beeinflusst ist der Zustand der Erdatmosphäre, die durch unsichtbare Strahlung der Sonne ständig verändert wird. Die Strahlung der Sonne macht sich durch verschiedene physikalische oder chemische Vorgänge bemerkbar, insbesondere in den höheren Schichten der Atmosphäre. Es ist dies entweder elektromagnetische Wellenstrahlung oder Korpuskelstrahlung (kosmische Strahlung), das heißt Strahlung aus elektrisch geladenen oder ungeladenen kleinsten Teilchen, zum Beispiel Elektronen, Protonen, Alpha-Teilchen und so weiter. Jede Änderung der elektromagnetischen Strahlung der Sonne erreicht unsere Erde innerhalb von 8 Minuten, die in den Weltraum abgestoßene Materie erst einige Zeit später (sog. Sonnenwind). Entfernung Sonne – Erde 150 Mill. km.

Die folgende Tabelle zeigt über einer Frequenz- und einer Wellenlängenskala die Bezeichnung der Frequenzbereiche nach der CCIR Norm und gibt an, für welche Bereiche die Atmosphäre durchlässig ist, in denen also von außen kommende Strahlung den Erdboden erreichen kann (Durchlässigkeit = weiße Felder).



Bezeichnung der Wellenlängen und Frequenzbereiche  
 Quelle: A. Ochs, FTZ, Darmstadt, 1966

- $10^{11}$  bis  $10^{14}$  Hz = Infrarot Strahlung (Wärme)
- ab  $10^{14}$  bis etwa  $10^{18}$  Hz = Ultraviolette Strahlung (UV)

## Der schichtförmige Aufbau der Erdatmosphäre (siehe Grafik, Einleitung)

Die Atmosphäre besteht aus einem schichtförmigen Aufbau mit abnehmender Luftdichte. In jeder dieser Schichten spielen sich unterschiedliche physikalische Vorgänge ab.

Die unterste Luftschicht, die am Boden der Erdoberfläche beginnt ist die **Troposphäre**. Sie reicht vom Erdboden bis zu einer Höhe von 8 – 16 km. Hier spielen sich alle Lebensvorgänge und alle Wettererscheinungen ab. Die Höhe der Troposphäre ist jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen.

Auf die Troposphäre folgt die **Stratosphäre**. Sie befindet sich in einer Höhe von 20 – 80 km Höhe. Diese Schicht beinhaltet auch den Ozongürtel, der sich in einer Höhe von etwa 20 bis 50 km befindet.

Nach der Stratosphäre folgt die **Ionosphäre**, der für uns Kurzwellenamateure wichtigste Teil der Atmosphäre, weil der "elektrische Zustand" der Ionosphäre die Ausbreitungsbedingungen beeinflusst. Die Ionosphäre reicht bis in eine Höhe von etwa 800 km, in Ausnahmefällen sogar bis in eine Höhe von etwa 1100 km.

Die Lufthülle (Gashülle) die den Erdball umgibt reicht bis in eine Höhe von 2000 bis 3000 km und besteht hauptsächlich aus Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Wasserdampf. Die größte Konzentration dieser Stoffe (etwa 75 %) soll sich in der Troposphäre befinden.

Bemerkenswert sind die **sehr unterschiedlichen Temperaturen der einzelnen Schichten** von – 70 °C bis + 70 ° C, dabei verändern sich die Temperaturen nicht linear nach der Höhe, sondern sie sind sehr unterschiedlich (15 km Höhe –70°C, 50 km Höhe + 50°C, 80 km Höhe – 70°C, 100 km Höhe + 70°C).

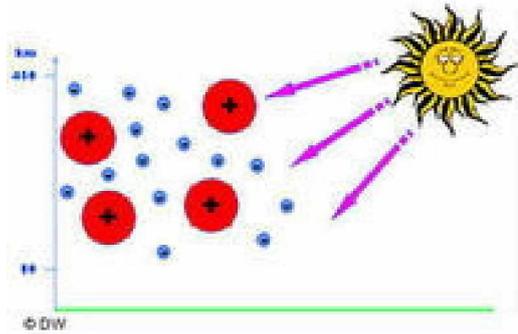
## **Entstehung der Ionosphäre und Bildung der ionisierten Schichten**

### **Wie entsteht die Ionosphäre?**

Unsere Erde ist mit einer Lufthülle (Erdatmosphäre) umgeben, die aus verschiedenen Gasen (z.B. Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Helium) zusammengesetzt ist. Je höher man in die Atmosphäre steigt, um so "dünner" wird diese Lufthülle, die Dichte der Gase nimmt mit steigender Höhe ab, das heißt, die Konzentration der Gase nimmt in der Atmosphäre mit wachsender Höhe exponentiell ab, so dass in größeren Höhen immer weniger Gasmoleküle vorhanden sind. In großer Höhe treten die Gase nur noch sehr stark verdünnt auf. Gleichzeitig herrscht nur noch ein ganz geringer Bruchteil des normalen oberflächennahen Luftdrucks. Man muss sich das so vorstellen, dass in einem bestimmten Raumvolumen nur noch wenige Moleküle der Gase vorhanden sind. Außerdem verändert sich die Zusammensetzung und das elektrisch-physikalische Verhalten der Gashülle in der Höhe.

Die Lufthülle enthält in geringen Höhen vorwiegend Stickstoff- ( $N_2$ ) und Sauerstoffmoleküle ( $O_2$ ), in großen Höhen über 70 km auch atomaren Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) und andere Bestandteile wie zum Beispiel Stickstoffoxid (NO). In sehr großen Höhen über 1000 km und mehr überwiegen vermutlich die leichteren Gase Helium (He) und Wasserstoff (H). Jeder Bestandteil der Lufthülle reagiert mit anderen Frequenz- (Wellenlängen-) Bereichen der einfallenden sichtbaren und unsichtbaren Sonneneinstrahlung und kann auf diese Weise seine "eigene" Schicht bilden. Wegen des unterschiedlichen Verhaltens der Gaskonzentrationen in verschiedenen Höhen, teilt man die Ionosphäre deshalb in verschiedene Schichten auf. Es wäre angebrachter diese Schichten, **Regionen** zu nennen.

Je nach Höhe der Schicht werden die Gasmoleküle mehr oder weniger den hoch energiereichen Teilchen und Wellen der elektromagnetischen Wellenstrahlung oder Korpuskelstrahlung der Sonne ausgesetzt. Das führt dazu, dass die zunächst neutralen Gasmoleküle durch den "Beschuss" für eine bestimmte Zeiteinheit Teile aus ihrer Elektronenhülle verlieren (Teile werden "abgespalten"), d.h. die Gasmoleküle werden in elektrisch geladene Teilchen **Ionen (+)** und **Elektronen (-)** gespalten. Diese Aufspaltung neutraler Gasmoleküle in elektrisch geladene Teilchen nennt man "Ionisation". Natürlich bleibt die Luft als Ganzes dabei elektrisch ungeladen, da jedem freien Elektron ja ein positiver geladener Atom- oder Molekülrest (Ion) entspricht. Von den Ionen (+ geladen) hat man den Namen "Ionosphäre" abgeleitet, obwohl die Elektronen (- geladen) für die Kurzwellenausbreitung die größere Bedeutung haben. Siehe Grafik (Quelle: Deutsche Welle) : große Ionen = plus (+), kleine Elektronen = minus (-).



Die abgespaltenen frei beweglichen Ionen und Elektronen verleihen der stark verdünnten Luft eine elektrische Leitfähigkeit. Wenn ein elektrisches Feld auf sie einwirkt, setzen sie sich in Bewegung und es fließt ein elektrischer Strom. Eine einfallende elektromagnetische Welle erzeugt dort ein im Takt der Hochfrequenz schwingendes elektrisches Wechselfeld. Dieses wirkt auf die Elektronen und Ionen ein und versetzt sie in frequenzabhängige Schwingungen. Dabei wird die Bewegung der Elektronen und Ionen auch vom Erdmagnetfeld beeinflusst. Die Schwingungsamplitude der Elektronen (-) ist dabei mehrere tausendmal größer als die der Ionen, weil die Elektronen bei gleich großer elektrischer Ladung (abgesehen vom negativen Vorzeichen) eine viel geringere Masse haben. Die Elektronen und Ionen nehmen also aus der einfallenden Hochfrequenzschwingung, die die Schwingung anregt, Energie auf. Die Hochfrequenzschwingung wird dementsprechend geschwächt.

Die abspaltenen frei beweglichen Ionen und Elektronen verleihen der stark verdünnten Luft eine elektrische Leitfähigkeit. Wenn ein elektrisches Feld auf sie einwirkt, setzen sie sich in Bewegung und es fließt ein elektrischer Strom. Eine einfallende elektromagnetische Welle erzeugt dort ein im Takt der Hochfrequenz schwingendes elektrisches Wechselfeld. Dieses wirkt auf die Elektronen und Ionen ein und versetzt sie in frequenzabhängige Schwingungen. Dabei wird die Bewegung der Elektronen und Ionen auch vom Erdmagnetfeld beeinflusst. Die Schwingungsamplitude der Elektronen (-) ist dabei mehrere tausendmal größer als die der Ionen, weil die Elektronen bei gleich großer elektrischer Ladung (abgesehen vom negativen Vorzeichen) eine viel geringere Masse haben. Die Elektronen und Ionen nehmen also aus der einfallenden Hochfrequenzschwingung, die die Schwingung anregt, Energie auf. Die Hochfrequenzschwingung wird dementsprechend geschwächt.

Schwingende elektrische Ladungen wirken aber als Sender. Und was macht ein Sender? Er strahlt wiederum elektromagnetische Wellen ab. So auch die freien Elektronen und Ionen der Ionosphäre. Es entstehen sogenannte Sekundärwellen, die sich der ursprünglichen, durch die Schwingungsanregung "geschwächten" Primärwelle überlagern. Die Sekundärwellen pflanzen sich nun zusammen mit der Primärwelle fort. Da die Schwingungsamplitude (oder Schwingungsgeschwindigkeit) der Elektronen viel, viel größer als die der Ionen ist, fallen die Ionen dabei für den Energietransport kaum noch oder gar nicht mehr ins Gewicht. Große Schwingungsamplitude = größere Energie, kleine Schwingungsamplitude = geringere Energie. Wichtig ist nun, dass die Bewegung der Elektronen und die von ihnen ausgestrahlte Sekundärwelle eine Phasenverschiebung zur Primärwelle erzeugt. Zwar wird die Energie, die der Primärwelle entzogen wurde, durch die Sekundärwelle wieder vollständig abgestrahlt, so dass kein Energieverlust eintritt, aber die durch Überlagerung von Primär- und Sekundärwelle gebildete neue Wellenfront läuft mit einer etwas anderen Phasenlage weiter. Es ergibt sich dabei eine andere Wellenlänge und damit auch eine andere Ausbreitungsgeschwindigkeit gegenüber der Ausbreitungsgeschwindigkeit in nichtionisierter Luft.

Merke: *Beschleunigte Ladungen strahlen elektromagnetische Wellen ab (Physik)*

Bei der Ausbreitung des Lichtes ist bekannt, dass ein Lichtstrahl bei verschiedenen Ausbreitungsgeschwindigkeiten in verschiedenen Medien (Glas, Wasser, Wasserdampf) beim Übergang in einem anderen Medium mit einer Änderung der Ausbreitungsrichtung reagiert. Und ähnlich verhält sich eine Wellenfront mit einer anderen Phasenlage und anderer Ausbreitungsgeschwindigkeit. Die Wellenfront wird einer "Krümmung" (Brechung, Reflexion) ausgesetzt.

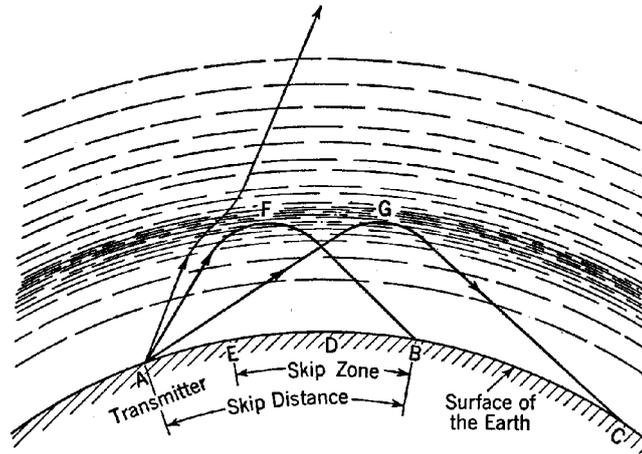
Die von der Sonnenstrahlung gebildeten negativen Elektronen und positiven Ionen bleiben nicht für immer voneinander getrennt. Sie nehmen ja an der Wärmebewegung der sie umgebenden Luftmoleküle teil und stoßen daher permanent mit diesen zusammen. Wenn ein Elektron dabei einmal auf ein positives Ion trifft, kann es sich wieder mit diesem zu einem neutralen Molekül vereinigen (**Rekombination**).

Es bestehen folgende Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge bei der Ausbreitung einer elektromagnetischen Wellenfront in der Ionosphäre:

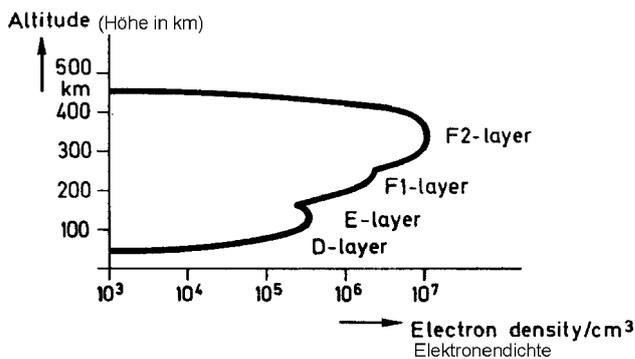
- Tritt eine KW Wellenfront schräg in die Ionosphäre ein, dann überholen die höherliegenden (schnelleren) Teile der Front die darunter liegenden. Bei ausreichend starker Elektronendichte kann als Folge dieser unterschiedlichen Phasengeschwindigkeit eine Wellenfront abgelenkt und zur Erde hin zurück reflektiert werden.
- Zur Reflexion der Kurzwellen in der Ionosphäre muss die Elektronendichte um so höher sein, je höher die Betriebsfrequenz ist.
- Die Raumwellen werden um so leichter in Richtung Erde zurück gebeugt, je kleiner der Abstrahlwinkel der Sendeantenne ist, das heißt, je flacher die Wellenfront in die Ionosphärenschichten eintritt. Kleiner Abstrahlwinkel und hohe Ionosphärenschicht = große Entfernung. Eine Antenne mit einem kleinen Abstrahlwinkel ist aber keine Gewährleistung dafür, dass man ausschließlich nur bei kleinen Abstrahlwinkeln DX-Verkehr machen kann.

Da die Ionosphäre ein geschichtetes Medium ist, gibt es keine scharfen Grenzflächen zwischen Regionen mit unterschiedlichem Brechungsindex. Die Elektronenkonzentration nimmt mit wachsender Höhe vom Boden von Null bis zum Maximum der Schicht stetig zu, um dann stetig (wegen der abnehmenden Gasmoleküle) wieder abzunehmen. Ebenso allmählich ändert sich der für eine bestimmte Betriebsfrequenz gültige Brechungsindex. Das führt dazu, dass die Wellenfronten (Funkstrahlen) beim Eindringen/Auftreffen in/auf die Ionosphäre nicht plötzlich abgeknickt werden, wie zum Beispiel ein Lichtstrahl beim Übergang von Luft in Wasser, sondern einer gekrümmten Linie folgen. Dieser Vorgang ist sehr komplex. Es gibt dafür ein kompliziertes Brechungsgesetz.

Die Brechung erfolgt immer in Richtung der Ionosphärengebiete mit größerem Brechungsindex, also mit kleinerer Elektronenkonzentration (untere Ionosphärenschichten). Die Wellenfront wird daher immer weiter nach unten abgelenkt und kehrt schließlich zum Erdboden zurück. Bei jeder Reflexion treten natürlich gewisse Verluste (Absorption/Dämpfung) der Wellenfront auf.

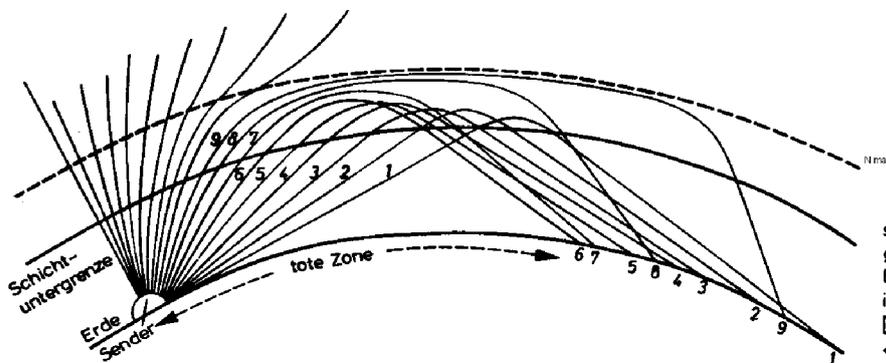


Die folgende Grafik zeigt die **Elektronendichte** (Konzentration) in der Ionosphäre als **Beispiel** an einem **durchschnittlichen Sommertag** und hoher Sonnenfleckenzahl. Wie zu erkennen ist, nimmt die Elektronenkonzentration an negativen Elektronen in der Höhe zu. Am höchsten ist sie in diesem Beispiel in einer Höhe von 300 bis 400 km.



Die Elektronendichte hängt immer vom Sonnenstand (Tages- und Jahreszeit) und der jeweiligen Sonnenaktivität ab. Die Elektronendichte ist also nie gleichbleibend. Wenn die Elektronendichte sehr hohe Werte erreicht, wird auch der Brechungsindex schließlich immer kleiner, bis auch keine Reflexion

mehr stattfinden kann und die auftreffenden Wellenfronten in den Weltraum abgestrahlt werden. Wie bereits erwähnt, muss zur Reflexion der Kurzwellen in der Ionosphäre die Elektronendichte um so höher sein, je höher die Betriebsfrequenz ist. Außerdem besteht die Gesetzmäßigkeit, dass eine höhere Betriebsfrequenz tiefer in eine Schicht eindringt.



Schematische Darstellung des Strahlenganges für eine feste Frequenz bei einmaliger Reflexion in der Ionosphäre (nach [3]):  $N_{max}$  = maximale Elektronenkonzentration

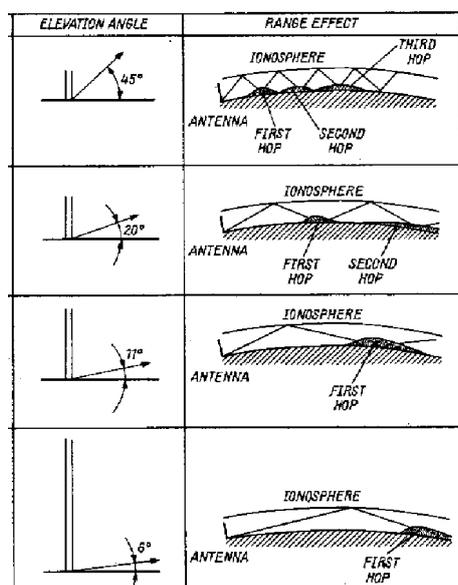
Die gestrichelte Linie in der hier gezeigten Grafik zeigt die **Region** mit maximaler Elektronenkonzentration  $N_{max}$ . Die Schichtuntergrenze ist eine durchgezogene Linie. [3] = Fränz, K. u. Lassen, H.: Antennen und Ausbreitung, Lehrbuch der drahtlosen Nachrichtentechnik, Bd. 2, 1956. Quelle: A. Ochs, FTZ, Darmstadt, 1966.

Die Grafik gilt nur für eine feste (gleichbleibende) Betriebsfrequenz, da der Brechungsindex auch von der Sendefrequenz abhängt. Es ist hier der Verlauf verschiedener von einem ortsfesten Sender ausgehender Funkstrahlen dargestellt.

Der am flachsten verlaufende **Strahl 1** dringt nur sehr wenig in die Ionosphäre ein.

Die steileren **Strahlen 2 bis 9** dringen immer tiefer ein, bis sie das ihrem jeweiligen Einfallswinkel und von der Betriebsfrequenz entsprechende Reflexionsniveau erreichen.

Noch steilere Strahlen werden nicht mehr reflektiert und durchdringen die Schicht in den Weltraum.



Es ist aber nicht so, dass die überbrückte Entfernung vom Sender immer größer wird, je flacher die Wellenfront verläuft. Das gilt zwar für "normale" Wellenfronten wie die **Strahlen 1 bis 6**, die im unteren Teil der Schicht reflektiert werden, nicht aber für die **Strahlen 7 bis 9**, die bis an die Unterkante der Zone höchster Elektronenkonzentration vor- und eindringen. Diese können dort über eine längere Strecke "geführt" werden und ebenfalls große Entfernungen überbrücken (sog. Pedersen-Strahl oder "Supermode"). Das hängt damit zusammen, dass in der Nähe des Schichtmaximums die Änderung des Brechungsindex mit der Höhe immer kleiner wird und die Wellenfront dementsprechend auch weniger stark gekrümmt

verläuft. Siehe **Auftreffpunkte 7, 8 und 9** (Hohe Elektronenkonzentration = kleiner Brechungsindex). Im allgemeinen kommen an einem Ort immer zwei Strahlen an, ein flacher und ein steiler verlaufender. Die Behauptung, dass man nur und ausschließlich nur mit flach abstrahlenden Sendeantennen DX Verkehr machen kann trifft somit nicht zu. Wenn es die Ausbreitungsbedingungen erlauben ist auch bei steileren Abstrahlwinkeln die Überbrückung von sehr großen Entfernungen möglich (3 D Richtcharakteristik einer vert. pol. magnetischen Loop, die gleichzeitig die Sendeenergie über einen Erhebungswinkel von 0° bis 90° in zwei Hauptrichtungen abstrahlt).

### Tote Zone

Die in der Grafik gezeigte "**tote Zone**" (skip distance = Sprungentfernung) ist ein Gebiet in dem kein Raumwellenempfang möglich ist. Diese Zone dehnt sich mehr oder weniger kreisförmig um den Senderstandort aus. Die Größe dieser Zone hängt vom jeweiligen Zustand der Ionosphäre und der Betriebsfrequenz ab.

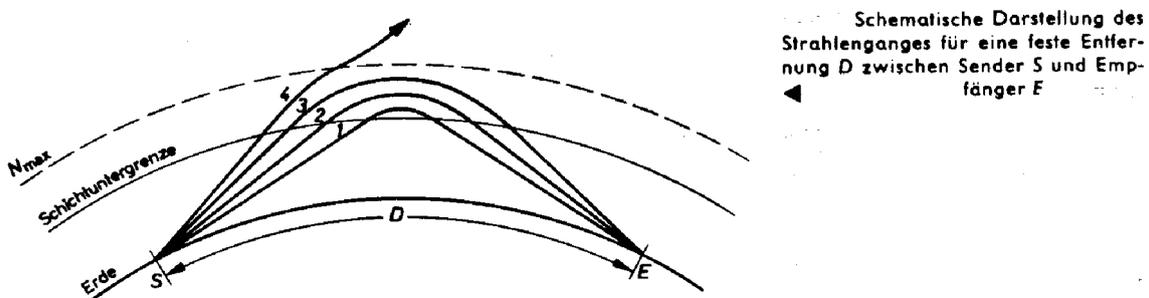
- Die **tote Zone wächst** mit zunehmender Ionisation (Elektronenkonzentration) und mit zunehmender Betriebsfrequenz (kleinere Wellenlänge).

- Mit zunehmender Ionisation (Elektronenkonzentration) oder abnehmender Betriebsfrequenz (größere Wellenlänge) können immer steilere Strahlen noch reflektiert werden, so dass die **tote Zone immer mehr zusammenschrumpft**.

## MUF, LUF und FOT

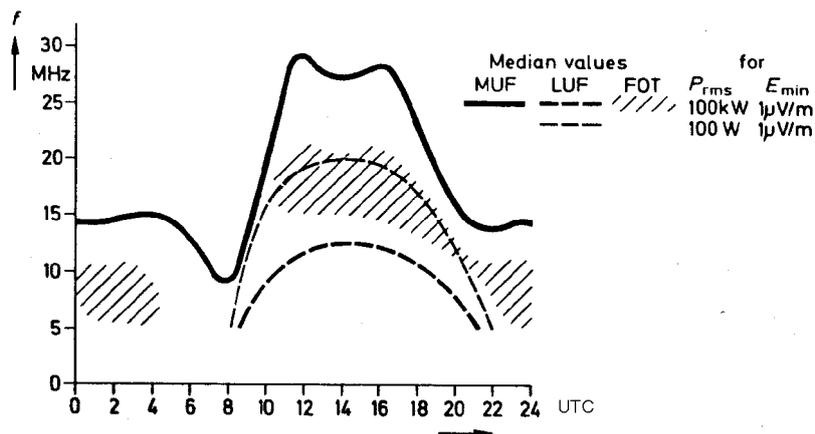
Wenn die Elektronenkonzentration im Schichtmaximum  $N_{\max}$  ausreicht, um die Betriebsfrequenz auch noch bei senkrechtem Einfall in die Ionosphäre zu reflektieren, verschwindet die tote Zone ganz. Diejenige QRG, die bei senkrechtem Strahlverlauf gerade noch im Schichtmaximum reflektiert werden kann, nennt man die **obere "Grenzfrequenz"**, "Kritische Frequenz" oder **MUF** (Maximum Usable Frequency) der betreffenden Schicht (Region). In der engl. Literatur wird diese QRG auch **JF** (Junction Frequency) genannt. Die obere Grenzfrequenz gilt für einen Abstrahlwinkel von  $90^\circ$ , dabei wird der Strahl wieder zu seinem Ausgangsort zurückgeworfen (tote Zone = 0). Es ist immer vorteilhaft in der Nähe der MUF QRG zu arbeiten, weil niedrigere Frequenzen meistens in der Ionosphäre einer größeren Absorption ausgesetzt sind. Manchmal kann die MUF durch unzureichende Elektronenkonzentration für eine senkrechte Reflexion unterhalb 5 MHz fallen.

Mit der Hilfe der MUF ist man in der Lage für eine bestimmte zu überbrückende Entfernung die am besten geeignete Frequenz zu bestimmen. Es sind hier in der Grafik vier verschiedene Frequenzen für eine vorgegebene Ausbreitungsentfernung  $D$  aufgezeichnet. Je höher die QRG ist, um so tiefer dringt der Funkstrahl in die Ionosphäre ein, um so steiler muss er abgestrahlt werden, bis er irgendwann nicht mehr zur Erde zurück reflektiert wird. Hier in der Grafik ist die Frequenz  $f_4 > f_3 > f_2 > f_1$ .



Die kritische Frequenz (QRG der MUF) wird mit Hilfe von Echolotungen bei einem Abstrahlwinkel von  $90^\circ$  ermittelt, wobei sich auch aus der Laufzeit des Messsignals gleichzeitig auch die virtuelle Höhe errechnen lässt. Die QRG der MUF ist der Wurzel aus der Elektronendichte  $N_{\max}$  proportional. Aus diesen Zusammenhängen und dem sog. Sekansgesetz kann man auch für verschiedene Abstrahlwinkel die obere Grenzfrequenz bestimmen (für diesen Abend zu kompliziert).

In Vorhersageprogrammen wird die **MUF** (hier in der Grafik unten die dicke durchgezogene schwarze Linie) jeweils für eine bestimmte Entfernung in km, für eine bestimmte Frequenz, für eine bestimmte Tageszeit und bei einer bestimmten Sendeleistung angegeben. Die folgende Grafik (100 kW Rundfunksender) zeigt ein Beispiel für eine Funkprognose für eine vorgegebene Strecke Hamburg – Rio de Janeiro im Monat Januar 1995 (Sonnenfleckenninimum) und einer Sonnenfleckenzahl von nur  $R=24$ .



Die **LUF**- Kurve in dieser Grafik (gestrichelte dickere Linie) ist die "niedrigste verwendbare Frequenz" (Lowest Usable Frequency) für einen bestimmte Ausbreitungsweg und ist die Frequenz, die gerade noch nicht in der D-Schicht der Ionosphäre absorbiert wird (siehe unten).

Die schraffierten **FOT** – Bereiche werden in Vorhersagen nicht immer angegeben und zeigen die am besten geeigneten Frequenzen für eine bestimmte Tageszeit an (**F**avourable **O**peration **T**ime). Diese Frequenzen liegen meistens etwa 15% unterhalb der MUF. Zwischen MUF und FOT nehmen die Feldstärken etwa 10 bis 20 dB ab. Bei den Funkwetter Diagrammen in der CQ DL sind das die dunkleren, blauen Bereiche (100 W an einer 0 dBi Antenne).

Zu beachten ist, dass die gemessene obere Grenzfrequenz der MUF einer betreffenden Schicht nicht die höchste Frequenz ist, die man verwenden kann, sondern diese vom Eintrittswinkel der oberen Grenzfrequenz in die Schicht anhängt (Messung erfolgt bei 90° senkrecht zur betreffenden Schicht). Es ist nur erforderlich den Eintrittswinkel in die betreffende Schicht zu verringern, damit eine Welle höherer Frequenz als die der oberen Grenzfrequenz reflektiert wird. Für eine Verbindung zwischen zwei festen Punkten (Sender A und Empfänger D in der untenstehenden Grafik) hängt der Winkel  $\theta$ , den eine Wellenfront nimmt, von der Höhe der betreffenden Schicht ab. Für eine gegebene Höhe BC ist ein bestimmter Winkel  $\theta$  erforderlich, um eine entsprechenden Entfernung AD zwischen Sender und Empfänger zu überbrücken.

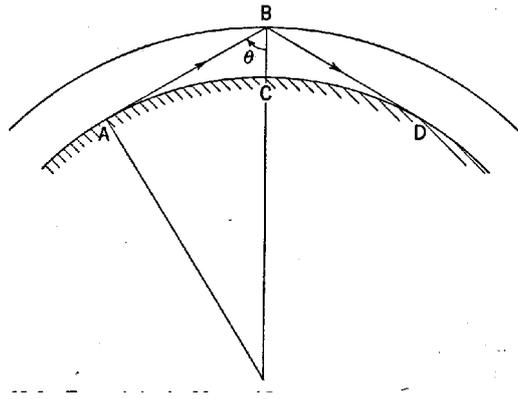
Man errechnet die MUF, die für eine reflektierte Raumwelle (1-Hop Entfernung) zwischen zwei Orten erforderlich ist, aus dem Quotienten:

$$f_{\max} = \frac{f_{\text{Grenzfrequenz}}}{\cos \theta}$$

$f_{\max}$  = höchste verwendbare QRG (MUF)

$f_{\text{Grenzfrequenz}}$  = gemessene obere Grenzfrequenz für einen Abstrahlwinkel von 90°

$\cos \theta$  = Abstrahlwinkel der Sendeantenne zwischen  $\overrightarrow{AB}$  und  $\overrightarrow{BC}$



Wenn die Entfernung zwischen Sender und Empfänger immer weiter vergrößert wird, ergibt sich bald eine Grenze, wo der Funkstrahl an beiden Orten wegen der Erdkrümmung zu einer Tangente wird (siehe Grafik). Es ist dies die größtmögliche Entfernung AD mit "1-Hop" bei einer vorgegebenen Schichthöhe. Der Winkel  $\theta$ , der diese "1-Hop" Entfernung begrenzt, liegt bei etwa  $74^\circ$ . Für diesen Extremfall ist die höchste verwendbare MUF wegen des sehr flachen Eintrittswinkels in die Ionosphäre um das **3,6fache höher** als die bei  $90^\circ$  gemessene obere Grenzfrequenz :

$$\frac{1}{\cos 74^\circ} = 3,6 f_{\text{Grenzfrequenz}}$$

### Dämpfung (Absorption) der Wellenfront

Bei der Funkausbreitung als auch Reflexion von Raumwellen treten Verluste auf. Durch die Anwesenheit der neutralen Luftmoleküle (und der Ionen) und durch die unregelmäßige Wärmebewegung aller Teilchen, die sich der gleichmäßigen Schwingung der Elektronen überlagert, werden die Ausbreitungsbedingungen geändert. Die schwingenden Elektronen stoßen immer wieder mit anderen Teilchen zusammen und geben einen Teil ihrer Energie ab. Außerdem ändern sie ihre Bewegungsrichtung und kommen so aus dem Takt der allgemeinen Elektronenschwingung. Die vorher aufgenommene Schwingungsenergie aus einem Funkstrahl kann nicht mehr phasengerecht ausgestrahlt werden und ist für die weiterlaufende Welle verloren. So wird aus der Welle laufend Energie absorbiert (verlorene Energie heizt die Ionosphäre auf). Die "Aufheizung" ist allerdings kleiner als die aus der Sonnenstrahlung aufgenommenen Wärme. Es entsteht eine laufende **Dämpfung (Absorption)** der Wellenfront. Die Dämpfung bewirkt eine exponentielle Schwächung der sich ausbreitenden Wellenfront.

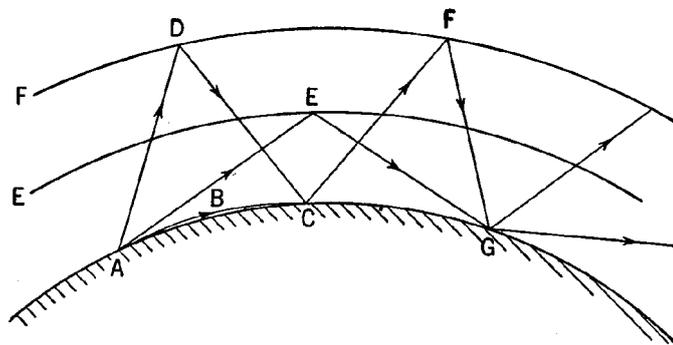
Diese Dämpfung ist um so stärker,

- je größer die Luftdichte (untere Schichten der Ionosphäre) ist, weil damit die Anzahl der Zusammenstöße mit Luftmolekülen zunimmt,
- je größer die Elektronenkonzentration (Dichte) ist, weil damit ebenfalls die Anzahl der Zusammenstöße sich erhöht,
- je größer die Schwingungsamplitude der Elektronen ist, weil die bei einem Zusammenstoß verlorengelungene Energie entsprechend zunimmt,
- je länger die Welle braucht, um die absorptionswirksamen Gebiete der Ionosphäre zu durchlaufen.

## Mehrfachreflexionen:

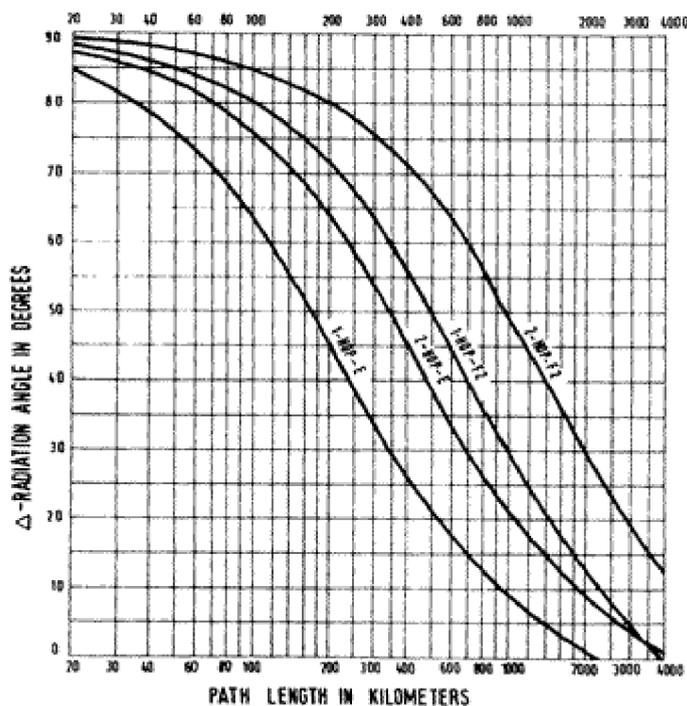
Davon lebt der DX - Funkamateurl auf Kurzwelle.

Jede auf die Erdoberfläche zurück reflektierte Wellenfront kann wieder vom Erdboden aus ein zweites Mal oder drittes Mal und so weiter in der Ionosphäre reflektiert werden, falls die Elektronendichte ausreicht. Natürlich entsteht bei jeder Reflexion eine weitere Dämpfung. Bei den



Zwischenreflexionen an der Erdoberfläche hängen die Verluste von der Leitfähigkeit des Bodens, sowie von der Frequenz und vom Einfallswinkel der Welle ab. Bei flachem Strahlenverlauf kann man für Reflexion auf Seewasser (sehr gute Leitfähigkeit) mit max. 1 dB Verlust rechnen, für Reflexion auf Land mit einigen dB.

Zu beachten ist aber, dass die Reflexion am Boden in Einzelfällen eine andere Richtung nehmen **kann** (Backscatter).



Die nebenstehende Grafik zeigt die Funktion des Abstrahlwinkels (°) in Bezug auf die damit erzielbare Funkfeldlänge (km) bei den Reflexionen an der E-Schicht in ca. 100 km Höhe und an der F<sub>2</sub>-Schicht in ca. 320 km Höhe (Erklärung der Schichten später). Die Grafik zeigt einmalige (1-Hop) und zweimalige (2-Hop) Reflexionen an der E-Schicht und F<sub>2</sub>-Schicht.

## **Einfluss der Sonne auf die Kurzwellenausbreitung**

Vor einigen Jahren hat DL9BM, OM Erich an dieser Stelle einen längeren Vortrag über die Sonne und ihre Auswirkungen auf die Kurzwelle gehalten. Zur Erinnerung möchte ich nur kurz nochmals einige Fakten aufführen

### Die Sonne in Zahlen

Die Sonne ist eine Gaskugel. Im Vergleich zu anderen Sternen ist sie ein Stern von durchschnittlicher Größe, Masse, Leuchtkraft und chemischer Zusammensetzung.

Chemische Zusammensetzung (Massetteile):

in den äußeren Schichten: 71% Wasserstoff, 27% Helium, 2% übrige Elemente  
im Sonnenzentrum: 35% Wasserstoff, 63% Helium, 2% übrige Elemente

Rotationsdauer: am Äquator 25,6 Tage, in Polnähe 36 Tage

Magnetfeld: in Sonnenflecken 300 m Tesla, an den Sonnenpolen: 0,1 m Tesla, der Erde: 0,06 m Tesla

Abstand Erde – Sonne: 150 Millionen km = 400 mal Abstand Erde Mond

Die Eruptionen und ihre terrestrische Auswirkungen:

1. Die elektromagnetische Strahlung eines Flares ist in mehreren Spektralbereichen beobachtbar
  - a) Gammastrahlung
  - b) UV- und Röntgenstrahlung
  - c) Sichtbare Strahlung: Helligkeitsausbrüche in den Fackel-Wolken
  - d) Hochfrequenzstrahlung (sog. Radiostrahlung): Kontinuumstrahlung, sie entsteht in der Korona als Sekundäreffekt der bei Eruptionen ausgesandten Korpuskelstrahlung.
2. Als terrestrische Wirkungen der UV- und Röntgenstrahlung der Flares werden beobachtet
  - a) Primäreffekt:  
Verstärkte Ionisierung der untersten Ionosphärenschicht (D, E)
  - b) Sekundäreffekte:  
Zusammenbrechen des Kurzwellenfunkverkehrs (Mögel-Dellinger-Effekt). Starke Magnetfelder, die gleichzeitig mit dem Sichtbarwerden des Flares auftreten (nicht identisch mit magnetischen Stürmen, die als Folge der Flare-/Korpuskelstrahlung auftreten).
3. Die Flare-/Korpuskelstrahlung kann auf der Sonne als Eruptionsprotuberanz beobachtet werden, auf der Sonnenscheibe dunkel, am Sonnenrand hell. Sie bestehen aus Elektronen und Protonen.
4. Als Wirkung der Korpuskelstrahlung können im Umkreis der Erde beobachtet werden:
  - a) Magnetische Stürme und Polarlichter, ausgelöst durch Protonen und Elektronen mit der Laufzeit von einem Tag oder länger.
  - b) Verstärkung der kosmischen Strahlung, hervorgerufen durch Atomkerne sehr hoher Energie, die von der Sonne abgestrahlt werden und eine Laufzeit von unter einer Stunde haben.

Angesichts der unzähligen solaren Auswirkungen der Sonne auf die Ionosphäre kann hier heute nur kurz auf einige Merkmale und "Geomagnetische Indizes" (Werte und Kenngrößen) eingegangen werden.

Die Sonnenenergie, die unsere Erde trifft, wird durch atomare Kernprozesse im unsichtbaren Sonneninnern ausgelöst, freigesetzt, nach außen transportiert und von der Sonnenatmosphäre ausgestrahlt. Sie besteht aus einer elektromagnetische Strahlung und Abstoßung kleinster Materieteilchen.

### Welche Wellenlänge hat die elektromagnetische Strahlung?

Die Sonne erzeugt eine elektromagnetische Strahlung verschiedener Wellenlängen, die bestimmte Regionen der Ionosphäre ionisieren:

- Harte Röntgenstrahlung (1 – 10 Ångström) ionisieren die D Region
- Weiche Röntgenstrahlung (10 – 100 Ångström) ionisieren die E Region
- UV Strahlung (100- 1000 Ångström) ionisieren die F Regionen

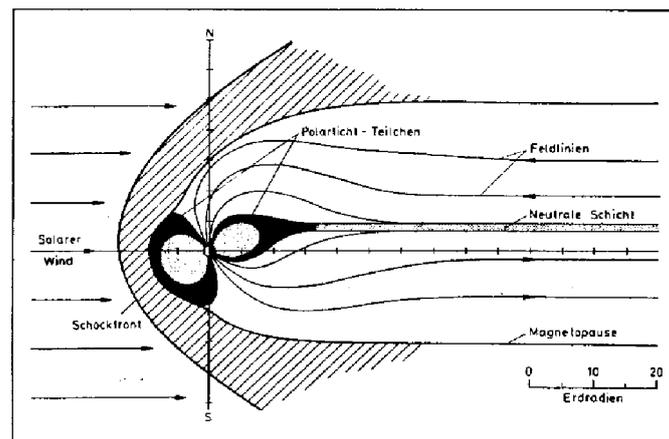
1 Å = 0,1 nm (Längeneinheit, Spektroskopie – genaue Wellenlängen der FRAUENHOFER - Linien)

### Was versteht man unter dem sog. Sonnenwind (Solarer Wind)?

Die Ausbreitung einer Wellenfront in der Ionosphäre wird zusätzlich durch Komponenten des sog. Sonnenwindes (Details: siehe **Anhang B** "Sonnenwind-

Fachbegriffe" von Wolfram Heß, DL1RXA, Deutsche Welle) und des Erdmagnetfeldes beeinflusst. Die Materie (solares Plasma), die ständig von der Sonne abgestoßen wird, wird zum Sonnenwind. Die Materie der Sonne fliegt in alle Richtungen und enthält geladene Teilchen wie Elektronen (-) und Protonen (+). Protonen = Kerne des Wasserstoffatoms. An "ruhigen" Sonnentagen "weht" der Sonnenwind mit einer Geschwindigkeit von etwa 400 km/sec auf die Erde zu. Das entspricht etwa einer Geschwindigkeit von 1 440 000 km/ h. Die Sonne ist circa 150 Mill. km von uns entfernt, d.h. ein Materieteilchen benötigt rund 104 Stunden bis es die Erdoberfläche erreicht. Das sind etwa 4 Tage.

Dieser **Sonnenwind trifft unsere Erde und wandert entlang des Erdmagnetfeldes**. Die Wucht mit dem der Sonnenwind wegen der hohen Geschwindigkeit auf die Erde trifft, komprimiert das Erdmagnetfeld zur Sonne hin und schiebt das Erdmagnet an den Seiten der Erde vorbei. Im jeweiligen Erdschatten entsteht dadurch ein magnetischer Schweif (Schwanz). Der Schweif reicht bis weit über die Mondbahn hinaus. Die elektromagnetische Strahlung der Sonne beeinflusst die ganze Tageslichtseite der Ionosphäre. Die von der Sonne abgestoßenen geladenen Partikel werden entlang der Magnetfelder der Erde in die Ionosphäre geleitet und wirken somit hauptsächlich in hohen Breitengraden wo die magnetischen Feldlinien in die Polregionen einmünden (ovalförmige Zone = Polarlicht Oval).



Der normale ständig vorhandene Sonnenwind, der von einer ruhigen Sonne ausgeht, beeinträchtigt die Ausbreitung der Kurzwellen kaum, da er in der Ionosphäre keine besonderen Ereignisse auslöst. Erst wenn die Sonne durch bestimmte unvorhersehbare Aktivitätszentren zusätzliche Materieströme aussendet, treten Ausbreitungsstörungen aus. Diese können ganz extrem sein.

### Wie groß ist der Einfluss des Erdmagnetfeldes?

Auch Veränderungen des Erdmagnetfeldes beeinflussen die Ausbreitung von Kurzwellen. Die Ausbreitung einer Wellenfront ist somit nicht nur von der Elektronenkonzentration der Ionosphäre abhängig. Das Erdmagnetfeld ist je nach geografischer Lage überall unterschiedlich. So wird die Ionisation der F<sub>2</sub>-Schicht zum Beispiel mit durch das Erdmagnetfeld gesteuert. Offenbar wirken verschiedene Vorgänge gleichzeitig. Die Gezeitenkräfte von Sonne und Mond setzen die Atmosphäre (ähnlich wie das Meer) in Bewegung, ebenso die tägliche Erwärmung und Abkühlung der Schicht. Die Bewegungen werden nun durch die Einwirkung des Erdmagnetfeldes auf Elektronen und Ionen in komplizierter Weise verändert. Die

Ausbreitung einer Wellenfront wird somit auch durch die Stärke und Richtung des Erdmagnetfeldes bestimmt. Mal mehr, mal weniger. Diese Vorgänge sollen hier nicht im einzelnen verfolgt werden, weil sie sehr komplex sind (entgegengesetzter Drehsinn von Polarisationsellipsen der magneto-ionische Komponenten).

### Wie erfasst man die Veränderungen des Erdmagnetfeldes (A-Index und K-Index)?

Veränderungen des Erdmagnetfeldes werden mit Magnetometern gemessen. Zwei dieser Messungen sind die Indizes (Geomagnetische Kenngrößen) A-Index und K-Index. Der **A-Index wird täglich einmal**, der **K-Index alle 3 Stunden** im Internet von staatlichen U.S. Stellen und der U.S. Luftwaffe bekannt gegeben. Die Informationen werden von der National Oceanographic and Atmospheric Administration (**NOAA**) und in einem Bericht "Report on Solar and Geophysical Activity" (**RSGA**) veröffentlicht

Der A-Index hat eine lineare Skala von 0 (ruhig) bis 400 (schwerer Sturm). Der K-Index hat eine quasi-logarithmische Skala von 0 bis 9, eine komprimierte Version des A Indexes, wo 0 "ruhig" und 9 "schwerer Sturm" bedeutet.

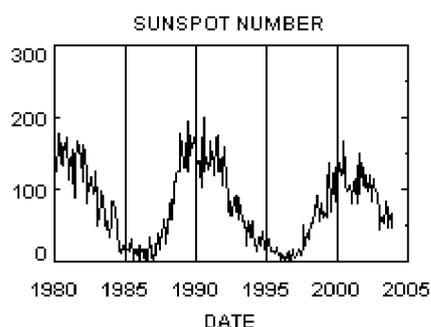
### Geomagnetische Indizes K und A:

Zustände der Ionosphäre	K-Index (3stündlich)	A-Index (einmal täglich)
Ruhig	0 - 1	0 - 7
Wechselhaft (unsicher)	2	8 - 15
Aktiv (tätig/regsam)	3	16 bis 29
Mäßiger Sturm	4	30 bis 49
Größerer Sturm	5	50 - 99
Heftiger Sturm	6 -9	> 99

Kleine Werte deuten auf eine ruhige Ionosphäre hin. Trends in der Entwicklung des K-Indexes sind wichtig. Wenn der K-Wert sich erhöht, kann man davon ausgehen, dass sich die Ausbreitungsbedingungen verschlechtern, insbesondere in den Breitengraden der Polregionen. Im allgemeinen bietet ein A-Index mit einem Wert von 15 oder <15, oder ein K-Index mit einem Wert von 3 oder <3 die allerbesten Ausbreitungsbedingungen. *Sind diese Werte höher, braucht man seine Station erst gar nicht einzuschalten.*

Die Werte kann man sich zu jeder Zeit auf unserer OV T16 Homepage holen.

### Sonnenfleckenzyklus

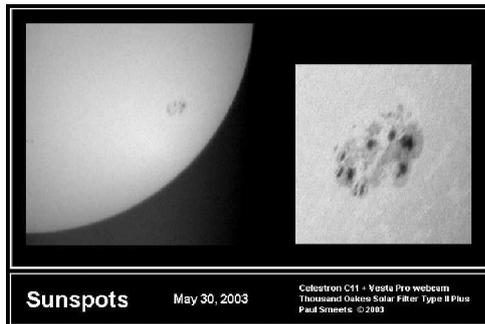


Die Kurzwellenausbreitung in der Ionosphäre unterliegt einem quasi-periodischen 11jährigen Sonnenfleckenzyklus. Es gibt etwa alle 11 Jahre ein Maximum und alle 11 Jahre ein Minimum an Sonnenflecken auf der Sonne. Die Ursachen sind nicht geklärt. Zur Zeit befinden wir uns im 23. registrierten Sonnenfleckenzyklus. Wir bewegen uns auf ein Minimum in den kommenden Jahren 2007/2008 zu. Die Ausbreitungsbedingungen werden sich bis dahin noch weiter

verschlechtern. Das nächste Maximum wird etwa 2011 erwartet. Bei jedem Sonnenfleckenmaximum kehrt sich die Polarität des Sonnenmagnetfeldes um. Nach einem Bericht der NASA vom Februar 2001 wird berichtet, dass das Maximum des 23. Sonnenfleckenzyklus im April 2000 gewesen ist und dass es wieder ein "**magnetic flip**" gab, d.h. der magnetische Nordpol der Sonne verschob sich auf die Position des Südpols der Sonne.

Das Sonnenfleckenmaximum dauert etwa 2 – 3 Jahre an. In den ersten 4 – 5 Jahren vom Minimum aus gezählt, erhöht sich die Zahl der Sonnenflecken. Der Abfall zum erneuten Minimum ist langsamer und dauert etwa 6- 7 Jahre.

## Sonnenflecken



Schon die Chinesen vor 2000 Jahren kannten die Sonnenflecken. Sie sind sichtbare, dunkle Bereiche starker Magnetfelder auf der Photosphäre der Sonne. Sie sind kälter als die umliegende Atmosphäre und treten häufig in Gruppen auf. Die Anzahl der Sonnenflecken auf der Sonnenscheibe variiert im Verlaufe eines Sonnenfleckenzyklus in starkem Maße. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Spitzen vergehen in

der Regel 11 Jahre des Sonnenfleckenzyklus, doch das Zeitintervall kann variieren. Es war der italienische Astronom des 17. Jahrhunderts, Galileo Galilei, der 1610 mit seinem Teleskop als erster die Sonnenflecken regelmäßig beobachtete. Während er die täglichen Bewegungen der Sonnenflecken über die Sonnenscheibe beobachtete, fand er heraus, dass sich die Sonne dreht. Er blickte die Sonne durch sein Teleskop ohne Augenschutz an. Dies verursachte ihm ernsthafte Augenschäden. Tägliche Beobachtungen wurden zuerst 1749 von dem Sonnenobservatorium in Zürich (Wolf Sonnenfleckenzahl) aufgenommen. Später 1849 haben auch andere Observatorien angefangen, tägliche Beobachtungen durchzuführen. Der damalige Direktor Wolf des Sonnenobservatoriums in Zürich führte 1849 eine allgemeine Methode ein, wie die Aktivität der Sonnenflecken ( $R$  = Sonnenfleckenrelativzahl) zu registrieren sind. Diese Methode ist heute noch gültig (Details: siehe Anhang B "Sonnenwind-Fachbegriffe").  $R$  schwankt oft drastisch von Tag zu Tag. " $R$ " gibt die Sonnenfleckenrelativzahl an. Diese Zahl wurde für den internationalen Gebrauch "standardisiert" und wird neuerdings mit " $RI$ " oder " $Ri$ " angegeben und in Brüssel täglich aufbereitet.

Die Sonnenfleckenrelativzahlen ändern sich in einem 27 Tage Zyklus durch die Rotation der Sonne.

Seit geraumer Zeit findet man auf Webseiten aus den USA statt der herkömmlichen Sonnenfleckenrelativzahl " $R$ " oder " $Ri$ " eine sogenannte **geglättete Sonnenfleckenzahl "SSN"** (Smoothed Sunspot Number). Sie wurde von Wissenschaftlern eingeführt und wird aus den Sonnenfleckenzahlen in den Zeiträumen  $5 \frac{1}{2}$  vor und  $5 \frac{1}{2}$  Monaten nach dem gewünschten Monat errechnet, d.h. über einen Zeitraum von 12 Monaten. Die errechnete geglättete Sonnenfleckenzahl **SSN liegt also 6 Monate hinter dem aktuellen Monat zurück**. Der SSN Wert kann deshalb nicht für Funkwettervorhersagen verwendet werden Die SSN wurde

eingeführt, da die Sonnenflecken nur gezählt werden, wenn sie gesehen werden. Es ist deshalb immer nur ein subjektiver Wert.

### Was versteht man unter Fluxwerte?

Flux bezeichnet die **Radiostrahlung der Sonne** und ist als Indikator für die Aktivität der Sonne weitaus verlässlicher als die oft "sprunghafte" Sonnenfleckenrelativzahl (Hauptgrund für die Einführung des Wertes SSN für wissenschaftliche Zwecke). Die Ionosphäre reagiert nicht unmittelbar auf die täglichen Änderungen der Sonnenfleckenanzahlen, wohl aber häufiger auf Änderungen des täglichen Fluxwertes. Je höher der Fluxwert, desto höher die Sonnenaktivität. Der Fluxwert wird auf der Wellenlänge 10,7 cm (2800 MHz) der Sonnenstrahlung gemessen. Die Energie dieser Wellenlänge ist zu gering um eine Ionisierung (Veränderungen) der Ionosphäre herbeizuführen, aber aus dem Fluxwert kann man unmittelbar anstehende Aktivitäten der Sonne eher ableiten. Details: siehe Anhang B "Sonnenwind-Fachbegriffe". Je höher der Fluxwert, desto besser die Ausbreitungsbedingungen auf Kurzwelle. Fluxwerte bewegen sich zwischen 60 (keine Sonnenflecken) bis 300.

### Was sind "Flares" (Fackeln)?



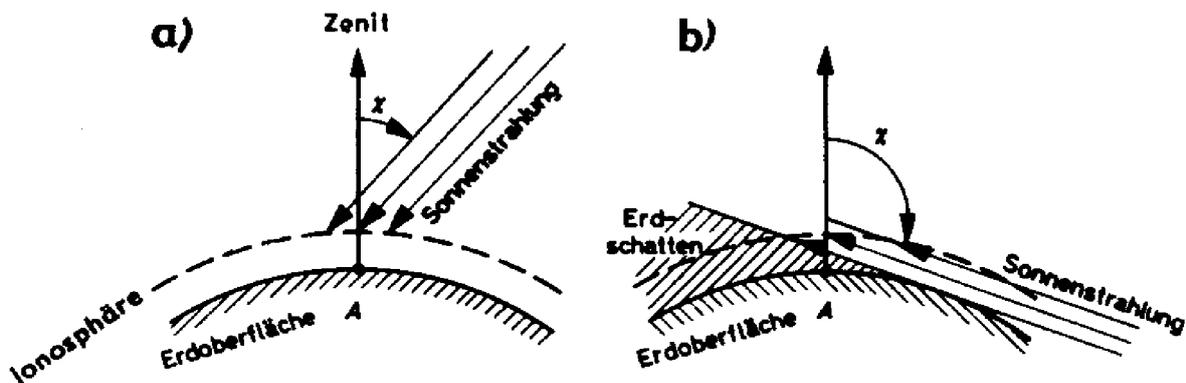
Flares sind außergewöhnliche, sehr energiereiche **Eruptionen/Explosionen der Sonne**, die sehr weit in das All reichen. Sie sind mit einem gigantischen Ausstoß von Partikeln ins All begleitet (Koronaler Massenauswurf). Die ersten Effekte eines Flares auf der Erde sind → nach 8 Minuten der Mögel-Dellinger-Effekt und → nach 12 Minuten bis zu einigen Stunden die Polkappenabsorption. Die Stärke (Röntgenlux) der Flares werden in 6 Klassen klassifiziert. Mit steigender Intensität löschen die Auswirkungen eines Flares immer höhere Frequenzen (Funkstrecken) aus, sogar bis etwa 300 MHz, die über die Tagseite der Erde laufen. Es kann zu einem Totalausfall von UKW-Funknetzen kommen. Die Ursache sind die sehr intensive Strahlung im extremen UV-Bereich und vor allem aber die begleitende Röntgenstrahlung, die auf der Erde bis in die tiefstgelegene, dichteste ionosphärische Schicht (D-Schicht) in etwa 60 bis 90 km vordringen und dort auf Grund ihrer hohen Energie weitaus mehr neutrale Luftmoleküle in Ionen und freie Elektronen trennt als das normale UV-Tageslicht. Details: siehe Anhang B "Sonnenwind-Fachbegriffe". Wenn die Schockwelle eines Flares das Erdmagnetfeld erreicht, löst sie starke Störungen/Änderungen des Erdmagnetfeldes aus. Es kommt zur Erhöhung der Indizes A und K.

### Was ist eine Gray-Line (Dämmerungszone)?

Die Wirkungsstärke der an einem bestimmten Punkt einfallenden Sonnenstrahlung schwangt ständig, und zwar

- erstens weil die von der Sonne ausgehende Strahlung nicht konstant ist,
- zweitens weil sich der Einfallswinkel der Strahlung in die Erdatmosphäre im Rhythmus der Tages- und Jahreszeit ändert.

Die größte Intensität wird dort erreicht, wo die Sonne senkrecht steht; sie nimmt um so mehr ab, je flacher die Strahlung einfällt. Nachts hört die Ionisation auf und wird langsam von den unteren Schichten der Ionosphäre her nach den oberen Schichten hin abgebaut. Man muss jedoch berücksichtigen, dass die Sonne auch von unten in die Ionosphäre hineinstrahlen kann, wenn sie an der Erdoberfläche bereits untergegangen ist. Siehe folgende Grafik:



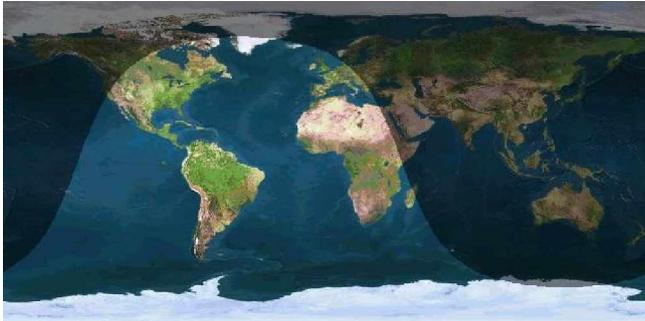
So wie die Sonnenstrahlung und die durch sie bewirkte unterschiedliche Ionisation sich an einem bestimmten Punkt der Erde zwangsläufig zeitlich ändern (Erddrotation), ergeben sich auch entsprechende Unterschiede zwischen Regionen/Punkten verschiedener geografischer Länge und Breite. Für uns KW-Funkamateure ist besonders der in der Grafik unter b) dargestellte Moment sehr interessant. Man nennt dies die "**Gray-Line**" (**Dämmerungszone**) bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang. Hier spielen sich besondere Ausbreitungsbedingungen ab, weil bei Sonnenaufgang noch nicht alle Schichten der Ionosphäre "aufgebaut" und bei Sonnenuntergang noch nicht wieder (außer bei der  $F_2$ -Schicht) "abgebaut" worden sind.

In der Dämmerungszone (+/- 30 Minuten um den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs und Sonnenuntergangs) ist es möglich, mit weit entfernten Kurzwellenstationen (bevorzugt unterhalb 3 MHz) in Verbindung zu treten, die sich ebenfalls gerade in der Dämmerungszone befinden müssen. Im ungünstigsten Fall kann das **Funkfenster** nur für 10 Minuten offen sein. Manchmal schließt es sich aber auch erst nach einer Dreiviertelstunde wieder.

Die Ursache für diese kurzzeitigen Weitverbindungen sind in der D-Region zu finden. Sie verschwindet in der Dämmerung am Abend relativ schnell und baut sich bei Sonnenaufgang erst langsam wieder auf. Flach einfallende Wellenfronten werden zu dieser Zeit nicht mehr von der D-Region absorbiert, sondern je nach **Restionisation** langsam abgeflacht und fast mit  $0^\circ$  Einfallswinkel gegen die E- oder F-Schichten geleitet. Dabei kann eine Entfernung überbrückt werden, die gewaltiger ist, als wenn die E- oder F-Schicht ohne Vorhandensein der D-Region direkt angestrahlt worden wäre.

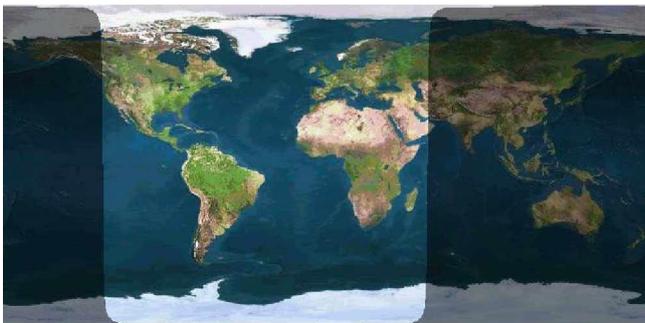
Wie bereits erwähnt, hängt die Elektronendichte der jeweiligen Ionosphärenschicht immer vom **Sonnenstand** (Tages- und Jahreszeit) und der jeweiligen **Sonnenaktivität** ab. Die jahreszeitlichen Unterschiede werden durch die nicht zueinander parallel stehenden Rotationsachsen der Sonne und der Erde verursacht.

Die Erdachse steht geneigt zur Sonnenachse. Diese Neigung (Ekliptik) bewirkt, dass es vier unterschiedliche Jahreszeiten auf der Erde gibt.



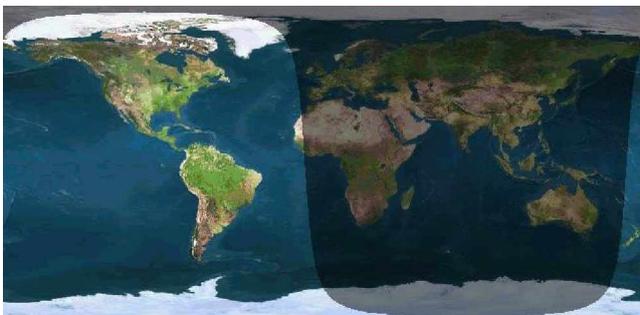
Das Bild links zeigt eine Darstellung einer **Gray-Line** kurz **vor Sonnenuntergang in DL im Monat Januar**. Diese sogenannte "Glocke" hat zu jeder Jahreszeit ihre eigene Form und läuft - dem Sonnenstand und der Tageszeit entsprechend - von rechts nach links über die dargestellte Erdoberfläche. Es ist deutlich zu

erkennen, dass die Arktis (Nordpol) zu dieser Jahreszeit noch ständig im dunkeln liegt und in der Antarktis (Südpol) den ganzen Tag über die Sonne scheint.

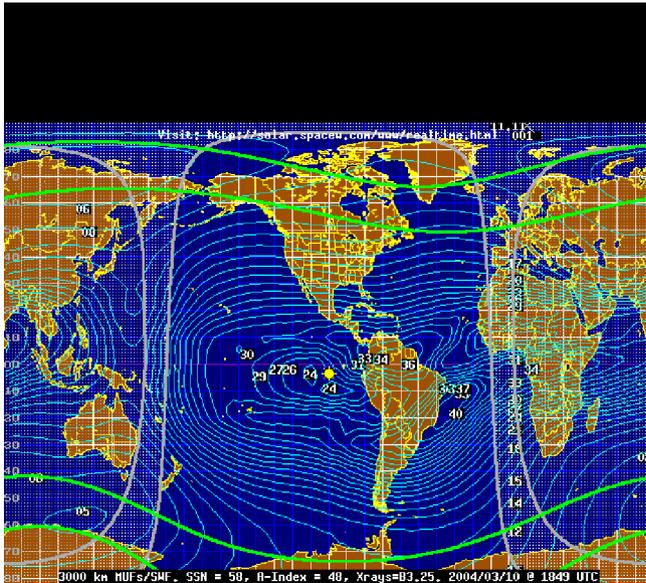


Nebenstehende Darstellung der Gray-Line gilt für den **20. März** (Frühlingsanfang). An diesem Tag herrscht sowohl auf der nördlichen wie auch südlichen Halbkugel Tag- und Nachtgleiche. Nord- und Südpol der Erdoberfläche erhalten die gleiche Sonnenmenge. Die Sonne steht senkrecht auf dem Äquator der Erde.

Diesen Zustand gibt es nur zweimal jährlich (Frühlings- und Herbstanfang). Die Gray-Line besteht aus einem mehrere 100 Kilometer breiten Band, das nur zweimal jährlich genau parallel zu den Längengraden verläuft. An allen anderen Tagen des Jahres jedoch verläuft die Dämmerungszone nicht genau parallel zu den Längengraden, sondern schräg oder gekrümmt. Die erste Begrenzung des breiten Bandes zum Tageslicht hin ist die Grenze, an der die Sonne gerade untergeht, die zweite Begrenzung ist die Linie bei der die Sonne bereits **12° hinter dem Horizont** untergegangen ist. Siehe Grafik b) oben. Im Bereich des breiten Bandes bestehen kurzzeitig außergewöhnlich gute Ausbreitungsbedingungen.



Links eine Gray-Line am 10. März um 19 Uhr UTC **10 Tage vor Frühlingsanfang**. Die Sonne hat den Nordpol noch nicht ganz erreicht, weil sie noch nicht genau senkrecht auf dem Äquator steht

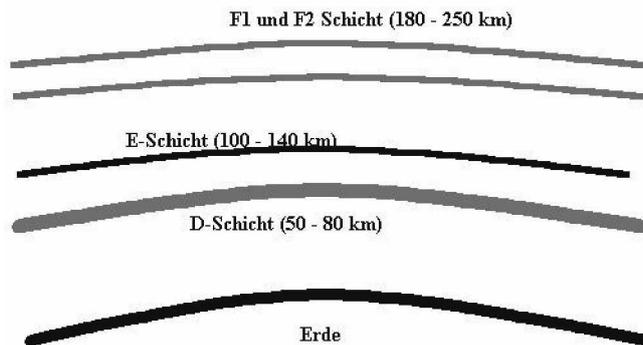


Diese Darstellung (Monitor Kopie) ist die gleiche für den Sonnenstand am 10. März um 19 Uhr UTC, aber als hochauflösende **MUF Weltkarte** des Programms PROLAB-PRO Version 2.0 und enthält diverse Informationen über die MUF für beliebige weltweite Funkverbindungen. Wer sich für dieses kostenpflichtige Programm interessiert findet eine englische Bedienungsanleitung unter: <http://www.spacew.com/www/realtime.html> In der nebenstehenden sehr stark verkleinerten Darstellung ist leider nicht deutlich zu erkennen, dass die Sonne fast senkrecht auf

dem Äquator steht (kleiner Punkt in der Mitte der Karte). Die Linien gleicher MUF Frequenzen zeigen die jeweils günstigste MUF für 3000 km lange Funkwege. Nutzt man diese Informationen als Funkamateurl, so ist zu erkennen, dass zu den angegebenen Zeiten innerhalb des Gray-Line Bandes günstige Funkverbindungen in Nord-Süd, wie auch Süd-Nord Richtung bestehen. Zu beachten ist allerdings, dass diese Bedingungen nur kurzzeitig anhalten.

Die oben dargestellte **Echtzeit MUF Weltkarte** (Real Time MUF) wird alle 5 Minuten erneuert und ist Teil des Programms PROLAB-PRO Version 2.0. Einen direkten Link zur Weltkarte findet man auf der Internationalen Linkseite unserer OV T16 Homepage unter "Funkausbreitung/Echtzeit MUF Weltkarte" mit Gray-Line Darstellung. Sie ist **kostenlos einzusehen**. Das komplette Programm PROLAB-PRO Version 2.0 kostet so um die US \$ 150, -

## Funktion der einzelnen Schichten der Ionosphäre



Die Ionosphäre besteht aus mehreren ionisierten Schichten in unterschiedlichen Höhen. Im allgemeinen sind drei Schichten vorhanden, die D-Schicht, die E-Schicht und die F-Schicht, wobei die F-Schicht zeitweise aus zwei Schichten, F<sub>1</sub> und F<sub>2</sub> bestehen kann. Außerdem kann es zu einer

unregelmäßig auftretenden sporadischen E<sub>2</sub>-Schicht kommen.

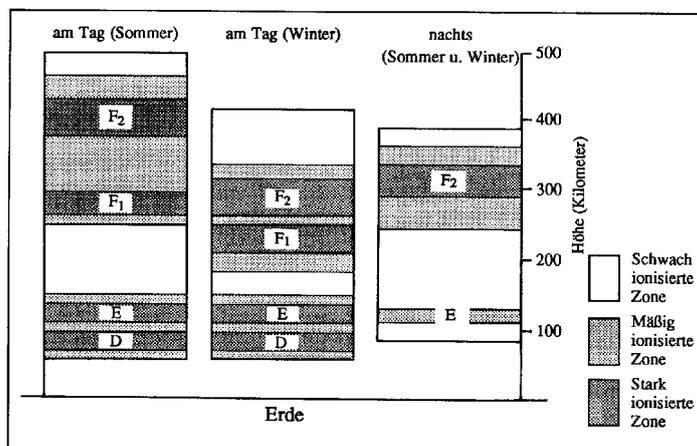
Die Intensität der solaren Strahlung beeinflusst nicht die Höhe der Schicht, sondern die Elektronendichte in der Schicht. Sie ist bei senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlung maximal. Mit zunehmender Neigung der Sonne wird die Ionisation schwächer und schwächer. Eine ständige Rekombination bewirkt, dass sich schließlich die ionisierte Schicht nach Untergang der Sonne auflöst, **aber** auf Grund einer sehr trägen Rekombinationszeit ist als einzige Ausnahme die F<sub>2</sub>-Schicht auch über die Nachtstunden in mehr oder weniger abgeschwächter Form vorhanden.

Alle ionisierten Schichten der Ionosphäre kann man mit einzelnen Maschendrahtzäunen vergleichen und die Wellenfronten, abhängig von ihrer Frequenz, mit unterschiedlichen großen Bällen. Je nach Schicht/Region sind in jedem Maschendrahtzaun unterschiedlich große Maschendrahtlöcher. Je nach Schicht/Region passen durch diesen Maschengrößen folgende Ballgrößen:

- Tischtennisbälle für sehr kurze Wellen (etwa 20 MHz)
- Tennisbälle für mittelkurze Wellen (etwa 8 MHz)
- Handbälle stellvertretend für Wellen um 4 MHz
- Medizinbälle für Wellen unterhalb 15 kHz

Durch die Maschendrahtlöcher der D-Region passen Tischtennis-, Tennis- und Handbälle, aber keine Medizinbälle. Die prallen vom Maschendrahtzaun ab und werden "reflektiert". Wellen um 15 kHz werden also von der D-Region reflektiert. Andererseits passen aber alle anderen Ballgrößen durch die Löcher für Medizinbälle hindurch

Schaut man senkrecht durch einen Maschendrahtzaun, so kann man optisch fast ungehindert hindurchsehen (Messung der maximalen Grenzfrequenz / Durchdringungsfrequenz). Je flacher man aber auf den entsprechenden Maschendrahtzaun sieht, desto "blickdichter" wird er und je eher wird ein in die gleiche Richtung geworfener Ball nicht durchgelassen und reflektiert. Diese Erkenntnis ist für uns bei der Betrachtung aller Schichten wichtig, die Sendeenergie nicht mit einem zu steilen Erhebungswinkel abzustrahlen.



## D-Schicht

Die wissenschaftlich präzise Bezeichnung der D-Schicht ist "**D-Region**" weil sie kein ausgeprägtes Maximum hat. Die D-Region befindet sich etwa 60 bis 80 km über der Erdoberfläche. Sie ist die unterste Schicht der Ionosphäre mit einer entsprechend hohen Gaskonzentration. Verglichen mit anderen Schichten ist die Stärke der Ionisation der **normalen** D-Region aber so minimal, dass die D-Region nicht in der Lage ist, Kurzwellen zu reflektieren (siehe Grafik Seite 8). Kurzwellen passieren aber die D-Region und werden dabei mehr oder weniger, abhängig von ihrer Frequenz, stark gedämpft oder absorbiert.

Die D-Region bereitet uns Kurzwellenamateure nur Probleme.

Zum Glück wird die volle Auswirkung der Sonnenstrahlung in der untersten Ionosphärenschicht durch die anderen oberhalb der D-Region liegenden Schichten etwas "abgebremst", sonst würde es bereits bei normaler Sonnenaktivität zum bekannten M-D-Effekt kommen. Der M-D-Effekt beruht auf sehr starke Ausbrüche von Röntgenstrahlung auf der Sonne, die auch mit Teilcheneruptionen begleitet sein können. Dadurch steigt das Absorptionsverhalten in der D-Region so stark an, dass kein "Passieren" mehr möglich ist. Der Kurzwellenfunk bricht dann fast völlig zusammen. Solche Erscheinungen treten aber nur auf der sonnenbeschienenen Seite der Erde auf. Röntgenstrahlen benötigen wie die Lichtstrahlen nur 8 Minuten von der Sonnenoberfläche bis zur Erde.

In der D-Region sind nur Reflexionen sehr langer Wellenlängen möglich. Je niedriger die Frequenz der Wellenfront ist, desto eher werden diese Frequenzen in der D-Region gedämpft. Die 160 m und 80 m Amateurfunkbänder werden am Tag, wenn die D-Region voll ionisiert ist, vollständig verschluckt. Bei höheren Frequenzen ab dem 40 m Band (die Grenze liegt bei etwa 4 bis 5 MHz) hat die D-Region jedoch keinen Einfluss mehr, auch wenn sie nach Sonnenaufgang vollständig ausgebildet ist. Die D-Region bildet sich nur durch Sonneneinstrahlung und baut sich sehr schnell und schlagartig nach Sonnenuntergang ab, so dass dann die Ausbreitungsbedingungen auf den niederfrequenten Bändern sehr schnell besser werden (Beispiel: Weitempfang von MW Rundfunksendern).

Die Ionisation der D-Region ändert sich im 11jährigen Sonnenzyklus. Der obere Teil der Region um etwa 70 bis 80 km, der durch die solare UV- und Röntgenstrahlung gebildet wird, ist beim Sonnenfleckenmaximum verständlicherweise stärker als bei einem Sonnenfleckenminimum. Der untere Teil im Bereich von 60 km ist dagegen zu Zeiten eines Minimums stärker als zu Zeiten eines Sonnenfleckenmaximums. Die erhöhte Ionisation rührt aus kosmischer Strahlung, die sich umgekehrt zum Sonnenzyklus ändert.

## **E-Schicht**

Die E-Schicht oder sog. "Heaviside" Schicht befindet sich in einer Höhe von etwa 100 bis 120 km. Sie überlappt sich geringfügig mit der D-Region und bildet sich über der Tagseite der Erde aus. Kurz nach Sonnenaufgang steigt die Ionisation langsam an und erreicht um die Mittagszeit ein Maximum. Sie fällt dann langsam wieder ab bis zum Sonnenuntergang und ist stark von der geografischen Breite abhängig. Die Auflösung der Schicht nach Sonnenuntergang erfolgt sehr schnell und dauert fast nur eine Stunde. Mitunter besteht auch während der Nachtstunden eine E-Schicht, die allerdings von sehr geringer Ionendichte ist. Die E-Schicht reflektiert Frequenzen ab etwa 1,5 MHz.

Außer der normalen E-Schicht gibt es aber unregelmäßige Erscheinungen wie die etwas dickere E<sub>2</sub>-Schicht und die hoch veränderliche dünne sporadische E<sub>s</sub>-Schicht

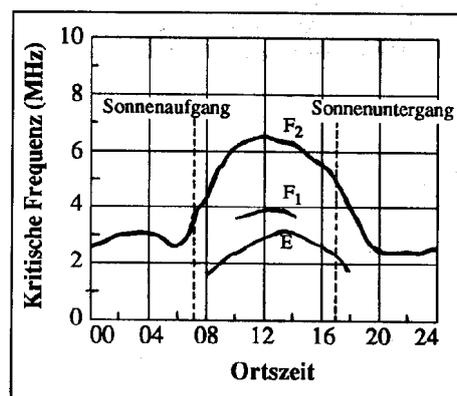
## Es-Schicht

Als sporadische E-Schicht ( $E_s$ -Schicht) bezeichnet man eine zeitlich und örtlich begrenzte sehr unregelmäßige (sporadisch) auftretende Ionisierung in Höhe der normalen E-Schicht. Ihre **Struktur ist sehr kompliziert** und nicht schichtförmig zusammenhängend, sondern mehr wolkenartig. Die  $E_s$ -Schicht ist als Ionosphärenstörung aufzufassen und korreliert mit erdmagnetischen Störungen und Polarlichtern. In einer  $E_s$ -Schicht sind in der Ionenverteilung intensive Plasmaklumpen, verhältnismäßig kleine Felder mit verdichtetem solarem Plasma und solche mit stark schwankendem Brechungsindex eingelagert. Die Ursache scheinen sehr starke Höhenwinde mit hoher Geschwindigkeit und unterschiedlichen Richtungen mit gegenseitig geringen Höhenabstand erzeugten Windscherungen zwischen den D- und E-Schichten zu sein, welche die im Raum befindlichen Ionen und Elektronen zu horizontalen Wolken von erhöhter Ionen- und Elektronenkonzentration zusammendrängen können. Diese dünnen, intensiv ionisierten  $E_s$ -Schichten bestehen überwiegend aus langlebigen Metallionen und Elektronen, die von **Meteoritenresten** (Metalldämpfen) stammen. Durch eine Abwärtsbewegung werden die  $E_s$ -Schichten den Turbulenzen der dichteren Luftschichten aufgewirbelt und schließlich aufgelöst.

Jahreszeitlich erscheinen die  $E_s$ -Schichten vorwiegend in den Sommermonaten (Mai bis September mit einem Maximum im Juni und Juli, sowie um die Jahreswende. Ein Zusammenhang zwischen der Sonnenaktivität und dem Auftreten von  $E_s$ -Schichten scheint nicht zu bestehen.

Während einer  $E_s$ -Schicht können sehr große Sprungdistanzen über 2000 km und mehr aber auch manchmal kurze Entfernungen (etwa 500 km) überbrückt werden. Auch Mehrfachsprünge können vorkommen. Sie sind auf Reflexionen an  $E_s$ -Wolken zurückzuführen. Bei außergewöhnlich starker Ionisation (sehr selten) können auch 2 m-Wellen reflektiert werden (VHF Überreichweiten)

## F-Schichten



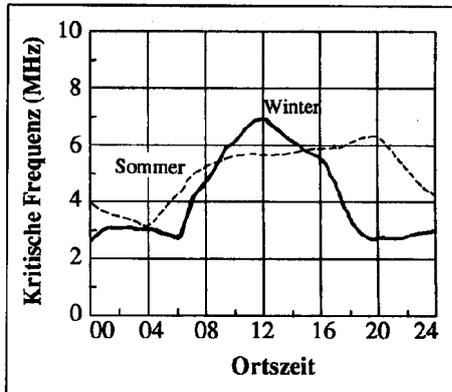
Die Reflexionsfähigkeit der Ionosphärenschichten in Abhängigkeit des Sonnenstandes  
Grafik: Gerd Klawitter, Ionosphäre und Wellenausbreitung, Siebel Verlag, 3. Auflage 2000

Die F-Schicht der Ionosphäre besteht aus zwei Schichten, die  $F_1$ -Schicht und die  $F_2$ -Schicht, die beide unterschiedliche Merkmale haben. Für Kurzwellenverbindungen hat sie allergrößte Bedeutung, das gilt vor allen Dingen für die in sehr großer Höhe liegende  $F_2$ -Schicht.

## F<sub>1</sub>-Schicht

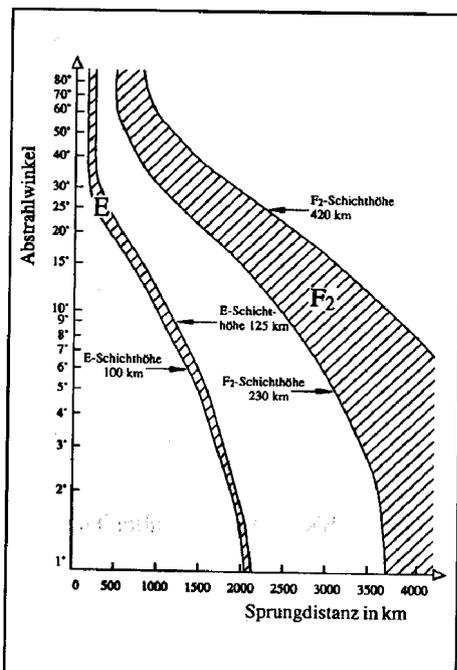
Die F<sub>1</sub>-Schicht ist nur bei Tageslicht vorhanden. Ihre Höhe beträgt rund 170 bis 220 km über der Erde. Das Verhalten der F<sub>1</sub>-Schicht ist vergleichbar mit der E-Schicht.

## F<sub>2</sub>-Schicht



Die Höhe der F<sub>2</sub>-Schicht beträgt etwa 250 bis 450 km über der Erde. Nur dieser Schicht ist es zu verdanken, dass auf Kurzwelle auch nachts eine Raumwellenausbreitung stattfindet. Das kommt daher, dass in diesen Höhen nur noch sehr wenige Gasmoleküle vorhanden sind und die freien Elektronen dadurch sehr lange zur Rekombination benötigen. Selbst nach einer langen Winternacht ist immer noch eine so starke Restionisation vorhanden, dass die ganze Nacht lang Funkverbindungen über die F<sub>2</sub>-Schicht

möglich sind. Die Grafik zeigt eine Anomalie der F<sub>2</sub>-Schicht gegenüber der F<sub>1</sub>-Schicht und zwar das Reflexionsverhalten der F<sub>2</sub>-Schicht in Abhängigkeit der Jahreszeit (Quelle: Gerd Klawitter, Ionosphäre und Wellenausbreitung, Siebel Verlag, 3.Auflage 2000) Bei der F<sub>1</sub>-Schicht steigt die Grenzfrequenz mit der Höhe des Sonnenstandes. Die in den Mittagsstunden gemessene F<sub>1</sub>-Schicht-Grenzfrequenz ist im Sommer deutlich höher als die F<sub>1</sub>-Schicht-Grenzfrequenz mittags in einem Wintermonat. Ganz anders verhält sich die F<sub>2</sub>-Schicht-Grenzfrequenz (siehe Grafik). Hier ist die Spitzenkonzentration in der Sommermitte niedriger als in der Wintermitte. Die Ursachen für dieses Verhalten sind noch nicht geklärt.



Die Ionisation der F<sub>2</sub>-Schicht schwankt erheblich und weist einige Unregelmäßigkeiten auf. So zum Beispiel die oben dargestellten maximalen Grenzfrequenzen / Durchdringungsfrequenzen im Sommer und Winter. Wie bereits erklärt, wird diese QRG durch einen Sendeimpuls senkrecht zur F<sub>2</sub>-Schicht ermittelt (Seite 10). Die Grenzfrequenz der F<sub>2</sub>-Schicht erscheint ungewöhnlich niedrig, aber wer sendet schon senkrecht zur Schicht. Man kann diese niedrigen Grenzfrequenzen dadurch umgehen, indem man mit niedrigeren Abstrahlwinkeln sendet. Wie bereits erklärt, erhöht sich die Grenzfrequenz mit dem Einfallswinkel der Wellenfront in die Schicht, so auch bei der F<sub>2</sub>-Schicht. In der links gezeigten Grafik sind die möglichen Sprungdistanzen in Abhängigkeit des Abstrahlwinkels dargestellt. Vorteile bringt da eine vert. pol. magnetische Loop, die alle Abstrahlwinkel erfasst.

Zusammenhang zwischen dem Abstrahlwinkel und der Entfernung Sender-Empfänger in Abhängigkeit der Höhe der Ionosphärenschicht. Quelle: Gerd Klawitter Ionosphären und Wellenausbreitung, Siebel Verlag, 3. Auflage 2000.

## Vorhersageprogramme

Es gibt unendlich viele Vorhersageprogramme, kleine, große, teure, preiswerte und kostenlose, aber alle leben von den gleichen einzugebenden solaren oder anderen Parametern, nur die verwendeten Algorithmen und die Software sind unterschiedlich. Die Vorhersagen über die zu erwartenden Ausbreitungsbedingungen sind in allen Fällen nur ableitbare Näherungen, die nur für einen bestimmten Zeitraum und nicht auf den Tag genau zutreffen. Es sind nur **statistische Vorhersagen** von mittleren Werten, die mit bestimmter prozentualer Häufigkeit unter- oder überschritten werden.

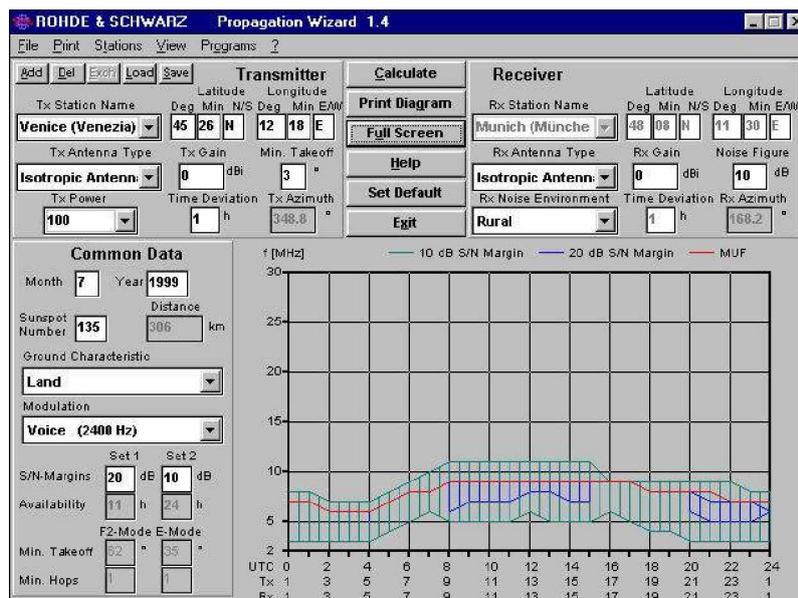
Auch nur einige Programme der großen Auswahl hier aufzuführen ist nicht möglich. Man müsste hierzu einen zweiten Abend vorsehen.

Ein besonders interessantes Programm für uns Kurzwellenamateure bietet die Firma Rohde & Schwarz in München, das in Kombination mit ihren Sende-, Empfangs- und Peilanlagen benutzt wird (wurde?). Es ist das Programm Propagation Wizard (propwiz.exe)1.42.

Dieses Programm ist auch **kostenlos als Demoversion** in englisch erhältlich und funktionsfähig fest auf Vorhersagen für den Empfangsort München eingerichtet. Für Vorhersagen über große Entfernungen ist es aber unerheblich, ob man in Hamburg oder München wohnt, die HF-Vorhersage wird sehr ähnlich ausfallen. Das Programm ist sehr kompakt aufgebaut und berücksichtigt auch die Oberflächenleitfähigkeiten. Die erforderlichen Vorkenntnisse sind gering und das Programm ist sehr benutzerfreundlich. Es lassen sich diverse Antennentypen auswählen.

Die zeitlichen Fehler zu München (11° 30' E) kann man durch Berücksichtigung seines eigenen Längengrades ausgleichen, da 1 Stunde = 60 Minuten = 15 Längengrade sind. 1 Längengrad entspricht 4 Minuten Zeitdifferenz.

Die Vollversion hat mal DM 580.- gekostet. Die Standortliste der Demoversion enthält 3676 Orte. Nach Anklicken des Ortes werden sofort die zugehörigen geografischen Koordinaten angezeigt, d.h. man könnte auch beliebig andere Koordinaten eingeben, nur kann man seine eigenen Koordinaten der Station nicht eingeben, da die Demoversion auf München fixiert ist. Als max. Sendeleistung lassen sich 1000 Watt eingeben.



Stark verkleinerte Darstellung der Oberfläche der Programms Propagation Wizard 1.4.

Die Berechnung zeigt die Ausbreitungsbedingungen zwischen Senden und der Partnerstadt Pieve di Sacco (Nähe Venedig) anlässlich des OV T16 Fieldays im Juli 1999, die im Vorfeld zeigten, dass ein QSO auf 7 MHz um 9 UTC möglich gewesen wäre. Aber unsere Partner in Pieve di Sacco waren nicht verfügbar.

Zu beachten ist, dass das Programm keine Sommerzeit berücksichtigen kann.

DL6QA, F. Flakowski im Juli 2004