Ausbreitung von Funkwellen, die

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

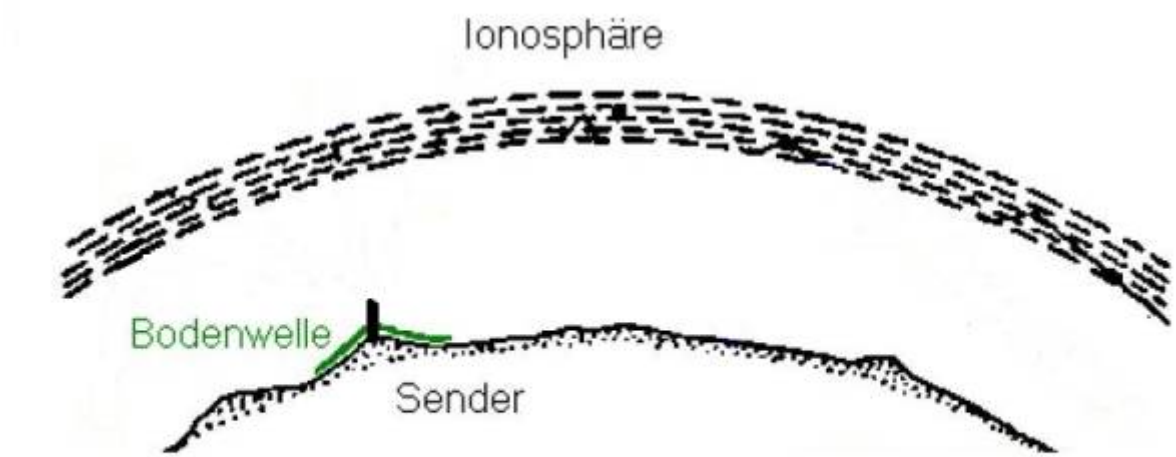
Elektromagnetische Wellen breiten sich grundsätzlich mit Lichtgeschwindigkeit aus, wie wir schon als Berechnungsgrundlage bei den Frequenzbändern gesehen haben.

Die Ausbreitung der Funkwellen bis 30 MHz erfolgt grundsätzlich anders, als die Ausbreitung von Funkwellen im Bereich darüber. Die Frequenz 30 MHz ist hier nur ein Richtwert und darf hier nicht als scharfe Grenze gesehen werden.

Weiterhin breiten sich Funkwellen in der Regel immer Kreisförmig um einen Sender herum in alle Richtungen aus, wenn man keine Richtantenne verwendet.

Lang-/Mittel-/Kurzwellen bis 30 MHz

Bodenwellen



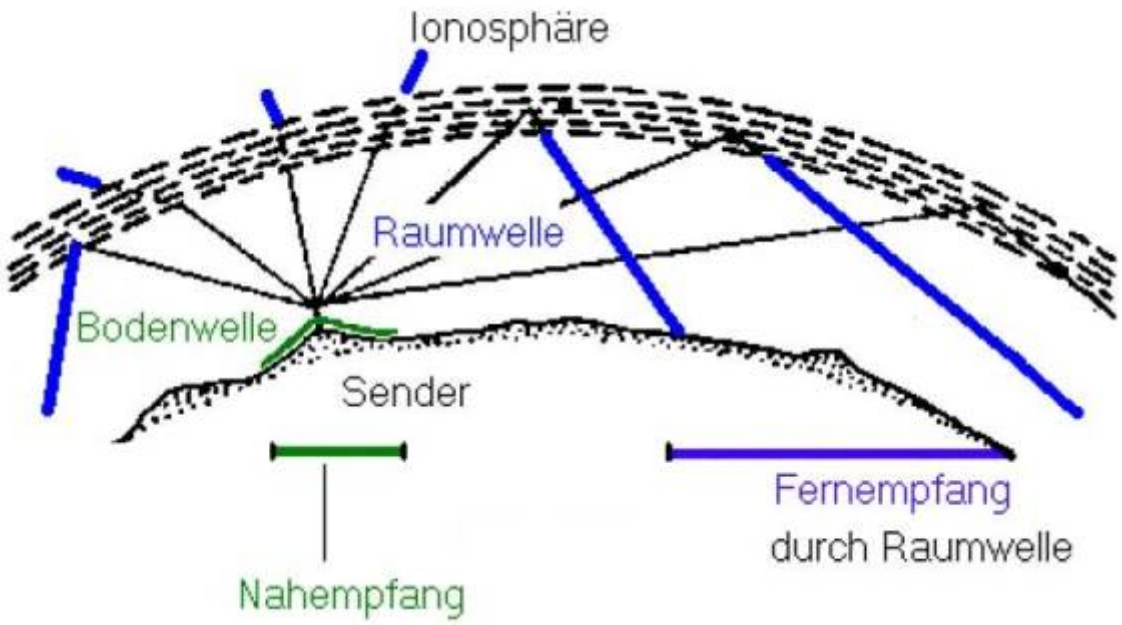
Bodenwellen werden gradlinig vom Sender abgestrahlt d.h. sie breiten sich entlang der Erdoberfläche aus. Dabei werden die Wellen von der Erdoberfläche selbst beeinflusst. Berge sind unüberwindbare Hindernisse für Bodenwellen - und über Täler gleiten diese Wellen einfach hinüber. Der Einfluss von Berg und Tal nennt man Dämpfung. Diese hat direkte Auswirkungen auf die Stärke einer Funkwelle beim Empfänger (die sogenannte Feldstärke).

Bodenwellen reichen über den sichtbaren Horizont hinaus und können (theoretisch) zwischen 20 (bei 28 MHz) und 150 km (bei 3,5 MHz) überbrücken. Außerdem sind Bodenwellen unabhängig von Tages-

und Jahreszeiten und ermöglichen so zu jedem Zeitpunkt eine qualitativ sehr gute Verbindung zum Funkpartner auf kurzen Distanzen.

Übrigens: Im Bereich der Längstwellen (unterhalb 1 MHz) sind die Bodenwellen schon extrem weitreichend und können sogar unterhalb der Wasseroberfläche der Weltmeere empfangen werden. Man nutzt dies im militärischen Bereich für die Kommunikation mit getauchten U-Booten.

Raumwellen



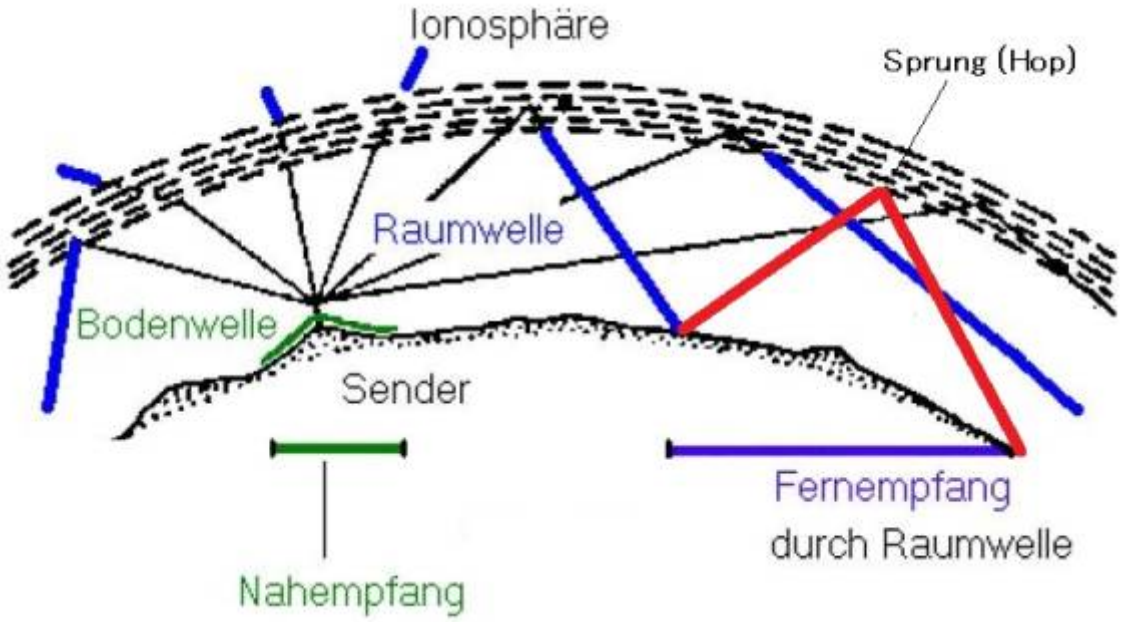
Diese sind für den Funkbetrieb auf Kurzwelle wesentlich interessanter. Man versteht darunter diejenigen Wellen, welche von einer Sendeantenne schräg in den Himmel abgestrahlt werden.

Wie wir alle in der Schule gelernt haben, wird die Erde von der Atmosphäre umgeben. Diese besteht aus mehreren Luftschichten unterschiedlichte Dichte, und wird auch Ionosphäre genannt.

Wichtig für Funkwellen sind die D-Schicht (60-100 km Höhe), die E-Schicht (100-150 km Höhe) und die F-Schichten (zwischen 170 und 400 km Höhe). Vor allem letztgenannte sorgen dafür, das von unten schräg einfallende kurze Funkwellen reflektiert und zur Erde zurückgestrahlt werden.

Dieser Effekt ist vergleichbar mit einem Spiegel, welcher das Licht einer Taschenlampe auf eine gegenüberliegende Wand zurückwirft. Man denke in diesem Zusammenhang vielleicht auch daran, wie beim Billard-Spiel die Kugeln über die Bande abprallen bei einem Stoß mit dem Queue.

Zusätzliche Sprünge



Funkwellen zwischen 10 und 30 MHz werden nun von diesen Schichten (speziell den F-Schichten) reflektiert und wieder zur Erde zurück „geworfen“. Vielfach werden die Wellen von der Erdoberfläche selbst wieder in den Raum gestrahlt, so dass mehrere Sprünge entstehen. Die Funkwellen springen hin und her wie die Kugeln in einem Flipperautomaten.

Kommen ausreichend viele Sprünge zusammen (bei günstigen atmosphärischen Bedingungen sowie hohe Sendeleistung), kann die Funkwelle einmal um die ganze Welt laufen. Der Effekt: Der Funker hört sich selbst mit einer deutlichen Zeitverzögerung in seinem Lautsprecher.

Mehrwegempfang

Von einem Mehrwegempfang spricht man, wenn das Funksignal (z.B. durch Reflektionen) mehrfach von einem Empfänger aufgenommen und damit quasi doppelt oder dreifach gehört wird. Dies kann auf Kurzwelle genauso geschehen, wie auf UKW, wo Reflektionen jedoch häufiger vorkommen.

Bei einem Mehrwegempfang wird das Funksignal quasi „unscharf“ - man hört das Signal verkratzt und unter Umständen sogar verstümmelt und/oder mit einem Echo.

Aufladung der Atmosphäre

Die Fähigkeit der Luftschichten zur Reflexion von Funkwellen entstehen durch eine ständige Aufladung mittels Sonneneinstrahlung. Man nennt diesen Effekt Ionisation (daher auch Ionosphäre. Da sich die Erde selbst um ihre eigene Achse dreht und zudem noch in einer großen Ellipse um die Sonne fliegt entstehen die uns sehr bekannten Tages- und Jahreszeiten. Hierdurch werden die Luftschichten mal mehr und mal weniger stark durch die Strahlen der Sonnen aufgeladen. Die Stärke der Sonnenstrahlen selbst fällt und steigt zudem noch einem 11 Jahre dauernden Rhythmus, welcher am besten anhand der Zahl beobachtbarer Sonnenflecken beobachtet werden kann.

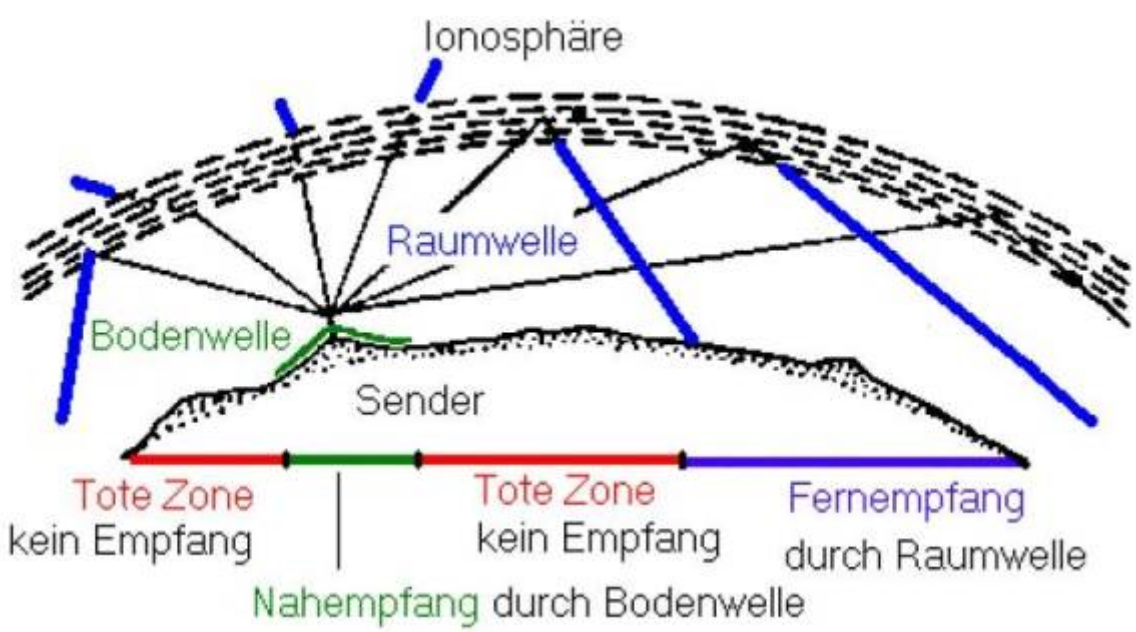
Das Funkwetter



Die oben angeführten Bedingungen führen nun dazu, daß eine Verbindung zu weit entfernten Stationen nicht zu jeder Tageszeit auf jeder Frequenz möglich ist. Speziell die Frequenzen zwischen 20 und 30 MHz (z.B. 10 Meter Amateurfunkband und 11-Meter CB-Funkband) sind sehr stark von den Vorgängen auf der Sonnenoberfläche abhängig und somit stets nur in Jahren großer Sonnenaktivitäten für Fernfunkverkehr zu gebrauchen. Daher werden die Aktivitäten und Aufladefähigkeiten der Ionosphäre genauestens beobachtet und in Funkwetter-Berichten interessierten Funkern zur Verfügung gestellt.

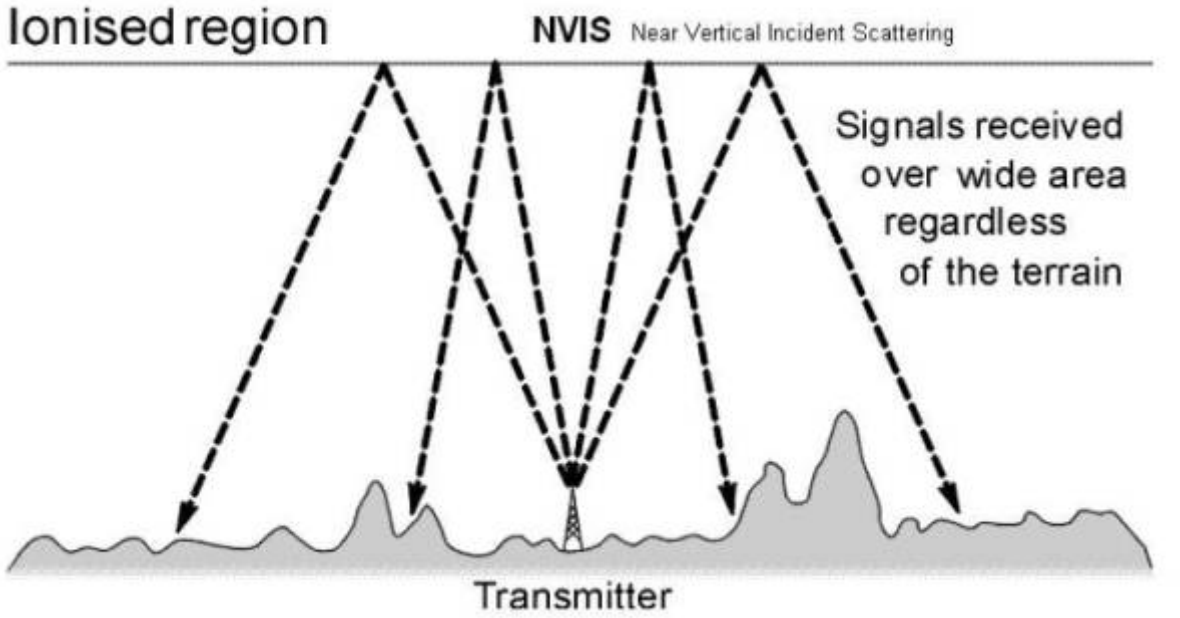
Aufgrund von Sonnenbeobachtungen können so unter anderem die Grenzfrequenzen LUF (Lowest Usable Frequency) und MUF (Maximum Usable Frequency) bestimmt werden. Zwischen LUF und MUF befindet sich der Frequenzbereich, welcher am besten geeignet ist, eine Fernverbindung herzustellen. In Jahren maximaler Sonnenaktivität steigt die MUF auf 35 MHz und ermöglicht Funkverkehr rund um die Welt auch für aktive CB-Funk mit kleiner Sendeleistung und natürlich auf allen Amateurfunkbändern. In Jahren geringer Sonnen-Aktivität liegt die MUF meist um 15 MHz herum. Frequenzen oberhalb de MUF sind für den Zuhörer praktisch „tot“ und nur für lokale Funkgespräche (per Bodenwelle) nutzbar.

Bereiche ohne Empfang



Charakteristisch für Funkgespräche über Raumwellen ist das Auftreten einer oder mehrere Toter Zonen. Darunter versteht man den Bereich, in welchem Bodenwellen nicht mehr - und Raumwellen noch nicht empfangbar sind. Weitere Tote Zonen entstehen zwischen den Auftreffpunkten der Raumwellen. In einer solchen Toten Zone kann das Signal der sendenden Funkstation nicht empfangen werden, selbst wenn diese (wie im 10-Meterband oft zu beobachten) nur wenige Kilometer vom Empfänger entfernt ist.

Wie man tote Zonen überbrückt



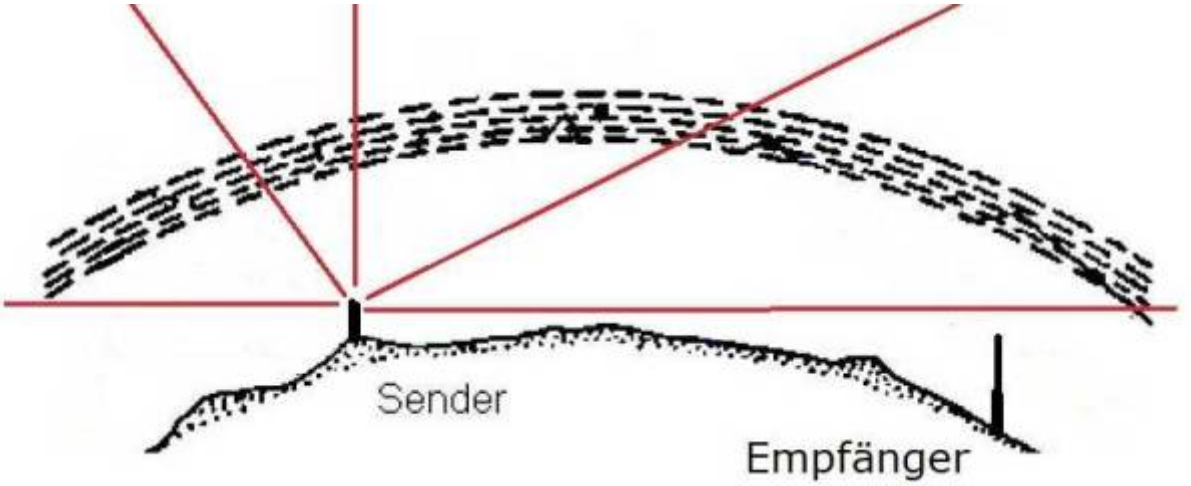
Auf den Frequenzbereichen zwischen 15 und 30 MHz umfasst die tote Zone üblicherweise die komplette Bundesrepublik Deutschland und die angrenzenden europäischen Länder. Kurzwellenfunk auf den Frequenzen unterhalb 15 MHz ist tagsüber aufgrund ionosphärischen Bedingungen dann nicht brauchbar (Stichwort: Tagesdämpfung). Im Falle von Katastrophen und Notfällen wollen Notfunker auf Kurzwelle aber eine stabile Verbindung von München nach Berlin einrichten - und zwar 24 Stunden am Tag, ohne Unterbrechung. Hier kommt eine besondere Abstrahltechnik für Funkwellen namens NVIS = Near Vertical Incident Scatter„ zum Einsatz.

Auf gut Deutsch bedeutet das: Mittels spezieller Antennen werden die Funkwellen nicht flach über den Horizont gesendet, sondern steil nach oben in die Ionosphäre geleitet, von wo diese wiederum steil nach unten reflektiert werden. Man kann es leicht erraten und anhand der Grafik erkennen: Wenn die Funkwellen steil nach unten kommen, lösen sich Tote Zonen mehr oder weniger in Wohlgefallen auf und schrumpfen auf wenige Kilometer zusammen. Hier sind dann auch tagsüber Distanzen bis zu 600 Kilometer auf Frequenzen über 15 MHz erreichbar.

Kurzer Sprung

Ein besonderer Effekt der Raumwellenausbreitung betrifft den Frequenzbereich zwischen 25 und 60 MHz (oft auch auf noch höheren Frequenzen), und ist daher auch für den UKW-Funk. Dieser Effekt wird Short Skip (in etwa: „Kurzer Sprung“) genannt. Hierbei werden die Funkwellen nicht erst an den F-Schichten der Ionosphäre, sondern bereits an nur sporadisch auftretenden E-Schichten reflektiert. Funkamateure sprechen daher auch von Sporadic-E-Bedingungen. Das Resultat sind Sprünge der Funkwellen im Bereich bis 1.000 km Entfernung um den Sender herum. Praktisch sieht das in etwa so aus: Normalerweise erreicht man im 10-Meterband der Funkamateure zur Zeiten großer Sonnenaktivitäten viele Länder jenseits des Atlantiks. Unter Short Skip Bedingungen werden plötzlich Funkverbindungen im europäischen Raum (z.B. von Nord-Deutschland ans Schwarze Meer oder von Italien nach England) ermöglicht, welche normalerweise wegen zu kurzer Bodenwellen nicht möglich wären.

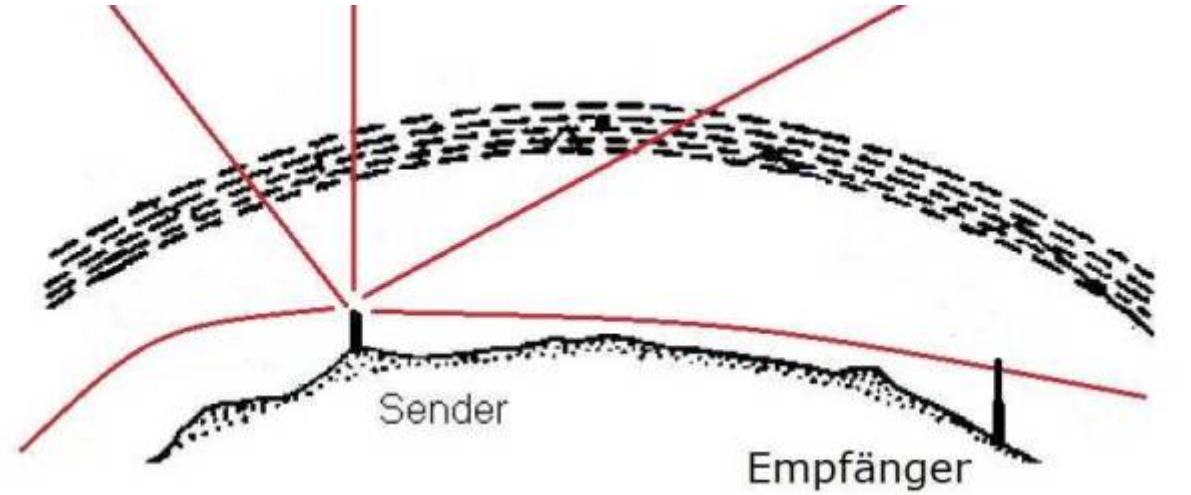
Ausbreitung ultrakurzer Funkwellen (UKW)



Frequenzen ab ca. 30 MHz aufwärts werden im Regelfall nur die zuvor beschriebenen Bodenwellen ausnutzen. Die selbstverständlich auch vorhandenen Raumwellen werden von den atmosphärischen Luftschichten nicht mehr reflektiert (sie sind „zu hart“ dafür) und entweichen nahezu ungehindert in den Weltraum. Das diese dort aber nicht verloren gehen, zeigt diese Kapitel weiter unten.

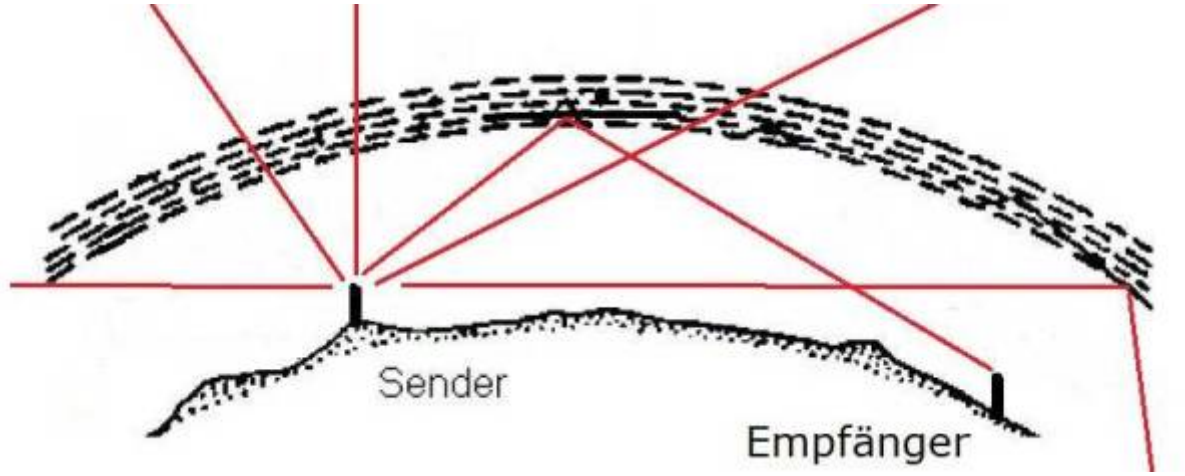
Bodenwellen breiten sich, wie schon gehört, quasi-optisch aus, das bedeutet eine gradlinige Ausbreitung der Wellen bis zum Horizont und darüber hinaus. Alle Stationen die vom Sender aus gesehen hinter dem Horizont liegen, dürften daher theoretisch dessen Signale nicht mehr empfangen können.

Auch hier ist Weitverkehrsfunk möglich



Trotzdem sind auf UKW-Frequenzen Entfernungen von 1.000 km durchaus überbrückbar. Dies wird durch mehrere Effekte möglich. Zum einen „krümmen“ sich Funkwellen bei einer quasi-optischen Verbindung hinter den Horizont und reichen theoretisch ca. 25% weiter, als die Entfernung vom Sender zum Horizont beträgt. Die im Kapitel der Ausbreitung von Kurzwellen beschriebenen Sporadic-E-Bedingungen helfen hier auch in gewissen Grenzen mit.

Normales Wetter - nur "falsch herum

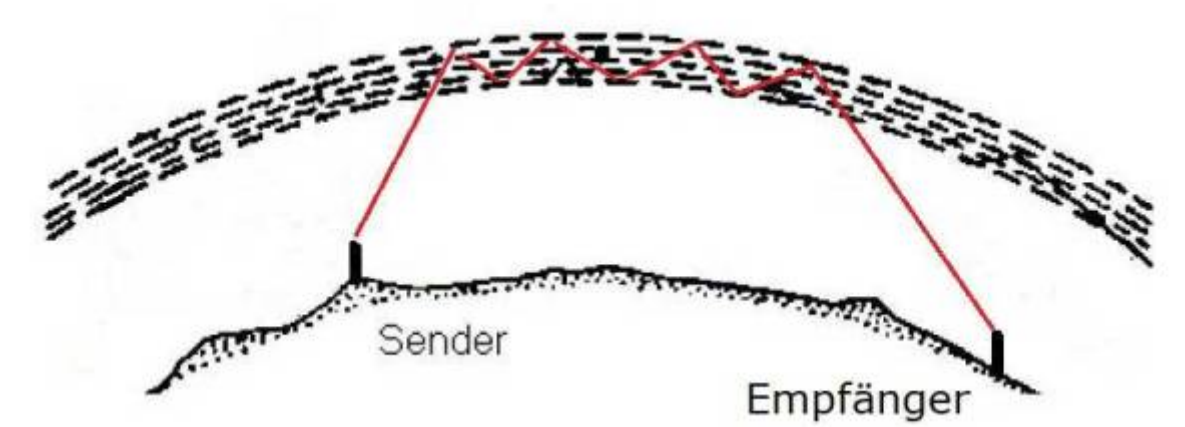


Eine weitere Ursache für die oben genannten Reichweiten sind die Inversions-Wetterlagen. Niedrige Luftschichten der uns umgebenden Atmosphäre werden im Regelfall mit zunehmender Entfernung vom Erdboden immer kühler, wobei der Temperaturübergang hier aber fließend ist. Sollte dieser Übergang jedoch einmal sehr scharf abgegrenzt sein (eine Luftschicht mit 5°C grenzt an eine Luftschicht mit 10°C) werden die Funkwellen an dieser Grenzstelle zum Erdboden reflektiert.

Die Stärke der Inversion hängt vom Temperaturunterschied der angrenzenden Schichten ab. Wenn zum Beispiel die Luft unterhalb einer Wolkenbank 10°C warm ist und die Luft oberhalb dieser Bank 15°C durch die direkte Sonnenwärme auf 15°C aufgeheizt wurde, sind dies ideale Bedingungen für den Weitverkehrsfunk auf UKW.

BOS-Funker mit umfangreicher Betriebserfahrung im 4-Meter-Funkband können hiervon „ein Lied singen“, denn gerade die Frequenzen um 70 MHz herum sind sehr stark anfällig für Inversions-Wetterlagen. Das Ergebnis: Auf dem heimischen 4-Meter-BOS- Relais waren Nutzer von Funkrelais in mehreren hundert Kilometer Luftlinie zu hören - und störten den lokalen Funkverkehr massiv.

Eine Transportröhre für die Funkwellen



Für den Fall das sich eine kalte Luftschicht zwischen zwei sehr warmen und feuchten Luftschichten befindet, spricht man von einem Kanal bzw. einem Duct. Die Funkwellen verbleiben sehr lange innerhalb dieses Kanals, weil sie immer wieder zwischen den umgebenden Luftschichten hin und her gebrochen (reflektiert) werden. Im 2-Meterband der Funkamateure können durch solch einen Duct maximal Reichweiten bis 1.500 km überwunden werden.

Turbulenzen - des Funkers Freud', das Flugzeugpassagiers Leid'

Turbulenzen der Luft sind für Flugzeuge und deren Passagiere äußerst unangenehm. Für Funkamateure jedoch bieten sie eine dritte Möglichkeit, weite Entfernungen zu überbrücken. Man spricht hier von Scattern. Die Funkwellen werden direkt an diesen Turbulenzen reflektiert und zur Erde gestrahlt. Liegt eine solche Turbulenz knapp über dem sichtbaren Horizont, sind sehr große Entfernungen zwischen Sender und Empfänger möglich.

Weitere Störungen der Luftschichten, welche ebenfalls für Weitverkehrsverbindungen verantwortlich sein können, sind z.B. Regenschauer oder „schwere“ Gewitterwolken (das gefrorene Wasser in den Wolken), welche speziell im Bereich ab 1.000 MHz (1 GHz) für Reflexion sorgen können (Regen-Scatter).

Finden die vorgenannten Erscheinungen in großer Höhe, das heißt in der Troposphäre (5 bis 10 km Höhe) statt, spricht man von Tropo-Scatter. Die zuvor bereits angesprochenen sporadisch auftretenden E-Schichten gehen meist einher mit Tropo-Scatter.

Aufsehenerregendes am Nachthimmel



Mit zunehmender Höhe findet man einen weiteren Effekt, welcher zuweilen des Nachts auch unter Nichtfunkern großes Aufsehen erregt. Wir sprechen hier von Spuren oder „Schweifen“, welche Meteore hinterlassen, wenn diese durch unsere Erdatmosphäre fliegen. Diese Spuren bestehen aus Staubteilchen, welche der Meteor beim Durchflug verliert und welche durch die Luftschichten elektrisch aufgeladen werden (Ionisation).

Funkamateure benutzen die Meteorschweife besonders in Zeiten umfangreicher Meteoriten-Schauer, welche mit MS (Meteo-Scatter) bezeichnet werden. Jedes Jahr im August (Perseiden) und im November (Leoniden) kreuzt die Erde die Bahn von Meteoriten-Strömen. Diese Zeiten sind auch für Hobby-Astronomen spektakulär, bieten diese doch unvergleichliche Schauspiele am nächtlichen Himmel.

Die kurze Lebensdauer der durch einen Meteor erzeugten Spuren bedingen für Funkamateure eine besondere Betriebstechnik: Nämlich die Übertragung von Morsezeichen mit einer Geschwindigkeit zwischen 250 und 1.000 Buchstaben pro Minute.

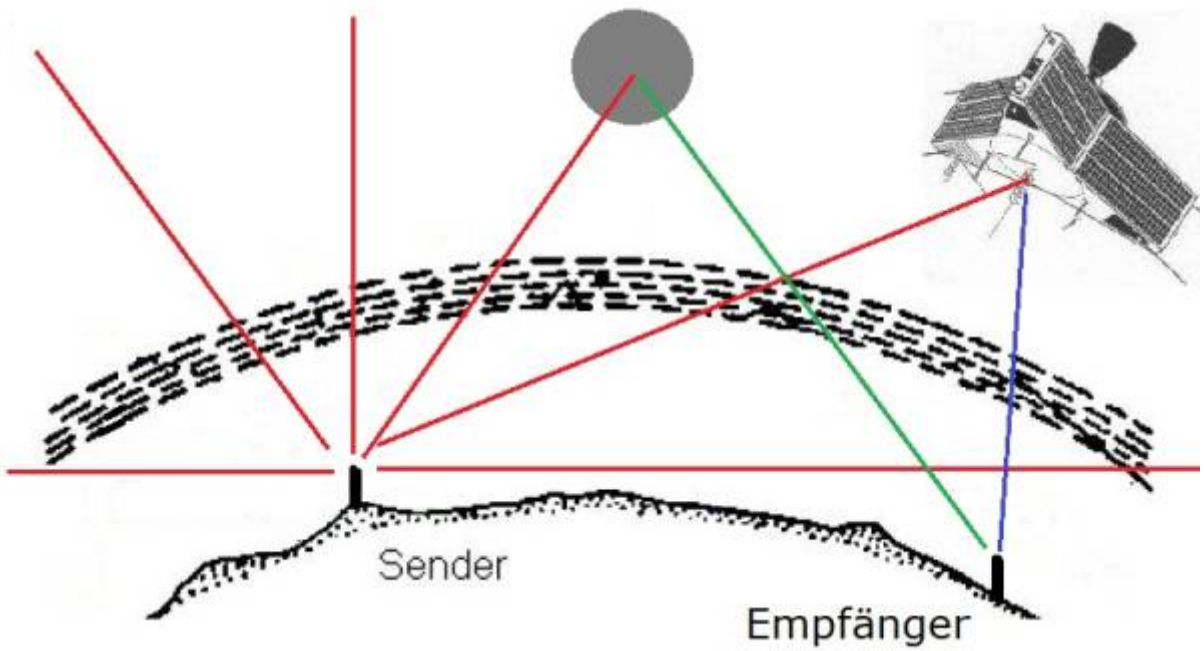
Nordlicht - auch etwas weiter südlich möglich



Eine in der Bundesrepublik seltene und eher ungewöhnliche Möglichkeit, wie ein Sender eine Reichweitenerhöhung im UKW Bereich erreichen kann wird Aurora genannt, eine nordlichtähnliche Erscheinung am Abend- oder Nachthimmel. Hierbei wird die Atmosphäre derart stark aufgeladen (ionisiert) das sie zu leuchten anfängt und hierbei auch Funkwellen reflektieren kann.

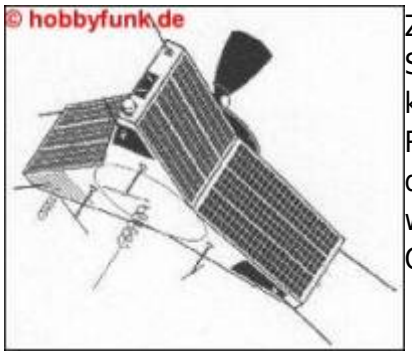
Aber auch wenn diese Erscheinung in Deutschland nicht zu sehen ist, kann Aurora auch hinter dem sichtbaren Horizont genutzt werden.

Mondsüchtig



Der fernste Reflektor für Funkwellen ist jedoch der Mond. Hierbei werden die eingangs erwähnten „fast nutzlosen“ Raumwellen wieder benötigt. Mittels einer hohen Sendeleistung und sehr großen Antennen-Anlagen (oder Parabolspiegeln) ist es möglich, den Mond als direkten Reflektor einzusetzen. Man kann dies durchaus mit einem Billardspiel gleichsetzen, in dem „über Bande“ gespielt wird. Man spricht hier vom Erd-Mond-Erde Funk-Verkehr oder auch kurz von EME.

Künstliche Reflektoren am Himmel



Zwischen dem Mond und der Erde befinden sich eine Unzahl von Satelliten. Einige davon wurden von Funkamateuren gebaut und durch kommerzielle Raumfahrt in die Erdumlaufbahn befördert. Die Raumwellen der UKW-Frequenzen sind hier hilfreich, um Verbindung mit diesen Satelliten zu erhalten. Genaue Satelliten-Fahrpläne geben an, wann man wohin seine Antenne drehen muss, um dieses fliegende Objekt als Reflektor nutzen zu können.

Seit wenigen Jahren besonders beliebt ist derzeit ein Fernseh-Satellit namens Es'hail 2 (arabischer Name für das Sternbild Canopus). Es handelt sich hierbei um den ersten geostationären Satelliten, welcher auch für Amateurfunkzwecke genutzt wird. Unter dem Namen QO-100 (Quatar-OSCAR 100 / OSCAR = Orbit Satellite carriyng amateur radio equipment) ermöglicht er nun mit einem vertretbaren Aufwand Funkverbindungen auf 2,4 (UPlink) und 10 GHz (DOWNlink) vom Nordkap des euraischen Kontinents bis zum Südkap des afrikanischen Kontinents.

Probleme durch Reflexion

Unter Fading bzw Schwund versteht man das Abschwächen oder Verzerren einer Funkwelle. Schwund entsteht unter anderem durch die durchquerten Luftschichten oder der Reflexion an einem Hindernis wie Berge, Häuser oder auch Bäumen. Durch Fading „entstellte“ Signale erkennt man meist an kratzender Sprache oder entstellten Tönen der Morsezeichen.

Reflexionen von UKW Funkwellen kommen verstärkt beim Betrieb eines Funkgerätes während einer Autofahrt vor. Das empfangene Signal schwankt hierbei unter Umständen sehr stark und führt mehr oder weniger Rauschen mit sich.

Unter bestimmten Bedingungen kann es sogar passieren, dass reflektierte Signale auf zwei oder mehr Wegen beim Empfänger mit einem minimalem Zeitunterschied eintreffen. In diesem Fall spricht man von Interferenzen, welche oft durch eine Veränderung der Antennen-Ausrichtung oder Verlagerung des Standortes unterbunden werden können.

From:
https://www.notfunkwiki.de/ - **Das NOTFUNK-WIKI**

Permanent link:
https://www.notfunkwiki.de/doku.php?id=glossar:a:ausbreitung

Last update: **2026/03/16 20:43**