Amateurfunk und Kurzwellenausbreitung

Die Ausbreitung elektromagnetischer Kurzwellen bezüglich deren Reflexion an Ionosphärschichten und die Nutzung dieser Vorgänge durch den Amateurfunk.

1 Einleitung

Das Wesen des Amateurfunks besteht laut seiner ursprünglichen Definition im Experimentieren mit Funktechnik. Demnach darf sich ein Funkamateur, den gesetzlichen Bestimmungen entsprechend, nur aus persönlicher Neigung, nicht etwa aus kommerziellem Interesse, mit dem Amateurfunk beschäftigen. Ihm werden in Abhängigkeit seiner Lizenzklasse (Vgl. Abb. 1) verschiedene Frequenzen zur Verfügung gestellt, die ihm Freiräume für technische Experimente bieten. Der Hauptaspekt des Amateurfunks liegt allerdings in der Kommunikation der Amateure untereinander, welche im Kurzwellenbereich fast ausschließlich nur mit Hilfe der Ionosphäre stattfinden kann. Die Möglichkeiten, die das Vorhandensein der Ionosphäre den Funkamateuren bietet, sowie die Einflüsse, welche die Kurzwellenausbreitung bestimmen, sind Gegenstand dieser Seminararbeit.

2 Geschichte und Bedeutung des Amateurfunks

Alles begann vor etwas über 110 Jahren, als der deutsche Physiker Heinrich Hertz in einem Experiment die Existenz der elektromagnetischen Wellen nachwies. Er ahnte damals sicherlich nicht, welchen Stein er damit ins Rollen brachte. In den darauffolgenden Jahren wurden, auf seinem Experiment basierend, Versuche mit drahtloser Nachrichtenübermittlung über relativ kurze Distanzen durchgeführt und dabei auch erste Erfolge erzielt. In den nächsten Jahrzehnten tauchten dann erste kommerzielle Sende- und Empfangsstationen auf den Mittel- und Langwellenfrequenzen auf, während der Kurzwellenbereich noch unbeachtet blieb, da man davon ausging, dass er niemals kommerziell genutzt werden könne. In diese Zeit fiel es auch, dass „Amateure“ sich mit der neuen Technik beschäftigten und mehr oder weniger legal, unter anderem auch auf Kurzwellenfrequenzen, experimentierten und so quasi die Pionierarbeit leisteten. Sie stellten dabei fest, dass die Kurzwelle keineswegs so nutzlos war wie zunächst angenommen. Nach mehreren vergeblichen Versuchen gelang es dann endlich einem französischen Funkamateur, im Jahr 1923, den ersten Transatlantikkontakt mit Kurzwellen mit einer amerikanischen Station herzustellen. Die zunächst recht kleine Gruppe von Funkamateuren wuchs mit jedem Jahr stetig an, da es scheinbar viele Technikinteressierte gab, denen dieses doch recht ungewöhnliche Hobby Freude bereitete. Aus dieser Entwicklung heraus war es notwendig geworden eine Interessenvertretung zu schaffen, was 1925 durch die Gründung der IARU (International Amateur Radio Union) auch vollzogen wurde.

In den einzelnen Ländern, in denen der Amateurfunk zugelassen war, entstanden wiederum Dachverbände, um die Funkamateure besser zu organisieren, wie zum Beispiel der ARRL (American Radio Relay League's) in den USA. Auf einer internationalen Konferenz 1927 wurden dann die Kurzwellenfrequenzen offiziell verteilt, wobei die Funkamateure mit nur recht kleinen Frequenzräumen bedacht wurden, da kommerzielle Sender mehr Profit versprachen (Vgl. Abb. 2/3).

Deutschland war im ersten Drittel dieses Jahrhunderts in Sachen Amateurfunk im Gegensatz zu den USA extrem rückständig. Es existierten zwar einzelne Sendelizenzen, jedoch wurde der Amateurfunk nicht gefördert, sondern unterlag starken Einschränkungen und schließlich wurde er von den Nationalsozialisten sogar entgültig verboten. Erst einige Jahre nach dem 2. Weltkrieg erfolgte die langsame Wiederzulassung des Amateurfunks in der neu gegründeten Bundesrepublik und in der DDR. Im Jahre 1950 wurde der DARC (Deutscher Amateur-Radio-Club) gegründet, welcher noch heute den Dachverband der deutschen Funkamateure darstellt, bei dem sich ein hoher Prozentsatz der lizenzierten Amateure organisiert. In der DDR war, auch nach der Gründung des „Radioclubs (später „Radiosportverband“) der DDR“, die Erlangung einer Amateurfunklizenz schwierig. Es gab strenge staatliche Regularien, denn nicht jeder sollte die Möglichkeit haben mit Stationen im Ausland Kontakt aufzunehmen. 1991 schloss sich der ehemalige „Radiosportverband der DDR“ dem DARC an, welcher nun versucht die Interessen seiner Mitglieder aus ganz Deutschland zu vertreten.

Mit den Jahren änderte sich natürlich auch die Technik, die im Amateurfunk Verwendung fand, enorm. Funkamateure entwickelten neue Sendeempfänger, neue Antennenformen, neue Betriebsarten und fanden auch die Möglichkeit, dem PC einen Platz im Amateurfunk zu verschaffen. Diese Entwicklung ist heute keineswegs vorbei, sondern wird wahrscheinlich immer weiter gehen, wenn auch im Gegensatz zu den frühen Pionieren wohl keine bahnbrechenden Entdeckungen mehr gemacht werden. Es existieren sogar einige Amateurfunksatelliten, welche einzig und allein zur Signalübertragung von Funkamateuren genutzt werden und selbst an Bord der ISS befindet sich eine Amateurfunkstation, die es den Funkamateuren ermöglicht mit der Besatzung zu kommunizieren, was auch bereits bei der MIR möglich war. In den Siebzigern begannen japanische Firmen mit der industriellen Produktion von Amateurfunkgeräten und entwickelten diese immer weiter. Man kann heute ohne weiteres viele tausend Euro in ein solches modernes Gerät oder in eine Antennenanlage investieren, aber es besteht auch die Möglichkeit mit relativ einfachen Mitteln und etwas Geschick einen Sender oder eine Antenne selbst zu bauen (Vgl. Abb. 4/5/6/7). Der Amateurfunk bietet dazu alle Möglichkeiten, was vielleicht auch seinen Reiz ausmacht. Wer weniger am Basteln als eher an der zwischenmenschlichen Kommunikation interessiert ist, ist hier ebenso beim richtigen Hobby angelangt. Mit der entsprechenden Lizenz-

klasse ist es möglich, Gespräche mit Menschen auf der anderen Seite des Globus zu führen und sich über jedes erdenkliche Thema auszutauschen. Der Amateurfunk ist somit ganz klar ein großer Beitrag zur Völkerverständigung. Und nicht zuletzt waren es Funkamateure, die in Notsituationen und Krisengebieten Kontakt zur Außenwelt hielten und von den Vorkommnissen berichteten, oder bei Rettungsaktionen ein Koordinationsnetzwerk betrieben. So zum Beispiel bei dem schweren Erdbeben in der Westtürkei 1999 oder während des Bosnienkrieges Mitte der Neunziger.

3 Die Erdatmosphäre

3.1 Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre

Die Erdatmosphäre umgibt die Erde wie eine Hülle. Sie schützt vor der schädlichen UV-Strahlung der Sonne und der Kälte des Weltalls. Sie ist nicht nur für das Leben auf der Erde äußerst wichtig. Da sie die Ionosphäre beinhaltet, ist sie auch unerlässlich für den Funkbetrieb auf den Kurzwellenfrequenzen.

Die Atmosphäre besteht überwiegend aus Stickstoff, ca. 20% lebenswichtigem Sauerstoff , Kohlendioxid und einigen Edelgasen. Trotz der unterschiedlichen Dichte der Gase sind diese nicht übereinander geschichtet, sondern relativ gleichmäßig gemischt. Das kommt daher, dass die Gase durch die Sonneneinstrahlung erwärmt werden und aufsteigen. Kühlen die Gase ab, so sinken sie wieder herunter und mischen sich dabei.

3.2 Die Struktur der Erdatmosphäre

Die Erdatmosphäre reicht bis in eine Höhe von etwa 2000 bis 3000 km über der Erde und geht dann allmählich in den Weltraum über. Im wesentlichen besteht die Atmosphäre aus 4 Sphären: der Troposphäre, der Stratosphäre, der Mesosphäre und der Ionosphäre (Vgl. Abb. 10).

3.3 Die Troposphäre

Die Troposphäre beginnt am Boden und reicht bis in etwa 11 km Höhe . In dieser Sphäre spielt sich das Wetter ab, weshalb sie auch „Wettersphäre“ genannt wird. Die Temperatur nimmt in diesem Bereich nach oben hin um etwa 6° bis 8° pro 1000 m ab, sodass an der Obergrenze noch etwa –50°C herrschen.

3.4 Die Stratosphäre

Die Stratosphäre befindet sich in einem Bereich von etwa 11 bis 50 km Höhe. Die Temperatur bleibt im Abschnitt von 11 bis 20 km bei –50°C relativ konstant, steigt dann jedoch bis in eine Höhe von 50 km auf +50°C an. In der Stratosphäre befindet sich auch die Ozonschicht bei etwa 15 bis 30 km über der Erdoberfläche. In den Höhenabschnitten über 50 km fällt die Temperatur wieder auf bis zu –120°C in 90 km Höhe ab.

4 Die Ionosphäre

Die Ionosphäre erstreckt sich in einem Bereich von etwa 80 bis 800 km Höhe. Darüber geht die Ionosphäre langsam in den Weltraum über. Dieser Bereich wird auch als Exosphäre bezeichnet, in der die Temperatur wieder auf 1000°-2500° K ansteigt. Die Schichten der Ionosphäre sind nicht immer klar voneinander getrennt, sondern gehen meist fließend ineinander über.

4.1 Die Entstehung der Ionosphäre

In der Ionosphäre sind hauptsächlich die Gase Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Helium vorhanden. Diese Gase bestehen aus Atomen, welche die Grundvorrausetzung für die Ionisation der Ionosphäre bilden. Atome bestehen aus Atomkernen, die sich aus neutralen Neutronen und positiven Protonen zusammensetzen, sowie der Atomhülle, in der sich negativ geladene Elektronen befinden. In der Atomhülle befinden sich negative Elektronen. Der Atomkern ist gleichermaßen positiv geladen, wie die Elektronen negativ geladen sind, was bewirkt, dass das Atom nach außen hin elektrisch neutral wirkt. Es kann jedoch durch Fremdeinwirkungen dazu kommen, dass Elektronen aus der Hülle herausgelöst werden. Solche Fremdeinwirkungen, die in der Ionosphäre von Bedeutung sind, können zum Beispiel die ultraviolette Sonnenstrahlung, die Teilchenstrahlung der Sonne, Röntgenstrahlung oder auch Meteore in der Atmosphäre sein. Wenn nun durch eine oder mehrere Fremdeinwirkungen den Atomen Elektronen entrissen werden, wird das Atom in seiner elektrischen Neutralität gestört. Atome, die nicht elektrisch neutral sind, bezeichnet man als Ionen. Dieser Vorgang des Bildens von Ionen wird folglich „Ionisation“ genannt. Wenn dieser Vorgang nachlässt, „finden“ die Elektronen in der Atmosphäre zu den Ionen zurück, da die Elektronen negativ und die Ionen positiv geladen sind. Dieser Umkehrvorgang zur „Ionisation“ wird deshalb „Rekombination “ genannt. In der Ionosphäre findet man tagsüber aufgrund der Sonneneinstrahlung eine Balance zwischen Rekombination und Ionisation vor, während nachts die Rekombination vorwiegend in der D-, E- und F1-Schicht überwiegt. Die am höchsten liegende F2-Schicht ist auch nachts existent, also ionisiert, da die Elektronen aufgrund der sehr geringen Atomdichte viel Zeit benötigen, um zu den Ionen zurückzufinden.

Wie schon angedeutet, besteht die Ionosphäre aus verschiedenen Schichten. Dieses Phänomen tritt auf, weil sich in den Höhen, in denen sich die Ionosphäre bildet, die Gase aus der Atmosphäre aufschichten. Jedes dieser Gase reagiert nun auf eine andere Wellenlänge des ultravioletten Lichts der Sonne, sodass sich in jeder Gasschicht ein Ionisationsmaximum bildet. Von diesen Maxima sind bislang vier nachgewiesen und mit Buchstaben gekennzeichnet. Die unterste Schicht nennt man die „D-Schicht“ oder „D-Region“; darüber befindet sich die „E-Schicht“, die „F1-“ und die „F2-Schicht“.

Die Erdatmosphäre ist so aufgebaut, dass der Luftdruck am Boden maximal ist und mit zunehmender Höhe hin abnimmt. Dies geschieht nicht linear, sondern exponentiell, weshalb man sagen kann, dass, wenn die Lufttemperatur überall gleich wäre, sich der Luftdruck pro 6 km Höhe halbiert.

Die UV-Strahlung verliert an Energie, wenn sie auf die Atome trifft und Elektronen herauslöst, da die eigene Energie der Strahlung in Bewegungsenergie der Elektronen umgewandelt wird. Trifft nun die UV-Strahlung der Sonne auf die Atmosphäre, so wird sie in großer Höhe nur geringfügig gedämpft, da nur wenige Atome ionisiert werden können. Hier dauert die Rekombination dann sehr lange.

Dringt die UV-Strahlung weiter in die Atmosphäre ein, wird sie immer stärker gedämpft, da die Atomdichte dann zunimmt. Dadurch werden aber wiederum mehr Ionen gebildet. An der Stelle in der Atmosphäre, an der sich Gasdichte und Ionisation entsprechen, ist die Ionisation am größten, wodurch sich die ionosphärischen Schichten bilden (Vgl. Abb. 11). Wenn die UV-Strahlung jetzt weiter in Richtung Erdboden vordringt, wird sie so stark gedämpft, dass es unterhalb der D-Region zu keiner Ionisation mehr kommt.

4.2 Die Schichten der Ionosphäre

4.2.1 D-Schicht

Die D-Schicht bildet in einer Höhe von etwa 60-90 km die niedrigste Ionosphärenschicht. Sie weist eine sehr geringe Elektronendichte auf, welche verursacht, dass nur eine äußerst dürftige Ionisation in dieser Region eintreten kann. Die Ionisation ändert sich im Laufe des Tages ständig und ist abhängig vom Sonnenstand. Von Sonnenaufgang bis zur Mittagszeit ist eine Zunahme zu beobachten, vom Mittag bis zum Sonnenuntergang eine Abnahme. In der Nacht ist absolut keine Ionisation mehr vorhanden, da ohne eine permanente Sonneneinstrahlung die Rekombination der Elektronen sofort einsetzt.

Der Ionisationsgrad der Schicht ist nicht überall gleich. Im oberen Teil (ca. 70-90 km über dem Erdboden) ist die Ionisation in den Zeiten des Sonnenfleckenmaximums auf ihrem Höchststand, was darauf zurückzuführen ist, dass dieser Teil von UV- und- Röntgenstrahlung, welche von der Sonne ausgehen, beeinflusst wird. Der Ionisationsgrad im unteren Teil (ca. 60 km über dem Erdboden) hingegen ist in den Zeiten des Sonnenfleckenminimums maximal, woraus sich schlussfolgern lässt, dass dieser Teil durch kosmische Strahlung ionisiert wird, welche umgekehrt zum Sonnenzyklus maximal auftritt.

Vom Funkamateur wird die D-Region auf Grund ihrer niedrigen Elektronendichte ausschließlich als störend empfunden, da sie dadurch Kurzwellen nicht zu reflektieren vermag, niedrig-

frequentere Kurzwellen (Wellenlängen von 40, 80 oder 160 m) sogar absorbiert und somit der Raumwellenausbreitung insgesamt nicht zu Gute kommt.

4.2.2 E-Schicht

Die E-Schicht, welche sich in etwa 90-150 km über dem Erdboden befindet, ist in ihren Eigenschaften der D-Region, mit der sie auch geringfügig überlappt, sehr ähnlich. Die Ionisation zum Beispiel verläuft am Tagesablauf gemessen geradezu gleich und somit ist der Ionisationsgrad immer gut berechenbar und relativ konstant. Die einzigen Ausnahmen sind, dass die E-Schicht in seltenen Fällen auch Nachts existiert und dass die Elektronendichte bereits wesentlich höher ist, was bewirkt, dass niedrig-frequente Kurzwellen (z.B. Wellenlängen von 160 m und 80m) reflektiert werden und die E-Schicht somit geringfügig zur Raumwellenausbreitung beitragen kann, allerdings höher-frequente Kurzwellen immer noch dämpft.

4.2.3 F-Schichten

Die F-Schichten liegen am oberen Rand der Ionosphäre und werden auf Grund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften in F1- und- F2-Schicht unterteilt. Allerdings fasst man beide unter dem Begriff F-Schichten zusammen, da F1 ohne F2 nicht entstehen kann und diese somit eine komplexe Erscheinung bilden.

4.2.3.1 F1-Schicht

Die F1-Schicht befindet sich oberhalb der E-Region in etwa 170-220 km über dem Erdboden und ihr Verhalten ähnelt stark dem der E-Schicht. Sie ist ebenso nur am Tag vorhanden und verschwindet bei Nachteinbruch auf Grund der Rekombination. Mit einer Elektronendichte von ca. 400.000 pro cm^3 ist die F1-Schicht bereits besser als die E-Schicht in der Lage, Kurzwellen zu reflektieren, allerdings nur in einem sehr beschränktem Maße. Die meisten Kurzwellen (speziell höher-frequente, z.B. 14, 21, 28 MHz) werden absorbiert, was die F1-Schicht zu einem Hindernis für die Raumwellenausbreitung macht.

4.2.3.2 F2-Schicht

Die F2-Schicht, welche speziell für den Amateurfunk die größte Rolle aller Schichten in der Ionosphäre spielt, konzentriert sich auf einen Bereich von etwa 250-450 km Höhe. Die meisten Weitverbindungen im Frequenzspektrum der kurzen Wellen werden durch Reflexion, beziehungsweise Brechung an der besagten F2-Schicht abgewickelt. Ihr Verhalten unterscheidet sich wesentlich von dem der bisher genannten Schichten, die, wie bereits erwähnt, kaum einen positiven Einfluss auf die Kurzwellenausbreitung haben. Es existieren in der F2-Schicht etwa

1.000.000 freie Elektronen pro cm³ (Vgl. Abb. 12), dagegen allerdings nur verhältnismäßig wenige Atome, woraus resultiert, dass der Rekombinationsvorgang nur sehr langsam abläuft und damit eine ständige Ionisation der F2-Schicht vorhanden ist. Somit ist die Schicht auch in der Nacht existent und Funkverkehr durch Kurzwellenreflexion mit Einschränkungen weiterhin möglich. In der Nacht werden im Regelfall allerdings nur niedrig-frequente Kurzwellen reflektiert (im Bereich von 1,8; 3,5 oder auch 7 MHz), da sich die Elektronendichte im Vergleich zum Tag doch etwas zum Negativen hin verändert. Sobald die Sonnenstrahlung bei Sonnenaufgang dann wieder auf die F2-Schicht auftrifft, steigt ihr Ionisationsgrad und erreicht innerhalb weniger Stunden den Tagesdurchschnitt. Dieser relativ konstant erscheinende Vorgang der Ionisation verläuft allerdings nicht immer den wissenschaftlichen Erwartungen entsprechend. Es existieren einige Anomalien, welche die Intensität der Ionisation beeinflussen und diese dadurch teilweise schwer berechenbar werden lassen.

4.3 Anomalien der F2-Schicht

4.3.1 Die maximale Durchdringungsfrequenz f_0F2

Die sogenannte maximale Durchdringungsfrequenz oder auch f_0F2 gibt an, welche Wellen (bezogen auf die Frequenz) durch die Ionosphäre noch reflektiert werden, was wiederum abhängig vom Ionisationsgrad der F2-Schicht ist. Die Messung dieser f_0F2 erfolgt durch die senkrechte Abstrahlung eines Impulses in den Himmel, der bis zum Erreichen der maximalen Durchdringungsfrequenz zur Bodenstation zurückreflektiert, beim Überschreiten dieser Grenzfrequenz jedoch ins All abgestrahlt wird. Nach dem gleichen Prinzip werden diese Messungen auch teilweise von Satelliten durchgeführt. Die in Wirklichkeit höchste nutzbare Frequenz liegt jedoch immer höher, da in der Praxis keine Antenne wirklich senkrecht in den Himmel abstrahlt, sondern im günstigsten Fall einen Abstrahlwinkel von bis zu 10° aufweist, beziehungsweise sogar tangential zum Erdboden abstrahlt. Die Betrachtung der maximalen Durchdringungsfrequenz (auch höchste nutzbare Frequenz genannt) ist sehr wichtig, da nur mit Hilfe von f_0F2 Anomalien in der F2-Schicht erklärt werden können.

4.3.2 Die MUF

Die Existenz der maximalen Durchdringungsfrequenz f_0F2 zeigt sehr deutlich, dass die Reflexionsfähigkeit der Schichten in der Ionosphäre stark frequenzabhängig ist. Da aber die f_0F2 relativ wenig praktischen Nutzen hat, berechnet man mit Hilfe dieser Frequenz die sogenannte MUF (maximum usable frequency). Hier multipliziert man f_0F2 noch mit einem Geometriefaktor, der

unter anderem vom Abstrahlwinkel der Antenne abhängt. Mit diesem Verfahren erhält man somit die praxisnähere maximale Durchdringungsfrequenz.
Beim Amateurfunk wird jedoch weniger auf theoretische Berechnungen vertraut, da diese nur relative Gültigkeit besitzen. Die Eigenschaften der Ionosphäre können ständig wechseln, sodass sich das Verhalten der Wellen nie genau vorausberechnen lässt. Deshalb achten die Funkamateure meist nur auf die Tendenzen der MUF.

4.3.3 Die LUF

Natürlich gibt es nicht nur eine Obergrenze für die Reflexionsfähigkeit der Ionosphäre, sonder auch eine Untergrenze – Die LUF (lowest usable frequency). Die Höhe dieser Frequenz ist weniger von der reflektierenden Ionosphärenschicht abhängig, als von der D-Region. Die D-Region absorbiert die elektromagnetischen Wellen je nach dem, wie stark sie ionisiert ist. Zudem ist die Absorptionseigenschaft der D-Region frequenzabhängig. Da die Ionisation dieser Schicht stark von der Sonne abhängt, lässt ihre Absorption nachts enorm nach, was dazu führt, dass die LUF nachts spürbar sinkt.

4.3.4 Die tägliche Anomalie

In der Theorie müsste der Ionisationsgrad der F2-Schicht und damit auch f_0F2 mit aufsteigender Sonne bis zur Mittagszeit zunehmen, dort das Maximum erreichen, dann wieder bis zum Sonnenuntergang abfallen und schließlich in der Nacht der Rekombination weichen und nur noch die Reflexion äußerst niedrig-frequenter Kurzwellen zulassen. Dies würde dem Verlauf des Ionisationsgrads der E-Schicht entsprechen, was allerdings nicht der Fall ist. Der Ionisationsgrad steigt zwar mit dem Sonnenaufgang an, aber das Maximum liegt nicht, entgegen jeder Erwartung in der Mittagszeit, sondern einige Stunden davor beziehungsweise danach. Stellenweise können auch zwei Maxima auftreten und selbst in der Nacht wurde beobachtet, dass f_0F2 zunahm, woraus man schlussfolgerte, dass die beschriebene tägliche Anomalie auf nicht von der Sonne ausgehender Teilchenstrahlung beruht (Vgl. Abb. 13).

4.3.5 Die jahreszeitliche Anomalie

Als jahreszeitliche Anomalie bezeichnet man den Fakt, dass die Elektronendichte und damit auch f_0F2 im Winter deutlich höher ist als in den Sommermonaten. Es existiert dann ein Mittagsmaximum, welches stärker ist als am Rest des Tages, während im Sommer eine relativ einheitliche Ionisation über den gesamten Tag vorherrscht. Im Winter sind die Bedingungen für Interkontinentalverbindungen demnach wesentlich günstiger als im Sommer und machen diese Jahreszeit somit umso beliebter bei den Funkamateuren (Vgl. Abb. 14/15). Der Auslöser für die jahreszeitliche Anomalie ist noch nicht ausreichend erforscht worden, allerdings geht man davon aus, dass das O/O_2 Verhältnis in der Ionosphäre in Verbindung dazu steht.

4.3.6 Die geographische Anomalie

Während der Tag- und Nachtgleiche am Mittag, wenn die Sonne also genau über dem Äquator steht, müsste f_0F2 theoretisch sein Maximum genau dort erreichen und nach Norden und Süden hin abnehmen. Dies ist jedoch nicht der Fall. Das Maximum von f_0F2 liegt etwa bei 20° nördlicher und südlicher Breite und nimmt dann allmählich zu den Polen hin ab, wobei auf dem Äquator selbst ein Minimum vorliegt. Die Erklärung für diese Erscheinung ist beim Erdmagnetfeld, spezieller noch beim variablen Inklinationsäquator zu suchen (Vgl. Abb. 16).

4.4 Die Es-Schicht

Die Es-Schicht oder auch sporadische E-Schicht ist nur äußerst dünn (nur wenige 100 m) und befindet sich in etwa 120 km Höhe über dem Erdboden im Bereich der normalen E-Schicht. Ihr Ionisationsgrad ist meist sehr hoch und sie ist fähig, Kurzwellen, in Einzelfällen bei sehr starker Ionisation sogar Ultrakurzwellen, zu reflektieren (f_0F2 muss dann also im Bereich der UKW-Frequenzen liegen). Die Reichweite eines Senders, der über „Es“ arbeitet, beträgt etwa 500-2300 km, also eine relativ kurze Distanz gemessen am Erdumfang, wobei jedoch enorme Signalstärken erreicht werden können. Die sporadische E-Schicht entsteht ausschließlich im Sommer und hat eine wolkenartige Zusammensetzung. Diese „Es-Wolken“ sind etwa 80-170 km lang und breit, und driften in der Ionosphäre entlang, bis sie sich wieder auflösen. Es wurde in der Vergangenheit beobachtet, dass die Sonnenaktivität „Es“ scheinbar nicht beziehungsweise nur wenig beeinflusst, woraus sich der Schluss ziehen ließe, dass die Sonnenaktivität nur indirekt am Entstehen der sporadischen E-Schicht beteiligt ist. Was allerdings der genaue Grund für das Vorhandensein und Auftreten der „Es-Wolken“ ist wurde noch nicht eindeutig geklärt, jedoch scheint ein Zusammenhang zu den sogenannten Höhenwinden zu bestehen, welche im Bereich der E-Schicht zu beobachten sind. Es existieren außerdem spezielle Formen von „Es-Wolken“, welche im Polarbereich sowie in der Äquatorgegend auftreten.

5 Die Sonne

Die Sonne ist das Zentrum unseres Sonnensystems. Ihr Durchmesser beträgt etwa 1,4 Millionen Kilometer und sie besteht aus verschiedenen Schichten oder Sphären (zum Beispiel Photosphäre und Chromosphäre). Im Inneren der Sonne entsteht durch die stetig ablaufenden Kernprozesse eine große Menge an Strahlung, welche durch die Sonnenatmosphäre hindurch abgegeben wird. Diese Strahlung kann man in zwei Kategorien unterteilen. Zum einen in die Wellenstrahlung (z.B. Röntgen-und UV-Strahlung), welche sich in einem stetigen Strom mit Lichtgeschwindigkeit von der Sonne wegbewegt und nach ihrem Austritt aus der Sonnenatmosphäre in etwa 8 Minuten die Erde erreicht, und zum anderen in die Teilchenstrahlung oder auch Korpuskularstrahlung (Materiestrom), welche mit ca. 1600 km/s in etwa 18-36 Stunden nach ihrem Austritt aus der Sonne auf die Erdatmosphäre trifft. Die Wellenstrahlung beeinflusst das Erdmagnetfeld und die Ionosphäre bei normaler Sonnenaktivität kaum, die Teilchenstrahlung ist dagegen für Ionosphärenstörungen wie z.B. für die sogenannte Aurora (Polarlicht) verantwortlich, auf die später noch näher eingegangen wird.

5.1 Sonnenaktivität und Sonnenflecken

Auf der Sonnenoberfläche treten in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität gewisse Unregelmäßigkeiten auf. Es entstehen je etwa 30° nördlich und südlich vom Sonnenäquator dunkle einzelne Flecken und Gruppen von Flecken, die eine wesentlich niedrigere Temperatur haben als der Rest der Sonnenoberfläche. Sie wandern oberhalb und unterhalb des Sonnenäquators von Osten nach Westen, wobei sie an Ausdehnung gewinnen oder verlieren können. Eine große Sonnenfleckengruppe (mit einer Größe von etwa 20 Erden) kann ohne weiteres einen Monat und länger existieren, während kleine einzelne Sonnenflecken oft schon nach Tagen wieder verschwinden. Besonders im Bereich der großen Sonnenfleckengruppen existieren äußerst stark geladene Gase, durch die in gewaltigen Eruptionen (Flares) Materie, Korpuskularstrahlung und auch Wellenstrahlung ins All katapultiert werden. Die Anzahl der Sonnenflecken ist ein Maß für die Stärke der Sonnenaktivität und umgekehrt. In der Vergangenheit konnte man beobachten, dass die Aktivität der Sonne und damit auch die Anzahl der Sonnenflecken einem 11-jährigen Zyklus unterliegen, in dessen Mitte die größte Zahl an Sonnenflecken zu beobachten und damit die höchste Sonnenaktivität zu verzeichnen ist (Vgl. Abb. 17). Ein Maximum an Sonnenaktivität bedeutet auch ein Maximum an Möglichkeiten für Funkamateure, da die Ionosphäre in dieser Zeit meist sehr stark ionisiert ist und somit die Reflexion der Kurzwellen über große Distanzen gewährleistet ist. Das Maximum des momentanen Zyklus lag wahrscheinlich am Anfang des Jahres 2001, beziehungsweise im Sommer des Jahres 2000 (Vgl. Abb. 18/19).

Ein Maß, um die Sonnenaktivität zu beschreiben, ist die Sonnenfleckenrelativzahl R, in der die beobachteten Gruppen und Einzelflecken durch ihre Zählung einfließen und so ein Bild vom momentanen Zustand der Sonne liefern. Eine andere Möglichkeit der Beschreibung ist der „Solare Flux“ SF, der durch die Intensitätsmessung der sogenannten 10,7cm-Strahlung (2,8 GHz), welche von den Sonnenflecken ausgeht, ermittelt wird.

5.2 Sonneneruptionen oder „Solar Flares“

Wie bereits erwähnt kommt es bei größeren Sonnenflecken(gruppen) nach einer gewissen Zeit zu Eruptionen, bei denen enorme Mengen an Wellen- und Teilchenstrahlung in den Weltraum abgegeben werden. Geschieht dies mehr oder weniger in Richtung Erde, so besteht die Gefahr, dass die Ionosphäre und damit auch der Amateurfunkverkehr (negativ) beeinflusst werden. (Vgl. Abb. 20)

5.3 Negative Effekte starker Sonneneruptionen auf den Kurzwellenfunkverkehr

5.3.1 Mögel-Dellinger Effekt

Der Mögel-Dellinger Effekt oder die auch SID (Sudden Ionospheric Disturbance) genannte Erscheinung ist eine plötzlich, auf Grund von immens erhöhter Wellenstrahlung auftretende Ionosphärenstörung, die etwa 8 Minuten nach einem starken, der Erde zugewandten Flare auftreten kann. Hierbei steigt die am höchsten nutzbare Frequenz (f_0F2) zunächst an, da die oberen F-Schichten verstärkt ionisiert werden. Nach wenigen Minuten jedoch ist auch die D-Region so stark ionisiert, dass es zu einem Totalausfall der Kurzwellenreflexion auf der Tagseite der Erde kommt. Auf der Nachtseite hingegen sind Funkkontakte, die auf einer Frequenz unterhalb von f_0F2 abgewickelt werden, weiterhin möglich. Der Mögel-Dellinger Effekt tritt glücklicherweise nur relativ selten auf und kann wenige Minuten, aber auch einige Stunden andauern.

5.3.2 Ionosphärenstürme

Diese andere Möglichkeit der Beeinträchtigung des Kurzwellen-Funkverkehrs entsteht durch die Teilchenstrahlung, die ebenfalls bei einer Sonneneruption verstärkt freigesetzt wird und nach etwa 18-36 Stunden die Erde erreicht. Durch die Formung des Erdmagnetfeldes gelingt es Teilen dieses Materiestroms an den Bereichen der Pole in die Magnetosphäre einzudringen und dort einen Ionosphärensturm zu verursachen (Vgl. Abb. 21), in dessen Folge die F2-Schicht in der Ionosphäre wolkenartig abgebaut, die D-Schicht aber verstärkt wird und damit wiederum f_0F2 abfällt. Damit wird die Abwicklung eines Funkkontakt über die F2-Schicht in den höheren nördlichen und südlichen Breiten der Erde immens erschwert oder sogar komplett unterbunden. Ein solcher Ionosphärensturm wirkt sich also auf die Tag- und Nachtseite der Erde gleichermaßen aus, wobei in der Nacht eine schöne Begleiterscheinung der Ionosphärenstürme (leider meist nur) in Nähe der Pole beobachtet werden kann: das Polarlicht (Vgl. Abb. 22/23).

5.3.3 Das Polarlicht oder auch „Aurora borealis/australis“

Polarlichter entstehen wie bereits erwähnt auf Grund eines Ionosphärensturms. Die Teilchenstrahlung, welche in die Erdatmosphäre gelangte, stößt im Verlaufe des Sturms in etwa 100-1000 km Höhe mit Gasmolekülen zusammen, die daraufhin zum Leuchten angeregt werden. Diese Leuchterscheinungen beeinträchtigen auch den Amateurfunk mehr oder weniger positiv. So ist es möglich, dass elektro-magnetische Wellen an den Polarlichtern reflektiert werden und somit ein Funkkontakt durch Reflexion an einem Nordlicht entstehen kann. Dies ist besonders im Frequenzbereich der Ultrakurzwellen erwünscht, da so eine enorme Reichweitensteigerung eines Senders erreicht werden kann. Im Frequenzbereich der Kurzwellen ist dies ebenso möglich, allerdings ist die Reichweite gemessen an einer Verbindung über die F2-Schicht nur gering und daher spielt Aurora für Kurzwellenamateure kaum eine Rolle, wobei man einen gewissen Reiz an der Tatsache, dass man mit Hilfe dieser Erscheinung Funkkontakte abwickeln kann, gewiss nicht abzustreiten braucht. Ein Nachteil der Reflexion am Polarlicht ist allerdings eine Verzerrung und ein „Blubbern“ in der Aussendung, welche durch die Unregelmäßigkeiten der Ionisation entstehen, und nur Betriebsarten wie CW (Morsetelegraphie) und in manchen Fällen auch SSB (schmalbandig – sprachmodulierte Aussendungen) zulassen.

6 Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen

Elektromagnetische Wellen breiten sich im Raum frei aus. Teile der Strahlung können dabei sehr unterschiedliche Wege zurücklegen, sodass sich drei Hauptarten der Wellenausbreitung herauskristallisieren: Die Bodenwelle, die Troposphärenwelle und die Raum- oder Ionosphärenwelle. Die Bodenwelle ist der Teil der Strahlung, der durch die Beeinflussung des elektrisch leitenden Bodens an der Erdoberfläche entlang geführt wird. Ihre Reichweite ist, verglichen mit der über die Raumwelle überbrückbaren Strecken, nur gering. Die Troposphärenwelle ist der Strahlungsanteil, der in der Troposphäre an den Luftschichten zur Erde hin gebrochen wird. Die Troposphärenwelle ist für den Kurzwellenfunkbetrieb relativ unbedeutend, da auf diesen Frequenzen meist nur über die Ionosphäre gearbeitet werden kann. Die Reflexion elektromagnetischer Strahlung in der Troposphäre ist oft Auslöser von Überreichweiten auf UKW-Frequenzen.
Die für den Kurzwellenfunkbetrieb wichtigste Ausbreitungsart ist die Raum- oder Ionosphärenwelle. Sie ist der Strahlungsanteil, der in Richtung der Ionosphäre abgestrahlt wird und dort zur Erdoberfläche zurückreflektiert wird. Nahezu alle Kurzwellenverbindungen nutzen diese Erscheinung.

6.1 Die Bodenwelle

Die Bodenwelle ist eine Ausbreitungsart, die immer in Bodennähe stattfindet. Hier gibt es drei Varianten, zu denen die Oberflächenwelle gehört. Dabei dient der Boden als Leiter für die Wellen, sodass die Strahlung in Bodennähe geführt wird. Eine zweite Version der Bodenwelle ist die Direktwelle, bei der die Strahlung direkt von der Sendeantenne zur Empfangsantenne gelangt. Die dritte Form der Bodenwelle ist die Erdreflexionswelle, die durch Reflexion am Boden von der Sendeantenne zur Empfangsantenne gelangt (Vgl. Abb. 24).
Um die Reichweite der Bodenwelle optimal auszunutzen ist die vertikale Polarisation der elektromagnetischen Wellen von großem Vorteil. Im Gegensatz zur Raumwelle ist die Reichweite der Bodenwelle von der Jahres- und Tageszeit nahezu unabhängig. Die Eigenschaften des Geländes zwischen dem Sender und dem Empfänger haben einen großen Einfluss, da zum Beispiel Berge die Strahlung wirksam dämpfen können. Auch die Bodenbeschaffenheit, speziell die Bodenfeuchte, wirkt sich stark auf die Bodenwellenausbreitung aus, da die Leitfähigkeit des Bodens von der Bodenfeuchte abhängt. Küstenfunkstationen und Stationen auf Inseln haben deshalb einen großen Vorteil, da hier aufgrund der hohen Leitfähigkeit des Wassers die Bodenwelle nur schwach gedämpft wird.

6.2 Die Raumwelle

6.2.1 Brechung und Reflexion

Elektromagnetische Wellen verhalten sich ähnlich dem Licht, da es ebenfalls eine elektromagnetische Welle ist. Um die Funktionsweise der Reflexion elektromagnetischer Wellen in der Ionosphäre erklären zu können, kann man die Optik einbeziehen. Licht wird immer dann gebrochen, wenn es von einem Stoff in einen anderen übergeht, insofern die optische Dichte der Stoffe voneinander verschieden ist. Wenn das Licht senkrecht auf die Grenzfläche der Stoffe trifft, so geht es jedoch ungebrochen hindurch. Elektromagnetische Wellen verhalten sich in den Luftschichten der Troposphäre und Ionosphäre ähnlich.

6.2.2 Die Reflexion in der Troposphäre

In der Atmosphäre nehmen Luftdruck und Luftfeuchtigkeit mit Zunahme der Höhe ab, was dazu führt, dass der Brechungsindex der Luft ebenfalls ständig abnimmt. Man könnte sich nun die Troposphäre als eine Übereinanderschichtung unendlich vieler Einzelschichten vorstellen, zwischen denen sich Grenzflächen befinden, an denen sich das Licht und auch elektromagnetische Wellen brechen. Das führt dazu, dass die Funkwellen, die Richtung Troposphäre abstrahlen, immer mehr zur Erde hin gebrochen werden. An einer Stelle, an welcher der Einfallswinkel auf die nächste Grenzfläche klein genug ist, tritt schließlich Totalreflexion auf und die Welle erreicht den Boden wieder.

6.2.3 Die Reflexion in der Ionosphäre

Grundsätzlich ist die Brechung und Reflexion elektromagnetischer Wellen ähnlich der Ausbreitung in der Troposphäre, nur mit dem Unterschied, dass hier nicht nur die Dichte der Luft entscheidend ist, sondern auch die Konzentration der Ionen sowie die Sendefrequenz. Das zeigt sich darin, dass die Stärke der Brechung mit zunehmender Sendefrequenz abnimmt. Je höher die Sendefrequenz ist, desto stabiler dringen die Funkwellen durch die Ionosphäre hindurch. Man kann sich die Ionosphäre ebenfalls als Aufschichtung unendlich vieler einzelner Schichten vorstellen, an denen die elektromagnetischen Wellen leicht gebrochen werden. Dadurch wird die Strahlung ganz sachte gekrümmt, bis an einer Grenzfläche der Einfallswinkel schließlich so gering ist, dass Totalreflexion auftritt und die Wellen wieder zur Erde zurückgelangen (Vgl. Abb. 25).

Diese Krümmung ist nur möglich, wenn diese unendlich vielen Einzelschichten unterschiedliche Brechungsindizes besitzen. Unterhalb der D-Region gibt es keine Ionen – der Brechungsindex

ist 1 – darüber nimmt die Elektronendichte immer mehr zu. Die Zunahme der Elektronen bewirkt jedoch eine Verringerung der Brechungsindizes, sodass die Strahlen immer mehr zur Erde hin gebrochen werden. Die entscheidende Totalreflexion kann aber nur dann auftreten, wenn die Strahlung das Elektronenmaximum einer Schicht nicht überschreitet, da die Wellen dann wieder von der Erde weg gebrochen werden, und entweder von einer darüber liegenden Schicht reflektiert werden, oder sich im Weltall verlieren. Je flacher also die Strahlung in die Ionosphäre eindringt, um so früher wird sie reflektiert – je steiler sie in die Ionosphäre abgestrahlt wird, um so tiefer dringt sie in die Ionosphäre ein. Um möglichst große Strecken überbrücken zu können, müssen die Funkwellen möglichst flach abgestrahlt werden; optimal ist dabei eine Abstrahlung tangential zur Erde. Auf diese Weise sind z.B. mit einmaliger Reflexion in der F2-Schicht Entfernungen von 3000-4000 km möglich.

Eine besondere Erscheinungsform der Reflexion elektromagnetischer Wellen an der Ionosphäre sind die auch als „high-angle-rays“ bekannten „Pedersen-Strahlen“. Dieser Effekt tritt bei relativ steiler Abstrahlung auf, da dann die Strahlen tief in die Ionosphäre eindringen. Da nahe an den Elektronenmaxima der Brechungsindex sehr gering wird, werden die Strahlen nur noch sehr leicht gebrochen, was dazu führt, dass die Strahlen über eine sehr große Strecke hinweg dicht am Elektronenmaximum bleiben und nach meist sehr großen Strecken erst wieder zur Erde zurückgebrochen werden. Da bei dieser Ausbreitungsvariante sehr große Strecken in einem Zug relativ verlustarm überbrückt werden können, ist sie ideal für Kurzwellenverbindungen.

Werden die elektromagnetischen Wellen noch steiler abgestrahlt, so reicht die Brechkraft des Elektronenmaximums nicht mehr aus, sodass sich die Strahlung im Weltall verliert oder an einer darüber liegenden Schichten reflektiert wird.

Der Bereich, der unter dem Strahlenverlauf liegt, wird nicht von dem Signal erreicht, was ihm den Namen „tote Zone“ verlieh. Diese Erscheinung macht es beispielsweise schwierig, auf dem 10m-Band (28MHz) von Thüringen aus Stationen in Deutschland zu erreichen, die nicht in der Reichweite der Bodenwelle liegen.

6.2.4 Die Absorption elektromagnetischer Strahlung

Die Absorption elektromagnetischer Wellen wird durch Streuung in den Schichten sowie durch Energieabgabe an die Gasteilchen in der Atmosphäre hervorgerufen. Die Funkwellen geben einen Teil ihrer Energie an die Elektronen der ionisierten Schichten ab, indem diese im elektrischen Feld der Welle beschleunigt werden und somit elektrische Energie der Welle in kinetische Energie der Elektronen umgewandelt wird. Durch die Beschleunigung der Elektronen kommt es zu einer Erwärmung der Schichten, die jedoch kaum spürbar ist. Die D-Region ist die Schicht,

welche die Wellen am stärksten absorbiert und somit nur hinderlich für den Amateurfunkbetrieb ist.

6.2.5 Streuung (Scattering)

Das Prinzip der Streuung elektromagnetischer Wellen lässt sich mit Hilfe der Optik am besten verdeutlichen. Wenn ein Lichtstrahl beispielsweise auf Streuzentren wie Staubteilchen oder Nebeltröpfchen in der Luft trifft, so wird sein Licht in alle Richtungen gestreut. Die Streuung der Wellen in der Ionosphäre ist ähnlich zu verstehen wie das Beispiel mit dem Licht, nur mit dem Unterschied, dass diese Erscheinung hier andere Ausmaße annimmt. Die Streuzentren müssen in den ionosphärischen Schichten größer sein als zum Beispiel Staub. Hier kommen unter anderem Unregelmäßigkeiten der Schichten oder ionisierte Schweife kleiner Meteoriten in Frage. Bei der Streuung von elektromagnetischen Wellen in der Ionosphäre gibt es oft eine Hauptstreurichtung. Daraus ergibt sich eine Aufteilung dieser in drei Hauptgruppen: die Vorwärtsstreuung (forward scattering), die Seitwärtsstreuung (side scattering) und die Rückwärtsstreuung (back scattering). Während auf den UKW-Frequenzen die Vorwärtsstreuung der D-Region von Bedeutung ist, ist für die Kurzwellenverbindungen das back scattering recht wichtig. Hierdurch kann man das Problem der „toten Zone“ umgehen, da die Wellen oft in diese zurückgestreut werden. Es geht im Amateurfunk nicht immer darum, möglichst große Strecken zu überbrücken, sondern es gilt auch, möglichst viele Länder zu erreichen, wie beispielsweise solche, die nun mal in der „toten Zone“ liegen, wobei das back scattering sicherlich nützlich ist.

6.2.6 Mehrfachreflexion

In der Praxis ist es meist der Fall, dass die einmalige Reflexion der elektromagnetischen Wellen in der Ionosphäre nicht genügt, um große Strecken zu überbrücken. Bei einer Funkverbindung mit einmaliger Reflexion der Wellen spricht man von einem „Hop“ (Vgl. Abb. 24). Weite Verbindungen sind demzufolge nur mit mehreren Hops möglich, welche in vielen verschiedenen Varianten auftreten können. Es kann hierbei vorkommen, dass die elektromagnetischen Wellen zwischen der Ionosphäre und dem Erdboden, oder zwischen den einzelnen Schichten reflektiert werden. Da diese Varianten auch in Kombinationen auftreten, entsteht eine unendlich große Vielfalt an Möglichkeiten der Reflexion der Wellen, die sehr weite Funkverbindungen ermöglichen können (Vgl. Abb. 25).

Auch hier ist eine möglichst flache Abstrahlung der elektromagnetischen Wellen von Vorteil, da die Funkwellen dadurch nur selten reflektiert werden müssen und somit nur wenige Verluste entstehen. Zudem spielt die elektrische Leitfähigkeit der Erdoberfläche eine wichtige Rolle, da die Wellen von feuchtem Boden, oder gar der Meeresoberfläche besser reflektiert werden als von trockenem Boden. Auch die Topographie und die Bebauung der Stellen, an denen die Wellen reflektiert werden ist entscheidend, da beispielsweise ein Gebirge die Strahlung sehr stark streut, während die Meeresoberfläche sehr gleichmäßig reflektiert.

Das zeigt, dass bei der Ausbreitung von elektromagnetischer Strahlung unzählige Faktoren einen Einfluss haben. Diese Faktoren treten größten Teils zufällig auf und können deshalb nur in wenigen Fällen vorausgesagt werden. Das zeigt sich im Amateurfunkbetrieb so, dass man auf bestimmten Frequenzen immer wieder über längere Zeit hören beziehungsweise rufen muss, um gute Bedingungen abzufangen. Gerade diese Zufälligkeit macht allerdings den Reiz des Amateurfunks aus.

6.2.7 Schwund oder „Fading“

Fading ist eine Ausbreitungserscheinung, die bei Amateurfunkverbindungen auf der Kurzwelle nahezu immer vorhanden ist. Man versteht darunter schnelle Schwankungen der Signalstärke des Senders beim Empfänger, die oft durch Vorgänge in der Ionosphäre hervorgerufen werden. Diese Schwankungen können einige Sekunden oder Minuten andauern, selten jedoch auch einige Stunden. Die Länge des Schwundes hängt meist von dessen Art ab, aber in der Praxis hat man meist eine Dauer von einigen Sekunden oder wenigen Minuten. Fading ist demnach ein Effekt, der bei Funkverbindungen ziemlich hinderlich ist. Da es verschiedene Ursachen für Schwund gibt, werden nun die fünf häufigsten Arten vorgestellt.

Der sogenannte Interferenzschwund entsteht dann, wenn den Empfänger mehrere Wellen vom selben Sender gleichzeitig erreichen. Dies kann beispielsweise durch ungünstige Streuungen

hervorgerufen werden, was dazu führt, dass die Wellen unterschiedlich lange Wege zurücklegen. Da die Wellen zueinander zeitverzögert beim Empfänger eintreffen, kann es zu Interferenzen kommen. Das bedeutet, dass sich die Wellen überlagern und aufsummieren, sodass es zu Verstärkungen und Auslöschungen kommt. Wenn sich zum Beispiel ein Wellenberg mit einem Wellental überlagert, wird die Welle ausgelöscht – das Signal wird demzufolge schwächer. Wenn sich aber zwei Wellenberge überlagern verstärkt dies die Feldstärke am Empfänger. Da sich die Wege der Strahlungsanteile ständig ändern entstehen die charakteristischen schnellen Schwankungen. Der gleiche Effekt wird hervorgerufen, wenn den Empfänger die Raum- und die Bodenwelle erreichen (Vgl. Abb. 26), oder auch, wenn die normal reflektierten Wellen und die „high-angle-rays“ gleichzeitig vom Empfänger gehört werden. Da der Interferenzschwund stark frequenzabhängig ist, tritt er nie bei dicht benachbarten Frequenzen gleichzeitig auf und wird deshalb auch „Selektiver Schwund“ genannt. Diese Eigenart ist spürbar, wenn ein Funkgespräch in der Frequenzmodulation durchgeführt wird, das durch selektives Fading beeinflusst wird. Da FM sehr breitbandig ist, kann es sein, dass sich ein Teil des Signals gerade im Schwund-Tal und der andere auf dem Schwund-Berg befindet, sodass die Modulation verzerrt wird. Dieses Problem ist im Amateurfunk jedoch nicht so gravierend, da man hier meistens mit sehr schmalbandigen Modulationsarten arbeitet (SSB, CW etc.).

Ein anderer Typ des Interferenzschwundes ist das „Flatter-Fading“, das sich durch extrem schnelle Schwankungen zeigt, und durch Reflexionen an polaren Nordlichtern hervorgerufen wird.

Eine weitere Form des Fadings ist der Polarisationsschwund, der dadurch hervorgerufen wird, dass die Polarisation der ausgesendeten Wellen bei der Reflexion in der Ionosphäre verloren geht. Meist ist die reflektierte Welle elliptisch polarisiert. Wenn allerdings eine Antenne zum Beispiel horizontal polarisiert ist, die Lage der Halbachse der reflektierten Welle aber vertikal liegt, wird das Signal stark gedämpft. Da sich die Lage der Halbachse der Welle ständig ändert, können starke Schwankungen in der Empfangsfeldstärke auftreten.

Auch die Dämpfungseigenschaften der D-Region können zu Fading führen, da die Stärke der Dämpfung ebenfalls variiert. Dies zeigt sich durch ein relativ langsames Schwanken der empfangenen Signale.

Führt man Funkgespräche auf kurzwelligen Frequenzen durch, die nahe der MUF liegen, kann es auch zu Fading kommen, da die MUF nie fest liegt, sondern aufgrund sich ändernder Verhältnisse in der Ionosphäre auch schwankt. Es kommt daher vor, dass die Wellen teilweise nicht mehr reflektiert werden und die Ionosphäre durchdringen, wodurch relativ starkes Fading auftritt.

Die Schichten der Ionosphäre sind so beschaffen, dass sie nie völlig plan und parallel zum Erdboden sind, sondern sich eher wellenförmig wölben. Diese Wölbungen wirken deshalb bei der Reflexion elektromagnetischer Wellen wie Hohlspiegel, was wiederum dazu führt, dass das Signal beim Empfänger nie völlig konstant ist. Da die Ionosphäre ständig in Bewegung ist, ist diese Art des Fadings permanent vorhanden, was bedeutet, dass nie eine Art des Schwundes allein auftritt, sondern immer mehrere Arten in Kombination den Funkbetrieb beeinflussen.

7 Schlusswort

Der Amateurfunk ist schon seit langer Zeit für technisch interessierte Menschen ein sehr reizvolles Hobby. Seinen Ursprung hat er beim Funkbetrieb auf Kurzwellenfrequenzen und ist deshalb ohne die Reflexion der elektromagnetischen Wellen an der Ionosphäre nicht denkbar. Der Amateurfunk lebt heutzutage von dem Privileg, die meisten ihm zugeteilten Frequenzbereiche primär nutzen zu dürfen. Das bedeutet, dass in diesen Bereichen nur der Amateurfunkbetrieb gestattet ist, und niemand weiter diese Frequenzen benutzen darf. Doch wird gerade dieses Privileg immer umstrittener. In den Zeiten von Telefon, Internet und Satteliten fragen sich die Behörden, wozu der Amateurfunk noch nötig ist. Man ist leider teilweise der Auffassung, dass Funkamateure die Frequenzen nur blockieren, da man diese ja angeblich „sinnvoller“ nutzen könne. Entwicklungen wie UMTS werden immer breitbandiger, sodass man ein größeres Frequenzspektrum benötigt. Hierbei wird es in Zukunft immer wahrscheinlicher, dass der Amateurfunk die erste Institution ist, welche die angestammten Frequenzen abgeben muss.

Dieses Problem wird auch nicht zuletzt dadurch gefördert, dass es, zumindest in Deutschland, immer weniger Interesse für dieses übernationale Hobby gibt. Die Zahlen der abgelegten Prüfungen sind seit langem schon rückläufig, weil es für viele schwierig zu erkennen ist, warum Amateurfunk interessant und sinnvoll ist. Viele fragen nur: „Was bringt euch das eigentlich, wenn ihr nach Südamerika funkt?“ Natürlich kann man auch über das Internet Kontakte in die ganze Welt aufbauen, aber wo bleibt da der Reiz? Beim Funken hört man oft stundenlang auf den Amateurfunkbändern, um gute Bedingungen nutzen zu können und Länder zu kontaktieren, die nur sehr selten aktiv sind. Man sammelt für getätigte Kontakte Bestätigungskarten, so genannte QSL-Karten, von allen Kontinenten der Erde und baut viele Freundschaften auf. Die zahlreichen Schwierigkeiten und Hemmnisse bei der Ausbreitung der Strahlung, die es zu überwinden gilt, machen doch gerade den Amateurfunk aus.

Einer der entscheidenden Vorteile des Amateurfunk ist auch, dass man seine Geräte und Antennen komplett selbst bauen darf. Für den Liebhaber dieses technischen Hobbys ist es dann ein unbeschreibliches Erlebnis, wenn er beispielsweise mit einer selbst gebauten Antenne und einem Eigenbausender genauso gute Ergebnisse erreichen kann, wie mit einem teuren kommerziellen Gerät.

Der Amateurfunk auf der Kurzwelle ist also nur dadurch möglich, dass die Wellen von der Ionosphäre reflektiert werden. Wenn man als Funkamateur weiß, welche Vorgänge bei dieser Erscheinung auftreten, kann man oft leicht feststellen, welche Ausbreitungsform jeweils stattfindet, was ihm auch bei der Vorhersage von Bedingungen sehr dienlich ist.

Ohne die Reflexion elektromagnetischer Strahlung ist kein weltweiter Funkverkehr möglich, außer durch die Verwendung von Satelliten. Der Lang- Mittel- und Kurzwellenfunkverkehr war

demnach die einzige weltweite Kommunikationsmöglichkeit, bevor die ersten Satelliten im Weltall kreisten. Muss es aber nun sein, dass moderne Kommunikationsmittel den Amateurfunk vollständig ablösen? Noch ist der Amateurfunk ein Hobby, das einen festen Platz in der Gesellschaft hat – man kann nur hoffen, dass er diesen Stand in einer Zukunft der Verständigung über Mobiltelefon und Internet verteidigen kann.

Anhang

Abbildungen

1. Lizenzklasse	2. Lizenzklasse	3. Lizenzklasse
Alle für den Amateurfunk freigegebenen Frequenzbereiche mit einer Maximalleistung von 750 Watt PEP	Alle für den Amateurfunk freigegebenen Frequenzen oberhalb von 30MHz mit einer Maximalleistung von 750 Watt PEP	Nur die Frequenzbereiche von 144 bis 146MHz sowie 430 bis 440 MHz mit einer Effektivleistung von maximal 10 Watt (EIRP)

Abb. 1 Amateurfunklizenzen in Deutschland

Deutsche Bezeichnung	Deutsche Abkürzung	Englische Bezeichnung	Englische Abkürzung	Frequenzbereich	Wellenlängen-bereich
–	–	Extremely Low Frequencies	ELF	– ... 300 Hz	– ... 1000 km
–	–	Ultra Low Frequencies	ULF	300 ... 3000 Hz	1000 ... 100 km
Längstwellen	–	Very low Frequencies	VLF	3 ... 30 kHz	100 ... 10 km
Langwellen	LW	Low Frequencies	LF	30 ... 300 kHz	10 ... 1 km
Mittelwellen	MW	Medium Frequencies	MF	300 kHz ... 3 MHz	1000 ... 100 m
Kurzwellen	KW	High Frequencies	HF	3 ... 30 MHz	100 ... 10 m
Meterwellen	UKW	Very High Frequencies	VHF	30 ... 300 MHz	10 ... 1 m
Dezimeter-wellen		Ultra High Frequencies	UHF	300 MHz ... 3 GHz	10 ... 1 dm
Zentimeter-wellen		Super High Frequencies	SHF	3 ... 30 GHz	10 ...1 cm
Millimeter-wellen	–	Extremely High Frequencies	EHF	30 ... 300 GHz	10 ... 1 mm

Abb. 2 Einteilung des Frequenzspektrums der elektromagnetischen Wellen

Frequenz	Band	Amateurfunk-Status
1810 ... 2000 kHz	160 m	Sekundär
3500 ... 3800 kHz	80 m	Primär
7000 ... 7100 kHz	40 m	Primär-Exklusiv
10100 ... 10150 kHz	30 m	Sekundär
14000 ... 14350 kHz	20 m	Primär-Exklusiv
18068 ... 18168 kHz	17 m	Primär
21000 ... 21450 kHz	15 m	Primär-Exklusiv
24890 ... 24990 kHz	12 m	Primär
28000 ... 29700 kHz	10 m	Primär-Exklusiv
50 ... 52 MHz	6 m	Sekundär
144 ... 146 MHz	2 m	Primär-Exklusiv
430 ... 440 MHz	70 cm	Primär
1,24 ... 1,30 GHz	23 cm	Sekundär
2,32 ... 2,45 GHz	13 cm	Sekundär
3,40 ... 3,475 GHz	9 cm	Sekundär
5,65 ... 5,85 GHz	6 cm	Sekundär
10,00 ... 10,50 GHz	3 cm	Sekundär
24,00 ... 24,05 GHz	12 mm	Primär
47,00 ... 47,20 GHz	6 mm	Primär-Exklusiv
75,50 ... 76,00 GHz	4 mm	Primär-Exklusiv
119,98 ... 120,02 GHz	2,5 mm	Sekundär
142,00 ... 144,00 GHz	2 mm	Sekundär
248,00 ... 250,00 GHz	1,2 mm	Primär-Exklusiv

Abb. 3 Amateurfunkfrequenzen

Abb. 4 Kommerzielles „high-end“ Amateurfunkgerät (ICOM IC-7800)

Abb. 5 Fertiger Bausatz eines Eigenbau-Amateurfunkgerätes (K1)

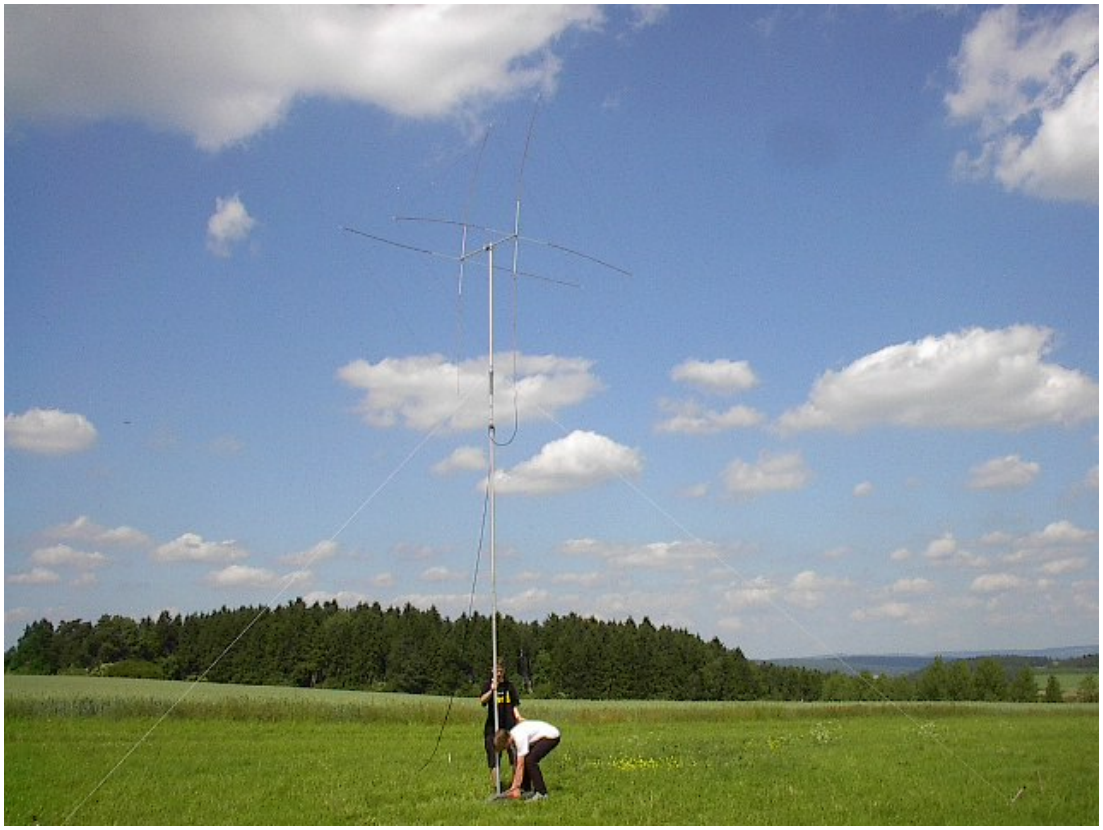

Abb. 6 Test einer Eigenbau-Antenne für 28MHz

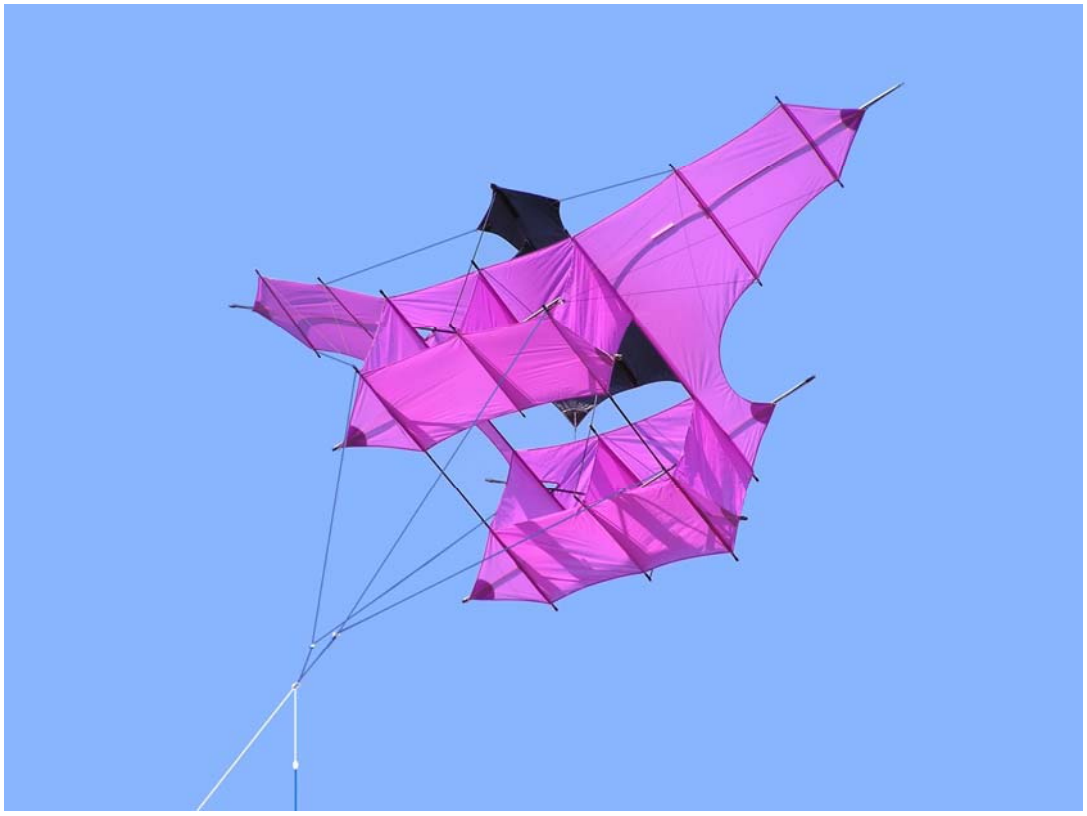

Abb. 7 „Cody“ Manlifter Kite als „Lufthaken“ für eine 42m endgespeiste Marconi-Antenne mit sternförmig ausgelegtem Erdnetz als Gegengewicht.

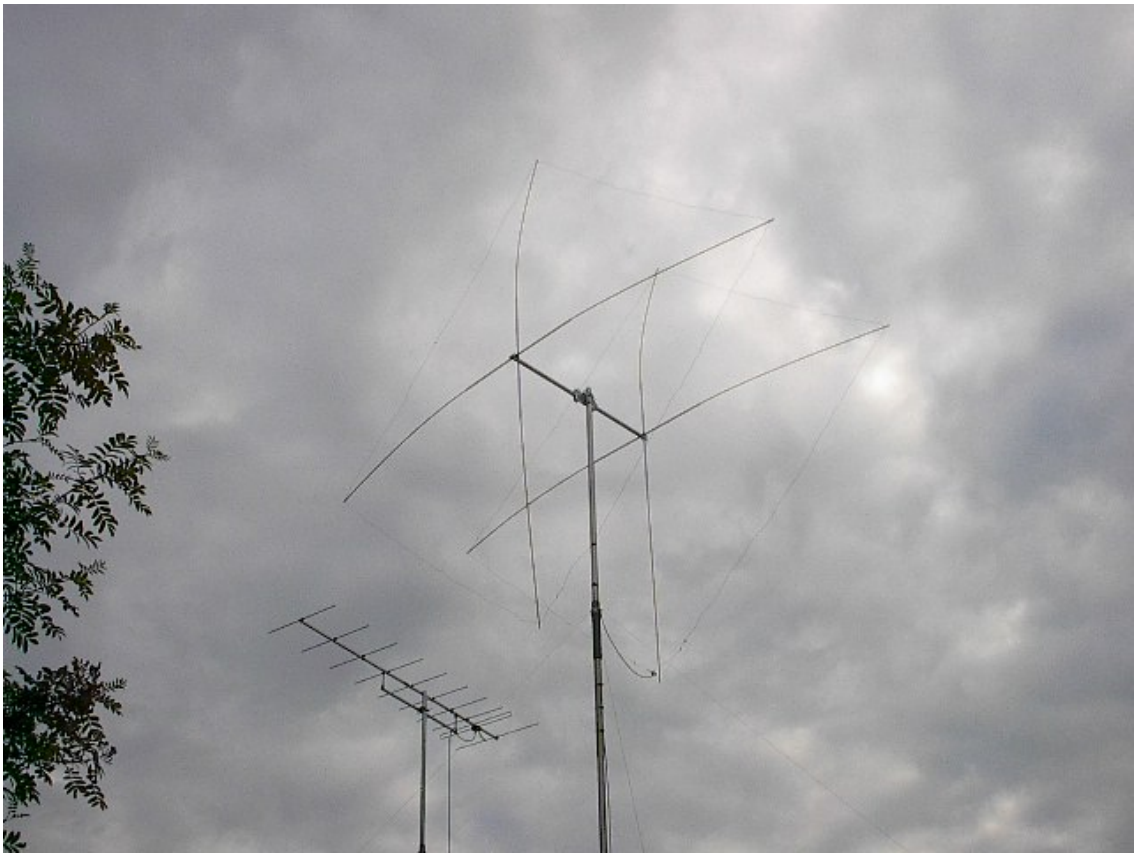

Abb. 8 Eigenbau-Quad im Praxistest bei einem „Fieldday“

Abb. 9 15-Element Logarithmisch-periodische Kurzwellenrichtantenne 7 – 30 MHz DLP-15 von TITANEX

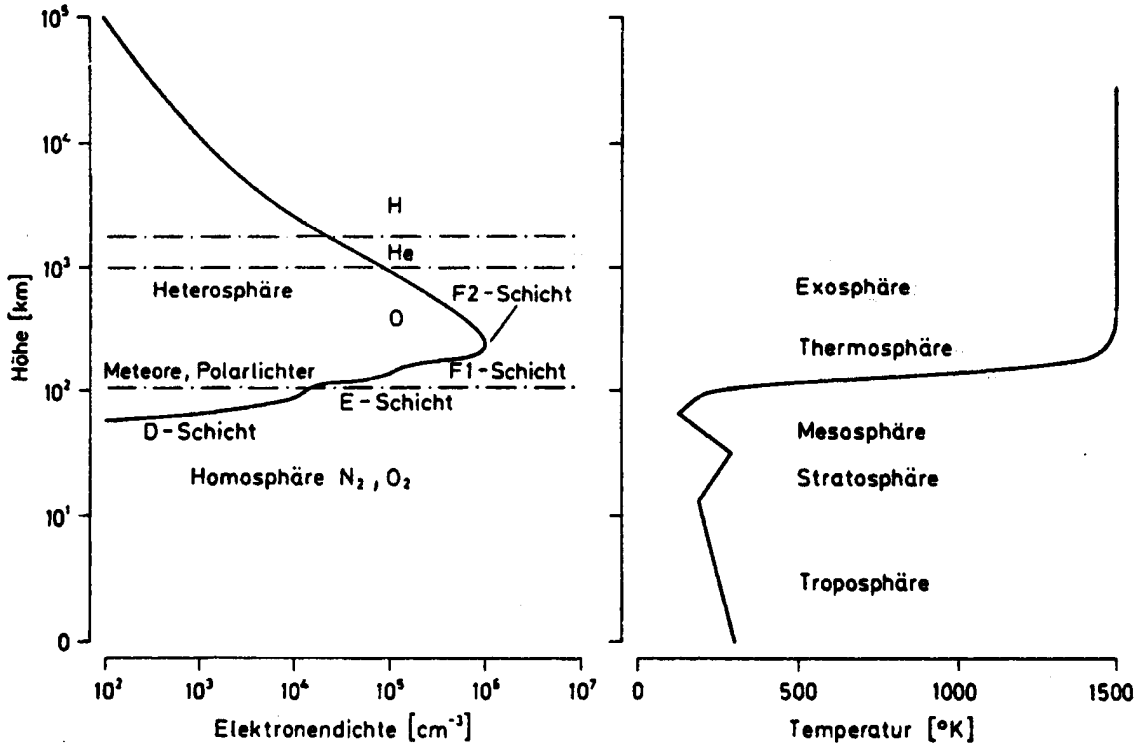

Abb. 10 Elektronendichte und Temperatur in der Erdatmosphäre bezüglich der Höhe

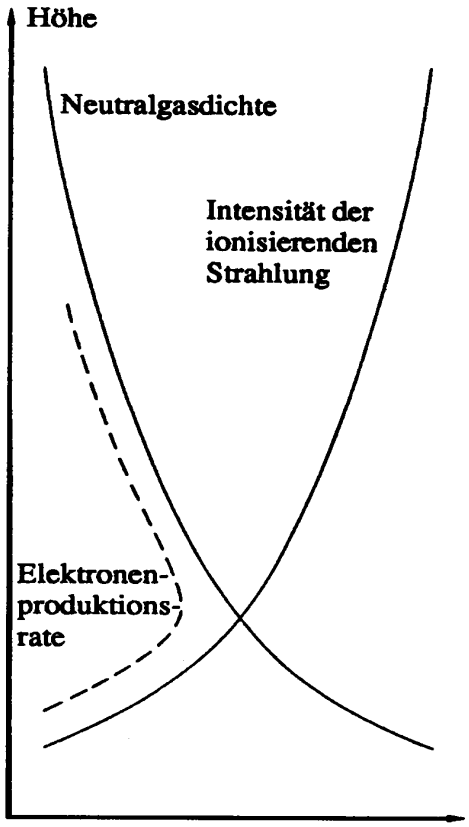

Abb. 11 Verlauf von Neutralgasdichte und Intensität der ionisierenden Strahlung in Bezug auf die Elektronenproduktionsrate

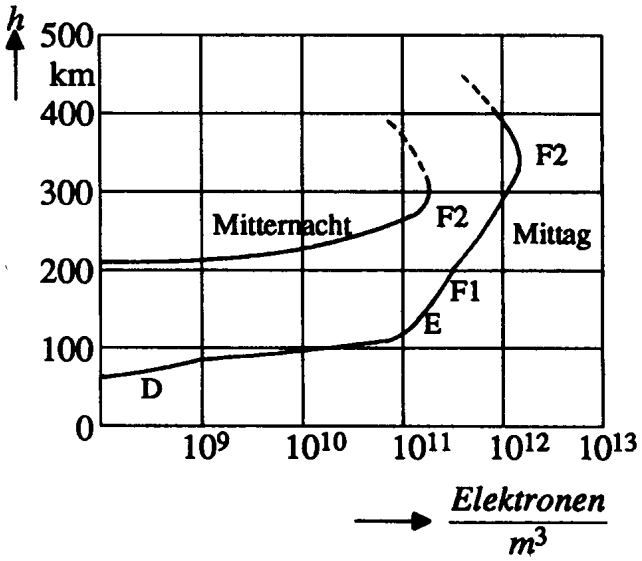

Abb. 12 Elektronendichte in Abhängigkeit zur Höhe

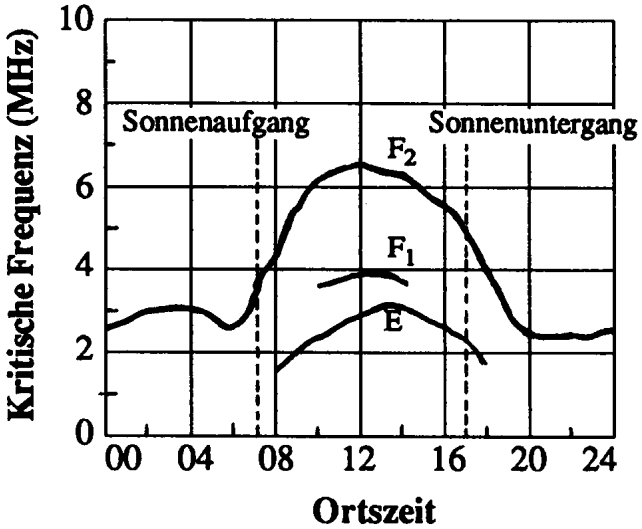

Abb. 13 Tägliche Anomalie der F2-Schicht

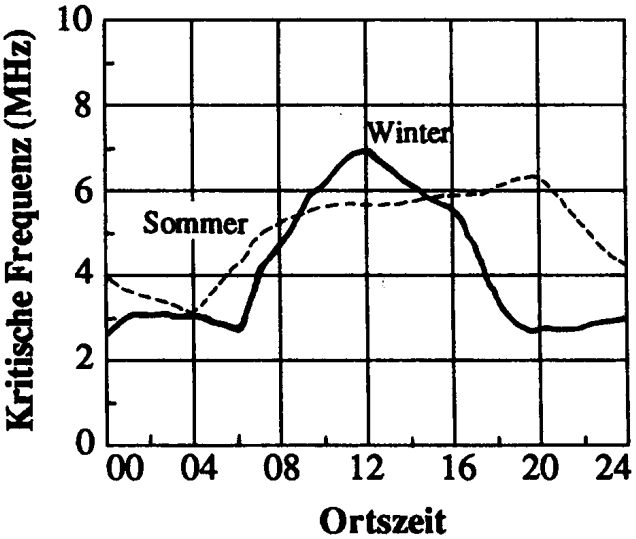

Abb. 14 Jahreszeitliche Anomalie der F2-Schicht

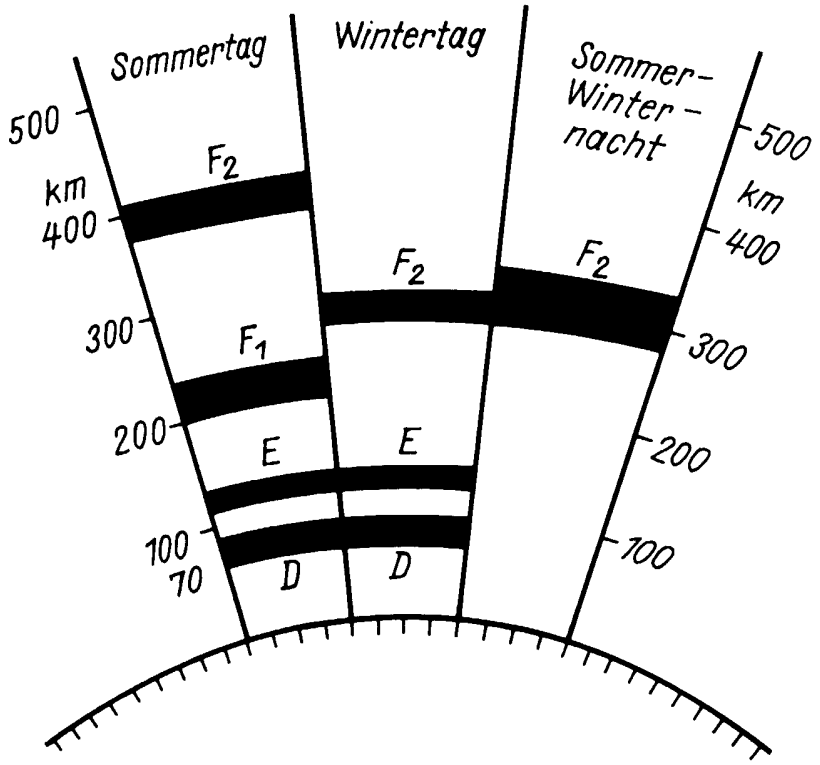

Abb. 15 Höhe und Ausdehnung der Schichten zu verschiedenen Jahreszeiten

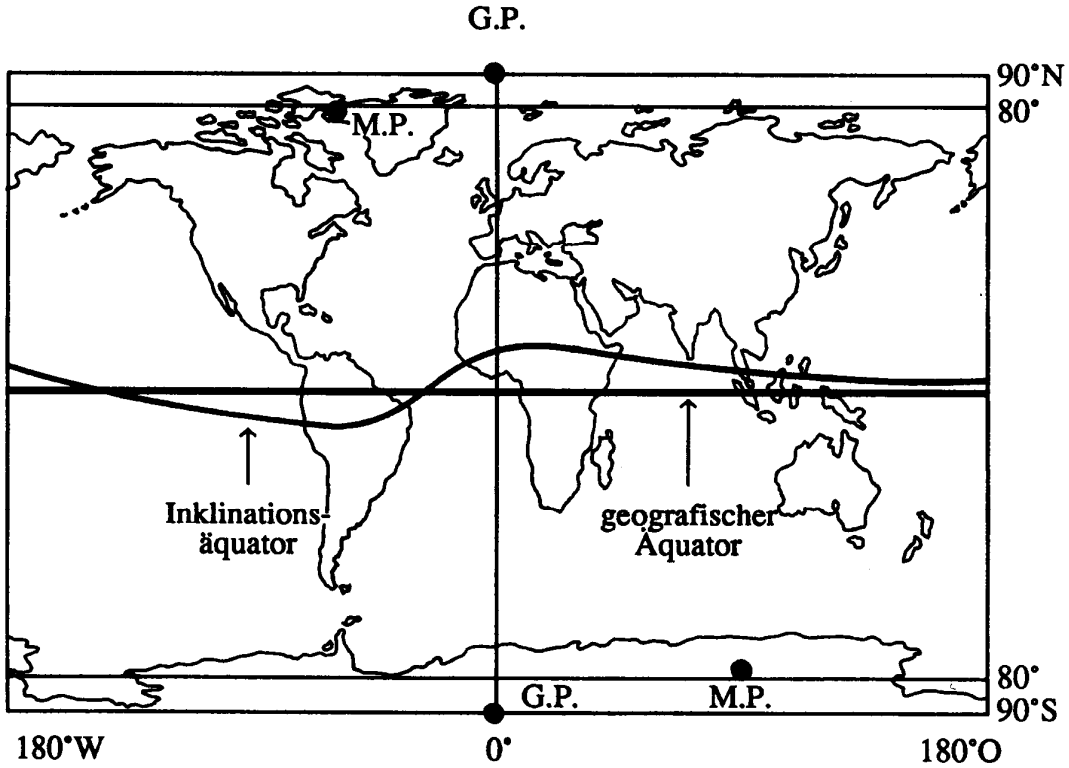

Abb. 16 Inklinationsäquator, geografischer Äquator, sowie die magnetischen und geografischen Pole

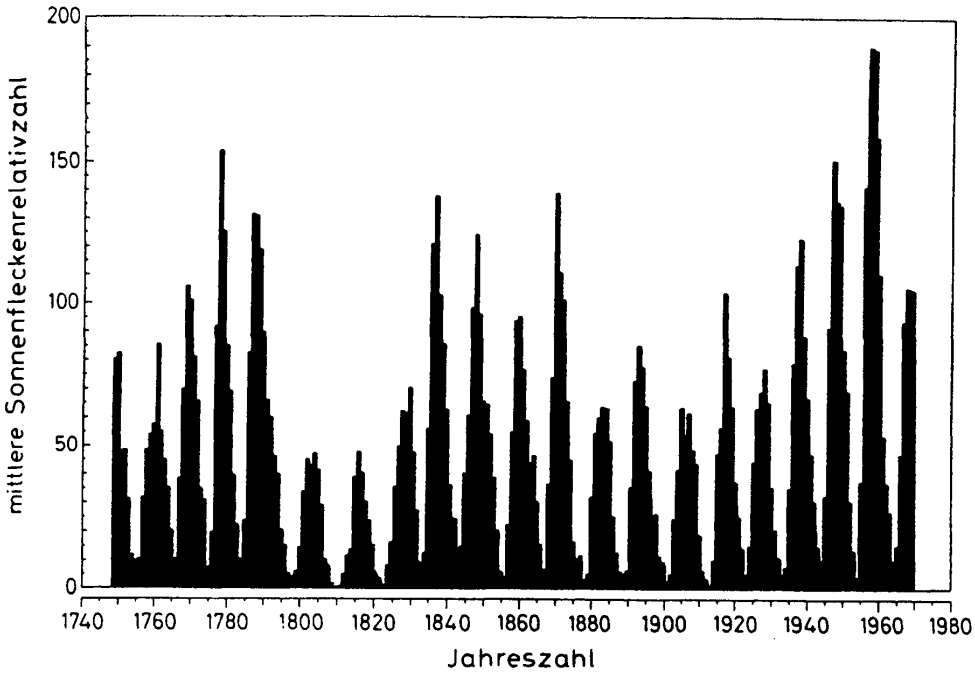

Abb. 19 Verlauf der Sonnenfleckenzyklen seit 1750

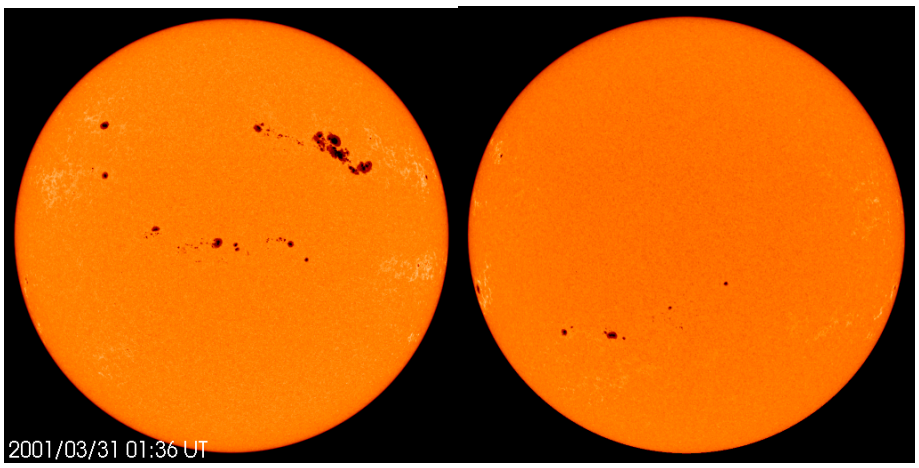

Abb. 18/19 Sonnenflecken am 31.03.2001(links) und am 10.10.2001(rechts) im Vergleich

Klasse	Strahlungsintensität	Auswirkungen
A-Flare	< 0,0000001 W/m²	keine Störungen
B-Flare	0,0000001 bis 0,000001W/m²	
C-Flare	0,000001 bis 0,00001W/m²	
M-Flare	0,00001 bis 0,0001W/m²	Beeinflußung des Erdmagnet-feldes und der Ionosphäre
X-Flare	> 0,0001W/m²	

Abb. 18 Klassen der „solar flares“ (Sonneneruptionen)

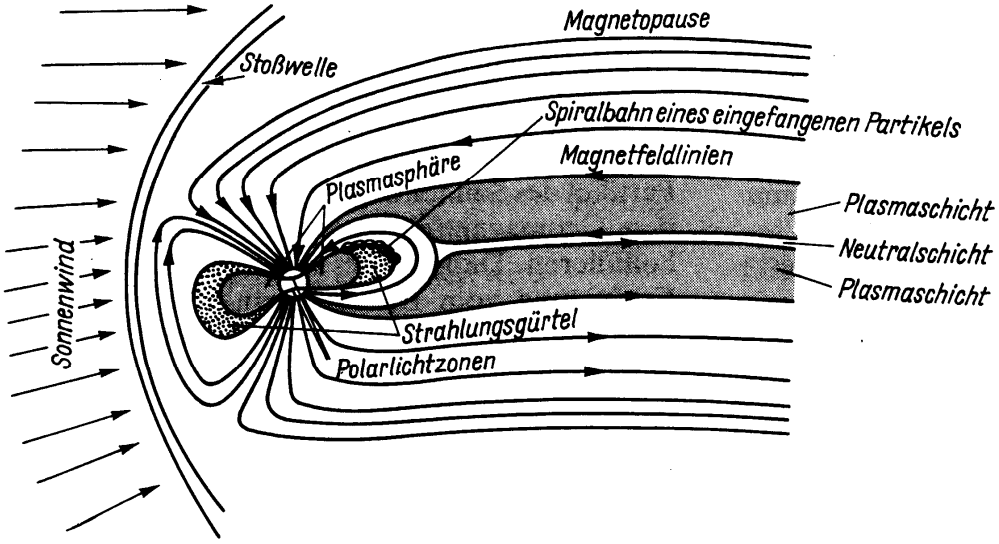

Abb. 21 Formung des Erdmagnetfeldes auf Grund des Sonnenwindes

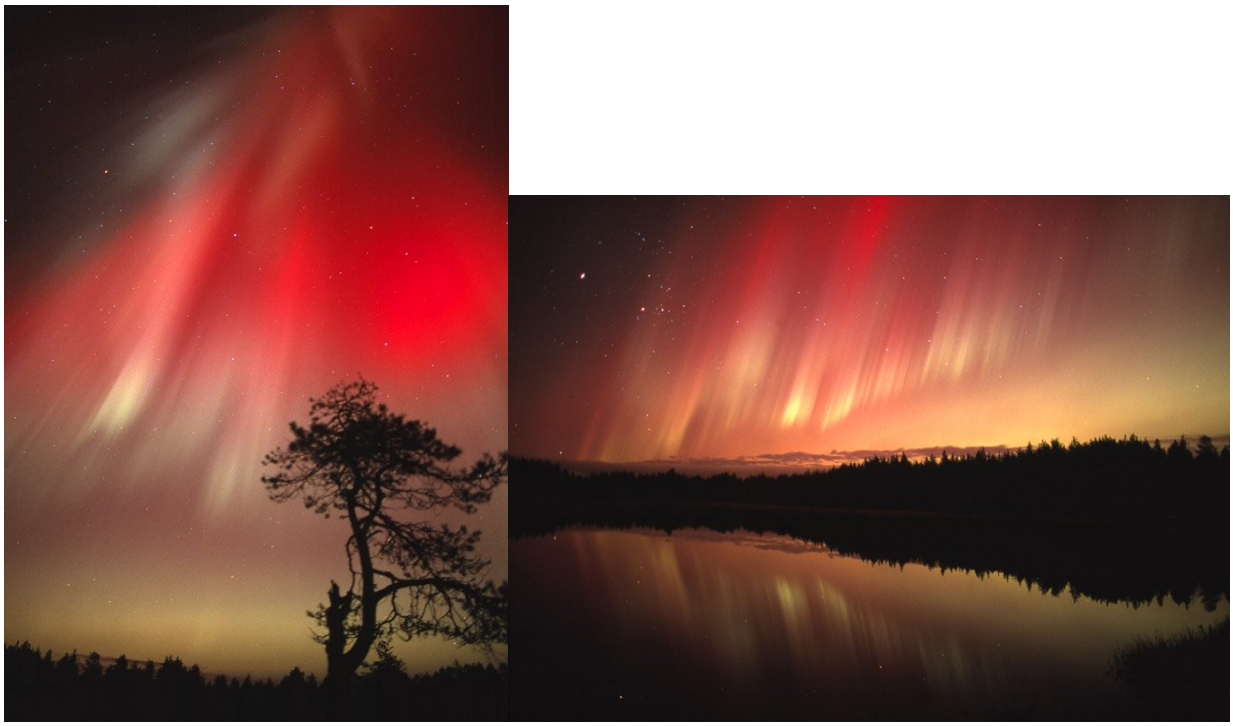

Abb. 22/23 Am 22.10.2001 in Finnland aufgenommene Polarlichter

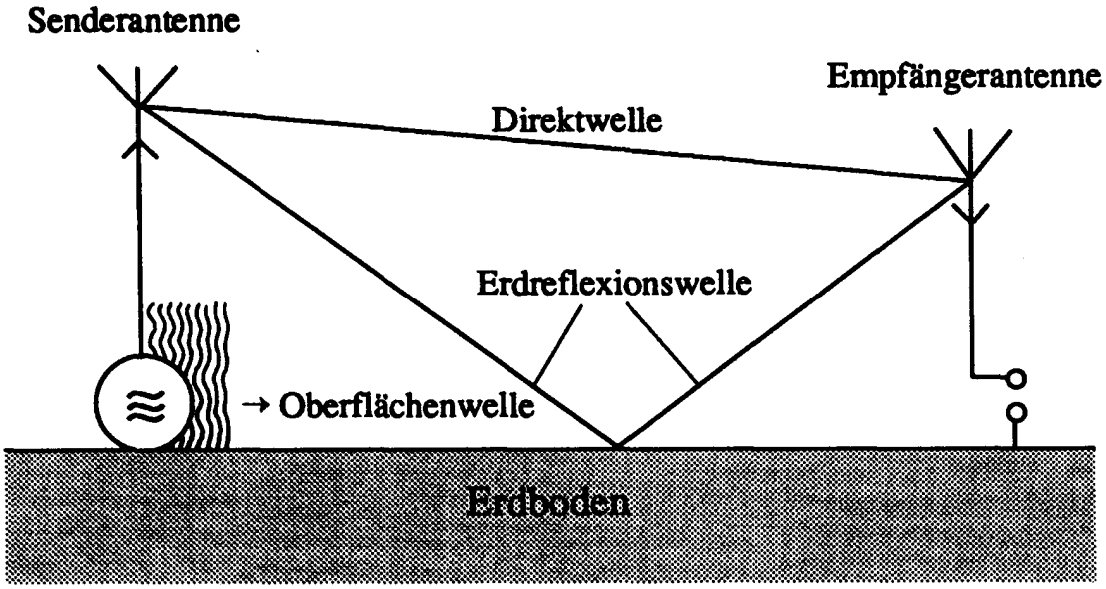

Abb. 24 Formen der Bodenwellenausbreitung

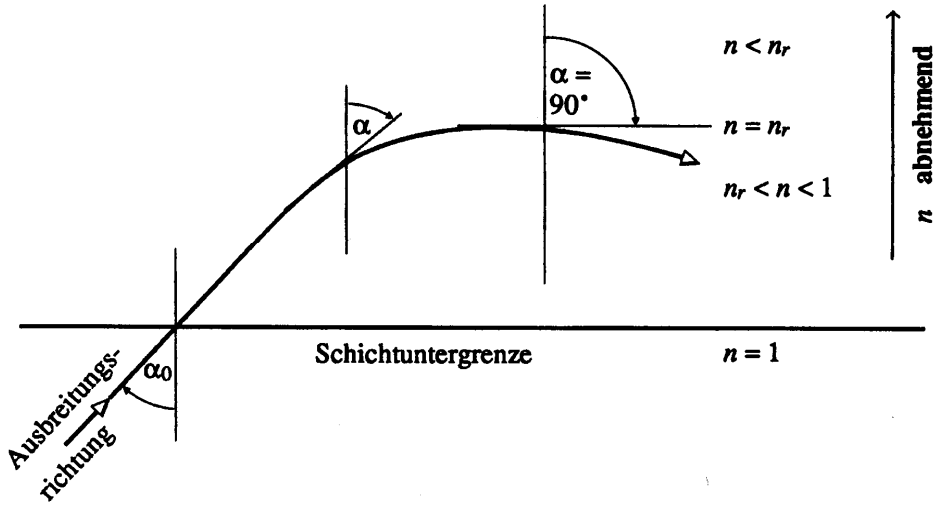

Abb. 23 Ausbreitungsrichtung der Welle in Abhängigkeit vom Brechungsindex

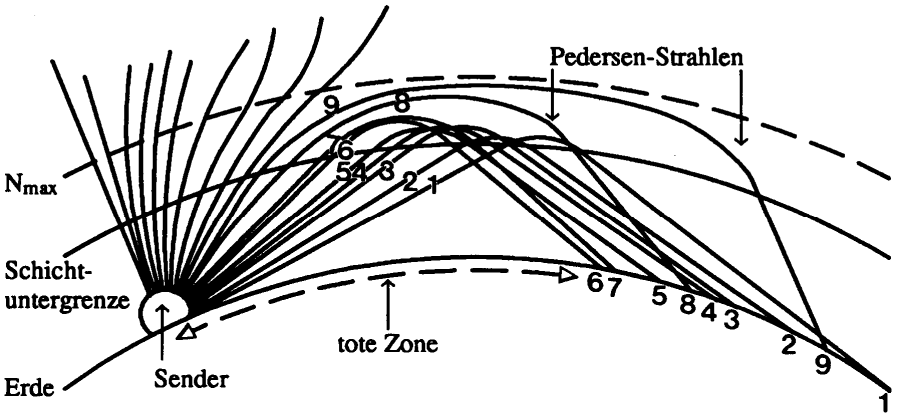

Abb. 24 Reflexionsmöglichkeiten an der F2-Schicht in Bezug auf den Abstrahlungswinkel der Antenne

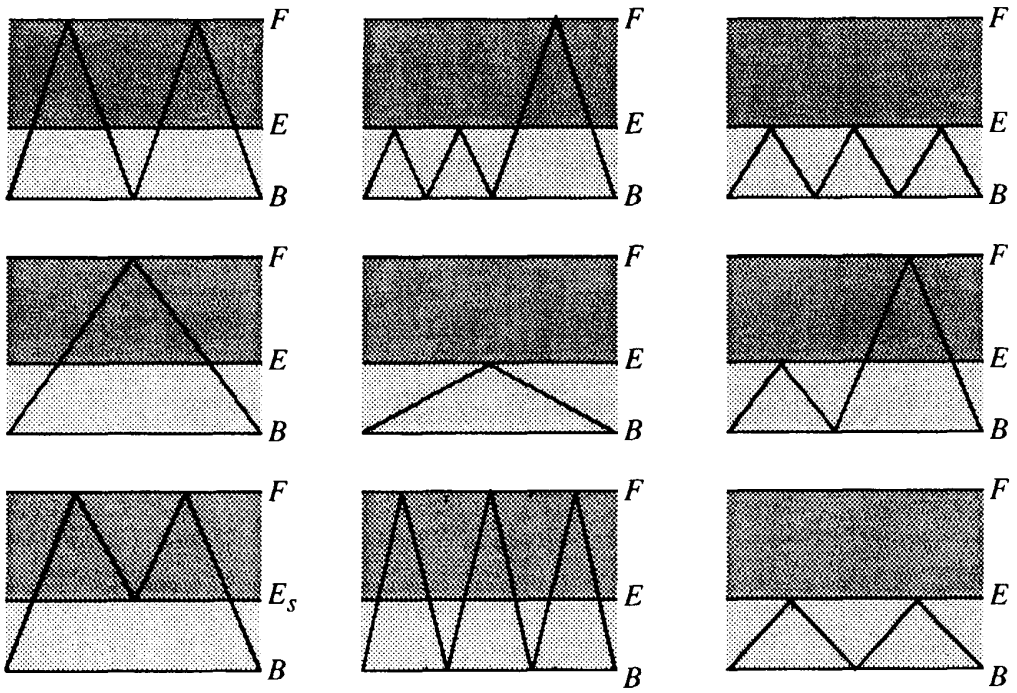

Abb. 25 Varianten der Mehrfachreflexion

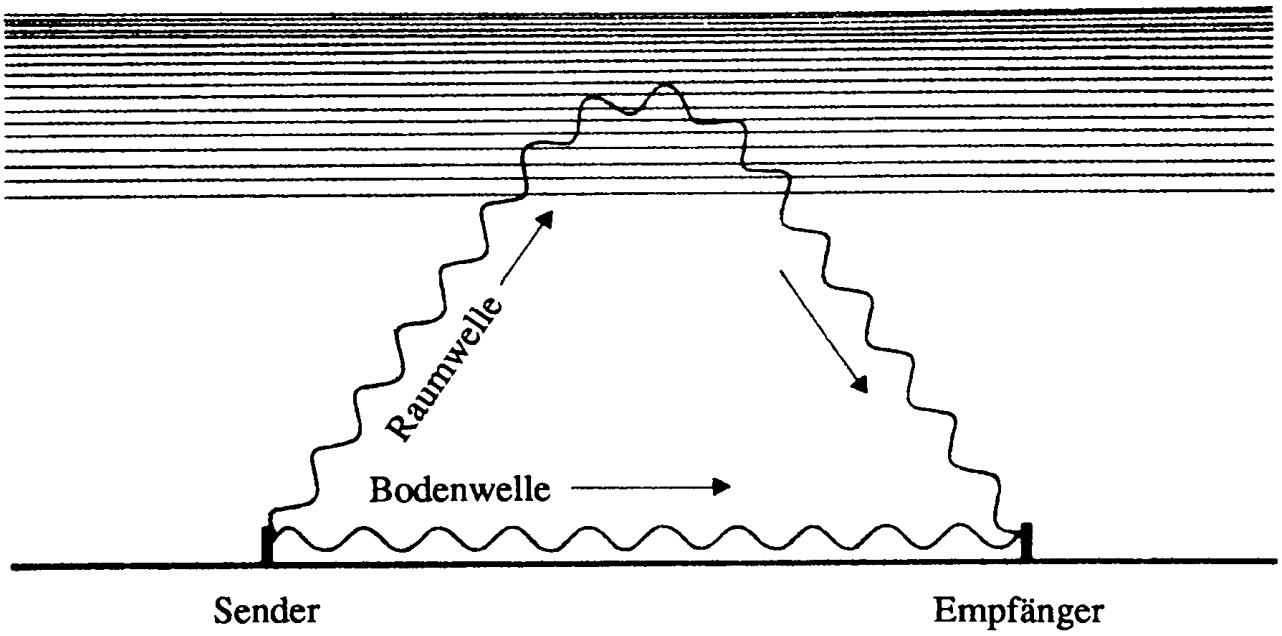

Abb. 26 Entstehung von Interferenzfading

Diversity – Verfahren zur Minderung von Schwund

Das immer auftretende Fading stellt natürlich beim Funkverkehr einen enormen Störfaktor da, der den Amateurfunk einerseits reizvoll macht, andererseits den Amateur fast zur Verzweiflung treiben kann. Deshalb hat man die sogenannten Diversity – Verfahren entwickelt. Bei diesen Methoden arbeitet man mittels zwei oder mehrerer Empfangsanlagen, die je nach Art des Fadings unterschiedlich verwendet werden. Hiermit kann man natürlich nur einige Schwund-Arten vermindern, da man mit einer Empfangsanlage zum Beispiel keinerlei Einfluss auf die Dämpfungseigenschaft der D-Region haben kann.

Ein sehr gutes Mittel gegen den Interferenzschwund ist das Raumdiversity – Verfahren, bei dem man in der Regel zwei Empfangsanlagen verwendet, deren Antennenanlagen räumlich deutlich voneinander getrennt sind. Die Signale der beiden Empfänger werden ausgewertet und so weiterbearbeitet, dass nur das bessere Signal zum Funkamateur geleitet wird. In der Praxis funktioniert dieses Prinzip auch, wenn man an ein Empfangsgerät mehrere Antennen anschließt, und zwischen diesen manuell umschaltet.

Das Frequenzdiversity – Verfahren wirkt ebenfalls sehr effektiv gegen den Interferenzschwund. Da dieses Fading nie bei benachbarten Frequenzen auftritt, genügt es also, ganz einfach nur die Frequenz zu wechseln. Im Amateurfunk ist dies meist nur dann nötig, wenn man längere Gespräche führen möchte, oder wenn das Fading wirklich zu stark ist. Im Normalfall tauscht man bei Kurzwellenverbindungen jedoch nur wenige Daten aus, sodass ein Frequenzwechsel meist nicht nötig ist.

Ähnlich wie beim Raumdiversity – Verfahren geht man beim Polarisationsdiversity – Verfahren vor. Man verwendet hier ebenfalls zwei Antennen, zwischen denen man umschalten kann. Bei diesem Vorgehen ist der Abstand der Antennen jedoch nicht von Bedeutung, da nur die Polarisation relevant ist. Die Praxis zeigt hier, dass die Polarisation der beiden Antennen um 90° versetzt zueinander sein sollte, um möglichst große Effektivität zu erzielen.

Ein sehr rationelles Verfahren, um Schwund zu vermindern, ist das Zeitdiversity – Verfahren, bei dem eine einzige Empfangsanlage genügt. Wenn das empfangene Signal hierbei sehr schwach wird, versucht man, die Übertragung nach einiger Zeit noch einmal zu wiederholen. Dieses Verfahren findet im Amateurfunk sehr oft, wenn auch meist unbewusst, Anwendung. Dem rufenden Funkamateur wird mehrmals nacheinander versucht zu antworten, sodass man einen Schwund-Berg ausnutzen kann. Dadurch kommt das Funkgespräch nur bei guten Bedingungen zustande.

Methoden wie das Raum – oder Polarisationsdiversity – Verfahren werden nur relativ selten angewendet, da man mindestens eine zusätzliche Antenne benötigt, welche aber oft sehr teuer sind.

Zudem beanspruchen diese Verfahren meist viel Platz, da die Antennen möglichst weit voneinander entfernt stehen sollten – dieser Platz steht jedoch oft nicht zu Verfügung.

© Copyright, DL6IP, Hans-Ingo W. Pallmann 2000

Literaturverzeichnis

Klawitter, Gerd (2000):
„Ionosphäre und Wellenausbreitung“
3. Auflage, Siebel Verlag GmbH, Meckenheim

Rothammel, Karl; Dipl.-Ing. Krischke, Alois (1995):
„Rothammels Antennenbuch“
11. Auflage, bearbeitet von Dipl.-Ing. A. Krischke,
Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart

Rothammel, Karl (1978):
„Taschenbuch der Amateurfunkpraxis“
Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB), Berlin

Grehn, Joachim (1992):
„Metzler Physik“
2. Auflage, Schroedel Schulbuchverlag GmbH, Hannover

Layout and dynamic reports created by N6RT:
URL: http://dx.qsl.net/propagation/
Für aktuelle Informationen zur Sonnenaktivität; permanente Aktualisierung

Microsoft Corporation (1999):
Microsoft Encarta Enzyklopädie 2000 Plus
Multimediale Enzyklopädie

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 2
2 Geschichte und Bedeutung des Amateurfunks 2
3 Die Erdatmosphäre 5
3.1 Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre 5
3.2 Die Struktur der Erdatmosphäre 5
3.3 Die Troposphäre 5
3.4 Die Stratosphäre 5
4 Die Ionosphäre 6
4.1 Die Entstehung der Ionosphäre 6
4.2 Die Schichten der Ionosphäre 7
4.2.1 D-Schicht 7
4.2.2 E-Schicht 8
4.2.3 F-Schichten 8
4.2.3.1 F1-Schicht 8
4.2.3.2 F2-Schicht 9
4.3 Anomalien der F2-Schicht 9
4.3.1 Die maximale Durchdringungsfrequenz f_0F2 9
4.3.2 Die MUF 9
4.3.3 Die LUF 10
4.3.4 Die tägliche Anomalie 11
4.3.5 Die jahreszeitliche Anomalie 11
4.3.6 Die geographische Anomalie 11
4.4 Die Es-Schicht 12
5 Die Sonne 13
5.1 Sonnenaktivität und Sonnenflecken 13
5.2 Sonneneruptionen oder „Solar Flares“ 14
5.3 Negative Effekte starker Sonneneruptionen auf den Kurzwellefunkverkehr 14
5.3.1 Mögel-Dellinger Effekt 14
5.3.2 Ionosphärenstürme 15
5.3.3 Das Polarlicht oder auch „Aurora borealis/australis“ 15

6 Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen..... 16
6.1 Die Bodenwelle..... 16
6.2 Die Raumwelle..... 17
6.2.1 Brechung und Reflexion..... 17
6.2.2 Die Reflexion in der Troposphäre..... 17
6.2.3 Die Reflexion in der Ionosphäre..... 17
6.2.4 Die Absorption elektromagnetischer Strahlung..... 19
6.2.5 Streuung (Scattering)..... 19
6.2.6 Mehrfachreflexion..... 20
6.2.7 Schwund oder „Fading“..... 20
7 Schlusswort..... 23
Anhang