

bis zu 10.000 km in den Weltraum hinaus erstrecken. Das damit verbundene elektromagnetische Feld durchdringt dabei die Ionosphäre und folgt den Erdmagnetfeldlinien und erreicht so die andere Erdhälfte. Dabei erreichen die höheren Frequenzanteile den Empfangsort schneller als die tieferen. Der zeitliche Abstand des Eintreffens der hoch- und tieffrequenten Bereiche wird „Dispersion“ genannt. Daraus können Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Ionosphäre und Magnetosphäre gezogen werden.

## 2.7 LF / MF Ausbreitung

### LF-Ausbreitung

Der LF-Bereich (LF = Low Frequencies) geht von 30 bis 300 kHz, die Wellenlänge beträgt 10 bis 1 km. Der Bereich wird auch als Langwellenbereich bezeichnet.

Dieser Bereich wird hauptsächlich genutzt von Navigationssendern (LORAN, DECCA, NDBs), Küstenfunkstellensendern und Rundfunksendern.

Am Tag ist ausschließlich die Bodenwelle zu empfangen. Die Raumwelle wird wegen zu geringer Ionisation der D-Schicht nicht von dieser reflektiert. Zur E- oder F-Schicht können die Langwellen nicht vordringen. Bei Dunkelheit kommt es zu einer Erhöhung der Reichweite. Zur Verminderung von Interferenzen (Störungen) mit anderen Rundfunksendern auf der gleichen Frequenz reduzieren daher Langwellensender ihre Leistung bei Nacht oder verwenden nachts Schaltungen, um die Antennen gerichtet zu betreiben.

### MF-Ausbreitung

Der MF-Bereich (MF = Medium Frequencies) geht von 300 kHz bis 3 MHz, die Wellenlänge beträgt 1000 bis 100 m. Der Bereich wird als Mittelwellenbereich bezeichnet. Dieser Bereich wird hauptsächlich von Rundfunksendern genutzt.

Am Tag wird der Raumwellenanteil vollständig von der D-Schicht absorbiert, nur die Bodenwelle bleibt wirksam. Die Reichweite hängt von der Frequenz und der Bodenleitfähigkeit ab. Bei Nacht dringt die Raumwelle bis zur Ionosphäre vor und wird dort reflektiert. Besonders im unteren Frequenzbereich bis etwa 500 kHz speziell an die Sporadic-E-Schicht (E<sub>s</sub>). Oberhalb von 500 kHz und gegen Morgen erfolgt die Reflexion an der F<sub>2</sub>-Schicht.

Durch das Zusammentreffen von Boden- und Raumwelle kommt es bei Mittelwellensendern zu Schwunderscheinungen (Nahbereichsschwund). Abhilfe dagegen bringen schwundmindernde (mittengespeiste) Antennen.

## 2.8 HF-Ausbreitung

Der HF-Bereich (HF = High Frequencies) geht von 3 bis 30 MHz, die Wellenlänge beträgt 100 bis 10 m. Der Bereich wird auch als Kurzwellenbereich bezeichnet. Dieser Bereich wird von vielen Anwendern benutzt.

Die Kurzwellenausbreitung wird anhand der einzelnen Kurzwellen-Amateurbänder besprochen. Bei der Beschreibung wird auch der s.g. Grenzwellenbereich von 1,5 bis 3 MHz durch das 160-m-Amateurband mit erfaßt.

### Nahverbindungen

Kurzwellen-Funkverbindungen über sehr kurze Entfernungen werden über die Bodenwelle abgewickelt. Dabei wird praktisch ausschließlich vertikale Polarisation verwendet. Bei niedrigen Frequenzen folgen die Wellen besser der Erdkrümmung, daher sinkt die Reichweite mit steigender Frequenz. Zu tiefen Frequenzen nimmt wegen der steigenden Verluste der Anpaßelemente der Antennenwirkungsgrad für mobil einsetzbare Antennenformen schnell ab, so daß auch keine zu tiefen Frequenzen eingesetzt werden können. Wesentlich in die Reichweite geht auch die Höhe der Antennen über Grund ein. Für Sendeleistungen von etwa 1 kW und Frequenzen von wenigen MHz ergeben sich über Land typische Reichweiten um 100 km und über Wasser bis zu etwa 1000 km.

An den mit Bodenwellen erreichbaren Nahbereich schließt sich, zumindestens über Land, die „tote Zone“ an, die mit Bodenwellen nicht mehr und mit Raumwellen noch nicht erreicht werden kann. Wegen der während der Nachtstunden erst in größeren Höhen erfolgenden Reflexionen ist die tote Zone tagsüber schmal und nachts breiter.

### Verbindungen über mittlere Entfernungen

Funkverbindungen über Entfernungen, die mit Bodenwellen nicht mehr erreicht werden können, sind möglich über Reflexionen an der Ionosphäre bei steilen Auftreffwinkeln. Da tiefe Frequenzen noch bei steilerem Auftreffen reflektiert werden als höhere Frequenzen, ist für derartige Kurzwellen-Verbindungen vor allem der Frequenzbereich bis etwa 6 MHz geeignet, der auch für Bodenwellenverbindungen eingesetzt wird. Im Gegensatz zu Bodenwellenverbindungen sind jedoch für Ionosphärenverbindungen Antennen mit guten Steilstrahlungseigenschaften wünschenswert. Verbindungen über Steilstrahlung werden auch als „NVIS“ (near vertical incidence skywave) bezeichnet. Mit Vertikalantennen, deren Hauptstrahlrichtung in die Horizontale gerichtet ist, ergibt sich eine breite „tote Zone“ z. B. bis 500 km. Tagsüber ist diese Zone kleiner als nachts, da die Reflexion tagsüber in geringerer Höhe erfolgt. Antennen mit guten Steilstrahlungseigenschaften ergeben eine deutlich kleinere tote Zone.

## **Verbindungen über große Entfernungen**

Je größer die zu überbrückende Entfernung, desto flacher müssen die Antennen abstrahlen. Daraus folgt, daß von mehreren möglichen Ausbreitungsweegen von der Sendestation zum Empfänger in der Regel Ausbreitungswege mit nur einem „hop“ (Entfernung bis maximal 3000 km) bzw. mit wenigen „hops“ die größten Feldstärkewerte ergeben, da jeder Durchtritt durch die D-Schicht und jede Reflexion an der Ionosphäre und Erde die Welle dämpft. Außerdem treten auch Polarisationsdrehungen auf.

Der Funkamateurl hat nicht die Möglichkeit, den für die Fernausbreitung der Kurzwellen entscheidenden Zustand der Ionosphäre zu messen, und er könnte sich auch nicht die für eine optimale Übertragung günstigste Frequenz auswählen, da er an die einzelnen Amateurbänder gebunden ist. Durch häufige Bandbeobachtung, gepaart mit einigem Wissen vom Ausbreitungsmechanismus, hat er bald ein „Gespür“ dafür, welche Verbindungsmöglichkeiten ein bestimmtes Kurzwellenband zu einem bestimmten Zeitpunkt bietet. Diese Praxis ist auch nicht durch langfristige Voraussagen und Regeln zur Brauchbarkeit der Kurzwellenamateurbänder zu ersetzen, denn sie können nur von einer „normalen“, relativ ungestörten Ionosphäre ausgehen und sind deshalb immer mit dem Unsicherheitsfaktor der ständig wechselnden Sonnenaktivität behaftet.

### **160-m-Amateurband**

Das 160-m-Band ist international von 1800...2000 kHz zugelassen. Fast alle Länder machen von ihrem Recht Gebrauch, nur bestimmte Bereiche innerhalb des Bandes für den Amateurfunkbetrieb freizugeben. Diese Frequenzabschnitte sind unterschiedlich verteilt. Das Band wird weltweit auch als „Top-Band“ bezeichnet und hat seine besonderen Liebhaber. Da es praktisch nur in den Nachtstunden für größere Entfernungen brauchbar ist, nennt man es bei den Funkamateuren oft „Nacht-eulenband“.

Außer in den Winternächten des Sonnenfleckenminimums liegt das 160-m-Band stets unterhalb der Grenzfrequenz. Die Dämpfung in der D-Schicht ist sehr hoch, so daß tagsüber nur Verbindungen innerhalb der Bodenwellenreichweite möglich sind. Im Winter ist das Band ziemlich ruhig, im Sommer ist der atmosphärische Störpegel dagegen hoch. Größere Entfernungen können nur während der Nachtstunden überbrückt werden, wobei man die besten DX-Ausbreitungsbedingungen in den Nächten des Winters erwarten kann. Eine tote Zone tritt normalerweise nicht auf. Die Ausbreitung ist der des benachbarten Mittelwellen-Rundfunkbereiches sehr ähnlich.

### **80-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht hier in Europa von 3,500 bis 3,800 MHz. Das Band wird als „Deutschland-Band“ bezeichnet. Während der Tagesstunden können nur relativ geringe Entfernungen überbrückt werden, weil die 80-m-Welle von der D-Schicht stark absorbiert wird. Im Winter sind die Tagesreichweiten etwas größer als im Sommer, maximal betragen sie etwa 400 km.

Mit dem Abbau der D-Schicht nach Sonnenuntergang wird die Dämpfung verringert, und die Reichweiten steigen an. Während der Nachtstunden können nicht selten mehr als 1000 km überbrückt werden, sofern störende Nahstationen im sehr dicht besetzten Band und der im Sommer hohe atmosphärische Störpegel eine einwandfreie Verbindung zulassen.

Während der Wintermonate und besonders zu Zeiten des Sonnenfleckenminimums ist in den ersten Morgenstunden (vor Sonnenaufgang) oft interkontinentaler Funkverkehr möglich. Die dabei auftretende tote Zone von etwa 1000 km Sprungdistanz bewirkt, daß Europastationen nur innerhalb ihrer Bodenwellenreichweite den Empfänger stören können.

### **40-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht hier in Europa von 7,000 bis 7,100 MHz. Das Band wird als „Europa-Band“ bezeichnet. Auch im 40-m-Band ist die Dämpfung durch die Tages-D-Schicht noch erheblich, allerdings erreicht man bereits normale Tagesreichweiten bis 1000 km, die bei günstigen Ausbreitungsbedingungen bis auf etwa 2000 km ansteigen können. Die tote Zone beträgt am Tage etwa 100 km.

Besonders zu Zeiten des Sonnenfleckenminimums bestehen oft bereits in den späten Nachmittagsstunden interkontinentale Verbindungsmöglichkeiten, die aber wegen störender Nahstationen nur selten genutzt werden können. Nachts – und insbesondere während der Wintermonate vergrößert sich die Sprungdistanz, deren Maximum etwa um Mitternacht vorhanden ist. Da Europa dann in der toten Zone liegt, können störungsfreie Funkverbindungen mit allen Kontinenten hergestellt werden. Geringste Dämpfung und damit größte Reichweiten treten auf, wenn sich der gesamte Ausbreitungspfad auf der Nachtseite der Erde befindet (Fehlen der absorbierenden D-Schicht).

Die atmosphärischen Störungen sind geringer als im 80-m-Band, sie können jedoch besonders im Sommer die Verkehrsmöglichkeiten erheblich beeinträchtigen.

### **30-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht von 10,100 bis 10,150 MHz. Das 30-m-Band wurde von der Welt-Funkverwaltungskonferenz am 1.1.1982 für den Amateurfunkbetrieb neu zugeteilt. Es wird von den Ländern nach eigenem Ermessen für den Betrieb frei-

gegeben. Da das Band nur 50 kHz breit ist und mit anderen Funkdiensten geteilt werden muß, wird es in den meisten Ländern nur für die Betriebsart Teleggrafie zugelassen.

Es ist ein „Tag- und Nachtband“ und vereinigt in sich viele Vorzüge des 20-m-Bandes mit denen des 40-m-Bandes. Zu Zeiten geringer Sonnenaktivität, wenn die DX-Bänder 10, 12 und teilweise 15 m nicht mehr brauchbar sind, kann dieses Band eine Ersatzfunktion übernehmen. DX-Verbindungen sind zu allen Jahres- und Tageszeiten möglich, die Tagesdämpfung durch die D-Schicht ist relativ gering.

### **20-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht von 14,000 bis 14,350 MHz. Das 20-m-Amateurband stellt das traditionelle DX-Band dar (DX = Verbindung über sehr weite, interkontinentale Entfernungen). Fast zu allen Zeiten läßt sich dieses Band „rund um die Uhr“ für den Verkehr mit anderen Kontinenten benutzen, lediglich zur Zeit des Sonnenfleckenminimums ist das 20-m-Band nur tagsüber und in den Dämmerungsperioden „offen“, nachts bestehen dann keine Verbindungsmöglichkeiten.

Es tritt fast immer eine tote Zone auf, deren Sprungdistanz am Tage zu Zeiten geringer Sonnen-tätigkeit etwa 1000 km beträgt; im Sonnenfleckenmaximum geht sie auf 400 km und weniger zurück. In den Sommermonaten ist dann zeitweise keine tote Zone mehr vorhanden.

Mit Eintritt der Abenddämmerung dehnt sich die tote Zone rasch aus, die nächtliche Sprungdistanz kann dann im Maximum 4000 km betragen. Besonders günstige Bedingungen sind gegeben, wenn ein Teil des Ausbreitungspfad es über die Nachtseite der Erde läuft. Für Europaverbindungen ist das 20-m-Band nur während des Sonnenfleckenmaximums im Sommer bedingt brauchbar. Atmosphärische Störungen treten kaum in Erscheinung.

### **17-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht von 18,068 bis 18,168 MHz. Das 17-m-Band wurde von der Welt-Funk-verwaltungskonferenz am 1.1.1982 für den Amateurfunkbetrieb neu zugelassen. Die Betriebsfreigabe liegt im Ermessen der einzelnen Länder. Es ist ein ausgesprochenes DX-Band, welches stark vom Sonnentätigkeitszyklus abhängt. Normalerweise bestehen in den Tagesstunden Verbindungsmöglichkeiten nach allen Kontinenten. Die Ausbreitungsbedingungen sind denen des 15-m-Bandes ähnlich.

Im Sonnenfleckenmaximum ist das Band meistens durchgehend offen, im Sonnenfleckenminimum nur tagsüber. Es tritt immer eine tote Zone auf. Atmosphärische Störungen sind sehr selten.

### **15-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht von 21,000 bis 21,450 MHz. Die Ausbreitungsbedingungen sind stark

vom Sonnentätigkeitszyklus abhängig. Während des Sonnenfleckenmaximums ist das Band fast durchgehend für den DX-Verkehr geöffnet. Dabei können wegen der geringen Dämpfung mit kleinen Strahlungsleistungen sehr große Entfernungen überbrückt werden.

Zu Zeiten des Sonnenfleckenminimums ist das Band bestenfalls in den Sommermonaten tagsüber und meist nur kurzzeitig brauchbar. Nachts bestehen dann keine Fernverbindungsmöglichkeiten, in den Wintermonaten fällt das Band ganztägig aus.

Gelegentlich können Reflexionen an der *sporadischen E-Schicht* auftreten, es sind dann Kontakte über Entfernungen von etwa 2000 km möglich. Atmosphärische Störungen beeinflussen das 15-m-Band nicht.

### **12-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht von 24,890 bis 24,990 MHz. Auch das 12-m-Band wurde mit Wirkung vom 1.1.1982 für den Amateurfunkbetrieb neu zugelassen und wird nach eigenem Ermessen der Länder für den Betrieb freigegeben. Es ist ein „Tag es-DX-Band“, seine Gebrauchseigenschaften ähneln denen des 10-m-Amateurbandes. Es besteht eine sehr starke Abhängigkeit von der Sonnentätigkeit. Davon unabhängig sind nur Verbindungen über die sporadische E-Schicht, die jederzeit vorkommen können.

In den Jahren des Sonnenfleckenmaximums ist das Band tagsüber für DX-Verbindungen nach allen Kontinenten hervorragend brauchbar, häufig auch noch in den frühen Abendstunden. Mit dem Absinken der Sonnentätigkeit verschlechtern sich die DX-Bedingungen, es werden dann nur noch kurzzeitig in den frühen Nachmittagsstunden DX-Verbindungen möglich. Im Sonnenfleckenminimum sind interkontinentale Verbindungen nicht mehr durchzuführen.

### **10-m-Amateurband**

Der Frequenzbereich geht von 28,000 bis 29,700 MHz. Das Band ist nur in Zeiten starker Sonnenaktivität für Verbindungen über Raumwellenreflexion brauchbar. Es bestehen dann während der Tagesstunden hervorragende DX-Möglichkeiten, wobei selbst mit sehr kleinen Senderleistungen Weitverbindungen hergestellt werden können. Es ist mit einer toten Zone von 4000 km zu rechnen. Der Ausbreitungsweg muß auf der Tagseite der Erde verlaufen, d. h., bei Bandöffnung in den Morgenstunden sind zunächst fernöstliche Stationen zu erreichen. Bei maximaler Sonnentätigkeit kann das Band im Sommer bis in die späten Abendstunden brauchbar sein. Die Abhängigkeit von der Sonnentätigkeit ist extrem.

Zu Zeiten des Sonnenfleckenminimums fällt das 10-m-Band für Fernverbindungen völlig aus. Lediglich durch Reflexionen an der sporadischen E-

Schicht bestehen gelegentlich kurzzeitige Verbindungsmöglichkeiten über mittlere Entfernungen.