



## LEKTION 17: Die Modulation

COPYRIGHT 2004 by  
Eckart Moltrecht DJ4UF  
Raafstr.36, 52076 Aachen

Mit Hilfe der Funktechnik sollen Informationen drahtlos übertragen werden. Hierzu wird mittels Modulation die Information auf einen Hochfrequenzträger übertragen. Die Modulation ist also das Wichtigste bei der drahtlosen Nachrichtentechnik. Deshalb wird dieses Thema in meinem Buch Amateurfunk-Lehrgang Teil 2 - Funktechnik in drei Lektionen ausführlich behandelt. Ich werde hier eine Übersicht bringen, so dass Sie die Unterschiede der verschiedenen Modulationsarten grundsätzlich verstehen und die Prüfungsfragen richtig beantworten können.

### Das Prinzip der Nachrichtenübertragung

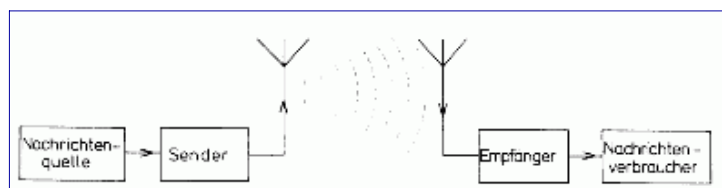
In der Nachrichtenübertragungstechnik unterscheidet man drahtgebundene (Fernmeldetechnik) und drahtlose Nachrichtenübertragung (Rundfunk- und Fernsehtechnik, Funktechnik). Im Rahmen des Amateurfunklehrgangs werden wir uns nur mit der drahtlosen Nachrichtenübertragung befassen.

Bereits im vorigen Jahrhundert behauptete der englische Physiker J. C. Maxwell (1831 -1879) aufgrund mathematischer Ableitungen, dass sehr schnelle elektrische Schwingungen sich als elektromagnetische Wellen frei durch den Raum fortpflanzen können. Auch das Licht sei nichts anderes als solche elektromagnetischen Schwingungen oder Wellen. Alle diese Wellen bewegten sich mit der Geschwindigkeit des Lichts fort, nämlich mit fast 300 000 km in der Sekunde. Dem deutschen Physiker Heinrich Hertz (1857-1894) gelang es dann 20 Jahre später durch Versuche, solche elektrischen Wellen zu erzeugen, sie wieder aufzufangen und ihre Wesensgleichheit mit dem Licht nachzuweisen.

Andere Erfinder benutzten diese "Hertzschen Wellen" sehr bald zur Telegrafie ohne Draht, zuerst nur von Zimmer zu Zimmer. Dem italienischen Forscher G. Marconi (1874-1937) gelang es als erstem, eine drahtlose Verbindung auf größere Entfernungen zu erzielen. Damit begann eine allmählich immer stürmischer verlaufende Entwicklung.

Die ersten Telegrafiesender erzeugten die elektromagnetischen Schwingungen nach dem Vorbild von Hertz durchweg mit einer Funkenstrecke. Dieses Prinzip verließ man zwar schon bald, aber von damals her heißt diese drahtlose Nachrichtenübertragung noch immer Funktechnik.

Das Schema der drahtlosen Nachrichtenübertragung zeigt Bild 1. Die Verbindung zwischen der Nachrichtenquelle (z.B. Sprache des Menschen) und der Nachrichtensenke (z.B. menschliches Ohr) besteht aus der Funkstrecke.



**Bild 1: Schema der drahtlosen Nachrichtenübertragung (Funkstrecke)**

Die Funkstrecke soll die Informationen, beispielsweise das Frequenzband der menschlichen Sprache von 300 Hertz (Hz) bis 3000 Hz, mit Hilfe der elektromagnetischen Wellen bei hohen Frequenzen übertragen. Deshalb wird hinter die Nachrichtenquelle ein Sender geschaltet.

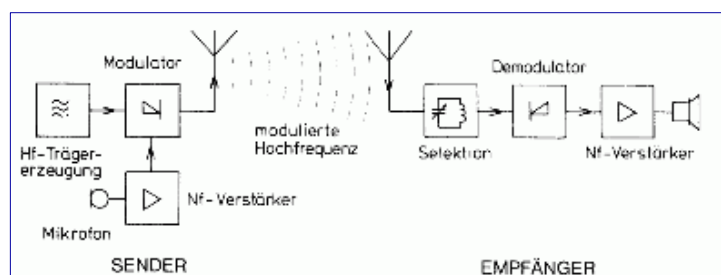
Dieser Funksender hat nicht nur die Aufgabe, die Schallschwingungen in elektrische Schwingungen

umzuwandeln (Mikrofon), sondern vielmehr muss er zusätzlich das Frequenzband von 300 bis 3000 Hertz in das Hochfrequenzband umsetzen. Dies geschieht mit Hilfe der sogenannten Modulation.

Der Empfänger hat die Aufgabe, die hochfrequenten elektrischen Schwingungen zunächst wieder in das ursprüngliche niederfrequente Frequenzband zurückzuführen (Demodulation) und dann noch in Schallwellen umzuwandeln (Lautsprecher).

Modulation bedeutet Beeinflussung. In der Funktechnik versteht man unter Modulation die Beeinflussung einer hochfrequenten, elektrischen Schwingung (Trägerschwingung) durch die zu übertragenden Signale (Sprache, Morsezeichen, Fernsehbildsignale usw.)

Die modulierte Hochfrequenz erzeugt man im Sender. Die Modulation soll auf dem Übertragungsweg erhalten bleiben. Im Empfänger wird durch Demodulation (Amateurfunk-Lehrgang Teil 2, Lektion 11) die Signalschwingung wieder von der Trägerschwingung getrennt.



**Bild 2: Das Prinzip der Funkübertragung**

## Die Sendarten im Amateurfunk [↑](#)

Im Amateurfunk werden Informationen auf verschiedene Weisen übertragen. Die historisch älteste Übertragungsart ist die Morsetelegrafie, bei der mit Hilfe eines von Samuel Morse (1791-1872) festgelegten Codes Buchstaben, Ziffern und Zeichen übertragen werden. Die Morsetelegrafie hat in den letzten Jahren international an Bedeutung verloren. Jedoch ist dies eine sehr sichere Übertragungsart und wird im Amateurfunk sehr gern für internationale Verbindungen verwendet.

Bei Verwendung der international festgelegten Abkürzungen und dem Q-Code gibt es kaum Verständigungsschwierigkeiten, auch wenn man die Sprache des Funkpartners nicht versteht. Der Nachteil ist, dass dieser Morsecode erst in einem langwierigen Trainingsprozess gelernt werden muss.

Sprechfunk ist die häufigst angewendete Sendart im Amateurfunk. Da das Tonsignal analoge Informationen enthält, ist der Aufwand auf der Senderseite (Modulation) viel höher als bei der digitalen Informationsübertragung in Morsetelegrafie. Außerdem ist die benötigte Bandbreite erheblich größer und dadurch der Signal-/Störabstand geringer. Bei schlechten Ausbreitungsbedingungen ist daher die Reichweite in Telegrafie größer.

Weitere Sendarten sind Fernschreibtelegrafie (RTTY), Faksimile (FAX), Fernsehen (ATV) und Fernwirken. Bei der Fernschreibtelegrafie (radio teletype) werden ebenfalls wie in Morsetelegrafie (CW) mit Hilfe internationaler Codes (z.B. ASCII, ANSI, Baudot) Buchstaben, Ziffern oder Zeichen übertragen, die auf einem Sichtgerät (z.B. Fernschreiber, Drucker, Bildschirm) sichtbar gemacht werden.

Faksimile ist eine Bildübertragung, bei der Bildvorlagen zeilenweise abgetastet und nach "schwarz oder weiß" (digital), in Graustufen oder in Farbe (analog oder digital) übertragen werden.

Ähnlich funktioniert die Fernsehübertragung (ATV = amateur radio television), bei der mit Hilfe einer Optik Bilder aufgefangen und in Helligkeit und Farbe entsprechende Signale (Videosignal) umgewandelt und dann analog oder digital übertragen werden.

Unter Fernwirken kann man jene Signale zusammenfassen, die auf der Empfangsseite etwas auslösen sollen, z.B. das Ein- oder Ausschalten einer Relaisstation mit Hilfe eines Ruftones oder Trägersignals. Auch die Modellfernsteuerung fällt darunter, die aber im Amateurfunk nicht erlaubt ist. Erlaubt ist im Amateurfunk nur die Abwicklung von Funkverkehr in "offener Sprache". Dazu

gehört das Fernwirken nicht.

Im Anhang 13 zur DV-AFuG (Siehe Betriebstechnik Klasse 1+2, Lektion 13) finden Sie die offiziellen Bezeichnungen der Aussendungen von Sendern, die so genannten Sendearten. Insgesamt werden die Aussendungen mit einem neunstelligen Code gekennzeichnet, wobei die ersten vier Stellen für die bandbreite vorgesehen ist, die folgenden drei Stellen geben die eigentliche Sendearart an und dann können noch zwei weitere Stellen für Signaleinheiten folgen. In der Regel genügt es für die Sendearart die drei grundlegenden Kennzeichen anzugeben.

Für den Amateurfunk genügt es, folgende grundlegende Kennzeichen zu wissen. Der erste Buchstabe bedeutet die Modulationsart. Sie werden die Modulationsarten selbst noch kennen lernen.

- N unmodulierter Träger
- A Zweiseitenband-AM
- C Restseitenband
- F Frequenzmodulation
- J SSB
- P Pulsmodulation

Das zweite Kennzeichen ist für die Signalart, die den Hauptträger moduliert.

- 0 kein moduliertes Signal
- 1 ein Kanal mit quantisierter oder digitaler Information ohne moduliertem Hilfsträger
- 2 ein Kanal mit quantisierter oder digitaler Information mit moduliertem Hilfsträger
- 3 Ein Kanal mit analoger Information

Das dritte Kennzeichen ist für die übertragene Information.

- N keine Information
- A Morsetelegrafie CW
- B Funkfern schreiben RTTY
- C Faksimile FAX
- D Datenübertragung, Fernsteuerung
- E Sprechfunk
- F Fernsehen, Video

Anhand von Beispielen soll das Prinzip der Kennzeichnung einer Sendearart im Amateurfunk erläutert werden.

A1A beispielsweise steht für normales Morsen, wobei man den Träger einfach ein- und ausschaltet. Der Träger ändert also seine Amplitude (AM). Es ist eine digitale Information (ein, aus, lang, kurz) und es ist Morsetelegrafie.

Man kann Morsetelegrafie auch dadurch übertragen, dass man einen Ton ein- und ausschaltet und diesen Ton (Hilfsträger) dann in Frequenzmodulation überträgt. Das Kennzeichen ist F2A.

F3E ist entsprechend ein frequenzmoduliertes Signal. Es ist als Sprechfunk analog moduliert.

Das, was wir im Amateurfunk SSB nennen, ist J3E, also Sprechfunk (E) analog in Einseitenbandmodulation.

C3F steht für ATV. ATV ist ein analoges Fernseh-Verfahren mit Restseitenbandmodulation. J3F wäre ATV im Einseitenbandverfahren ohne Träger.

## Übung

Welche Sendearten sind in folgenden Abkürzungen von Übertragungsarten enthalten? Tragen Sie die im Amateurfunk verwendeten Bezeichnungen ein.

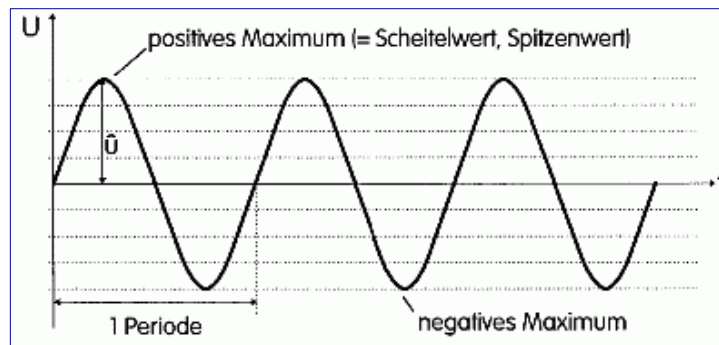
- A1A \_\_\_\_\_
- J3E   &nbsp;\_\_\_\_\_
- F3E   &nbsp;\_\_\_\_\_

C3F &amp;nbsp;nbsp;\_\_\_\_\_

## Die Modulationsarten ↑

Eine hochfrequente Trägerspannung im Amateurfunk muss sinusförmig sein. Zwei Kennwerte einer sinusförmigen Wechselspannung sind Amplitude (Spitzen- oder Scheitelwert), und Frequenz.

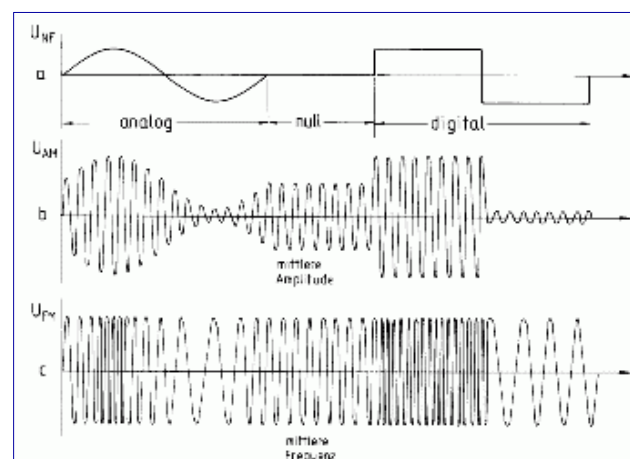
Die Amplitude ist die senkrechte, maximale Auslenkung des Signals, die Frequenz ist die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde.



**Bild 3: Kenngrößen einer Wechselspannung**

$$f = \frac{\text{Anzahl der Schwingungen}}{\text{Zeiteinheit}} \text{ in Hz}$$

Diese beiden Größen Amplitude und Frequenz lassen sich nun mit Hilfe der Modulation in Abhängigkeit von der Zeit beeinflussen. So entstehen Amplitudenmodulation und Frequenzmodulation. Es gibt außerdem noch die Phasenmodulation, die mit der Frequenzmodulation verwandt ist. Diese wird im Amateurfunk-Lehrgang Band 2, Lektion über "Digitale Übertragungstechnik" angesprochen.



**Bild 4: a) NF-Signal, b) AM-Signal, c) FM-Signal**

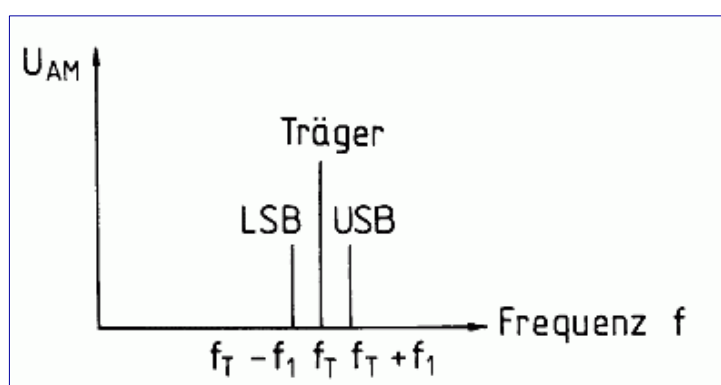
Bild 4 A stellt das vom Mikrofon kommende NF-Signal dar. Entsprechend dieser Spannung ändert sich bei AM die Amplitude des Trägersignals (Bild B). Einer positiven NF-Spannung entspricht eine große Amplitude der HF-Spannung und der negativen NF-Spannung entspricht eine geringere Amplitude der HF. NF-Spannung Null entspricht dem Mittelwert.

Bei Frequenzmodulation FM (Bild 4 C) bleibt die Amplitude immer gleich, nur die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit (die Frequenz) ändert sich. Und zwar entspricht hier eine positive NF-Spannung einer hohen Frequenz, eine negative NF-Spannung einer niedrigen Frequenz und keine NF-Spannung der mittleren Frequenz, der Trägerfrequenz.

Bei analoger Signalübertragung folgt die modulierte Spannung genau der Kurvenform des NF-Signals. Es gibt jeden Zwischenwert zwischen Null und dem Maximalwert. Bei digitaler Signalübertragung gibt es nur zwei Werte, z.B. groß - klein, hoch - niedrig (high - low), ein - aus, 1 - 0 und so weiter. Dementsprechend ist bei digitaler Informationsübertragung bei AM die Amplitude groß oder klein (eventuell null) oder bei FM die Frequenz hoch oder niedrig. Zwischenwerte gibt es nicht.

## Amplitudenmodulation ↑

Amplitudenmodulation erzeugt man dadurch, dass man das Niederfrequenzsignal (NF) mit dem Trägersignal (HF) in einer Modulationsstufe mischt. Bei jeder Mischung entstehen neue Frequenzen. Wenn ein Sender nicht übersteuert wird, entstehen als zusätzliche Frequenzen die Summen und die Differenzen aus Träger- und Signalfrequenz. Zeichnet man die Frequenzen in ein Diagramm, nennt man dieses Diagramm "Frequenzspektrum". Man nennt diese neuen Frequenzen Seitenfrequenzen oder Seitenbänder. Das untere Seitenband (lower side band) wird mit LSB bezeichnet und das obere (upper side band) mit USB.



**Bild 5: Spektrum eines AM-Signals, das mit einer einzelnen Frequenz moduliert wurde**

### Aufgabe

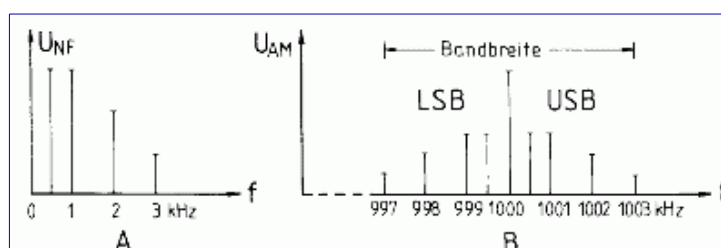
Berechnen Sie die untere und die obere Seitenfrequenz, wenn ein Mittelwellen-AM-Sender von 980 kHz mit einer Frequenz von 3 kHz moduliert wird.

Lösung: Untere Seitenfrequenz 977 kHz, obere Seitenfrequenz 983 kHz

Bei der Übertragung von Sprache besteht das NF-Signal nicht nur aus einer einzigen Frequenz, sondern aus einem Frequenzgemisch.

### Beispiel

Ein NF-Signal besteht aus den Frequenzen 0,5 kHz, 1 kHz, 2 kHz und 3 kHz mit unterschiedlichen Amplituden (Bild A). Wenn der Träger eine Frequenz hat von 1000 kHz, ergibt sich ein Frequenzspektrum, wie es in Bild 6 dargestellt ist. Beachten Sie: Die Amplituden der Seitenfrequenzen entsprechen im Verhältnis denen des NF-Signals, 1000,5 kHz und 1001 kHz sind beispielsweise höher als 1002 und 1003 kHz.



**Bild 6: A: NF-Frequenzspektrum, B: Spektrum der AM**

Diese Art der Amplitudenmodulation nennt man Zweiseitenbandmodulation mit Träger. Wie Sie noch

kennen lernen werden, gibt es auch Einseitenbandmodulation und Amplitudenmodulation mit Trägerunterdrückung.

## Bandbreite bei AM ↑

Die Bandbreite ist der Unterschied von der niedrigsten bis zur höchsten vorkommenden Frequenz. Wie aus Bild 6 zu erkennen ist, geht die Bandbreite von 997 bis 1003 kHz, beträgt also 6 kHz. Man kann die Bandbreite für AM auch mit folgender Formel ausrechnen:

$$b_{AM} = 2 \cdot f_{NFmax}$$

Dies bedeutet: Die Bandbreite bei Zweiseitenband-AM ist doppelt so groß wie die höchste vorkommende NF-Frequenz.

Sprechfunk in AM wird postalisch mit A3E abgekürzt.

Da die Information, die man übertragen möchte, in jedem Seitenband vorhanden ist, könnte man 5/6 der Gesamtleistung einsparen oder mit dem gleichen Sender eine sechsmal höhere Sendeleistung erreichen, wenn man den Träger und ein Seitenband unterdrücken würde. Dies führt zu der Modulationsart Einseitenbandmodulation mit Trägerunterdrückung (SSB), die im Amateurfunk verwendet wird. Dies ist übrigens eine Entwicklung der Funkamateure, die erst später auch von kommerziellen Nachrichtendiensten übernommen wurde.

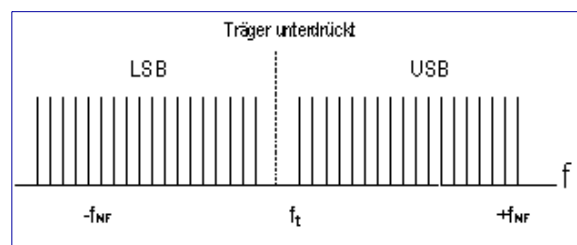
In meinem Buch Amateurfunk-Lehrgang Teil 2 können Sie nachlesen, wie man den Träger unterdrücken kann und damit 4/6 (= 2/3) der Leistung einspart. Diese Modulation heißt Doppelseitenband-Modulation mit Trägerunterdrückung (DSB). Danach wird dort erläutert, wie man ein Seitenband unterdrücken kann und dann nicht nur ein weiteres 1/6 der Leistung spart, sondern vor allem die Bandbreite halbiert.

## Die Trägerunterdrückung ↑

Wieso kann man denn den Träger unterdrücken, wenn man diesen doch extra erzeugt, um ein Hochfrequenzsignal zu haben, das von einer Antenne abgestrahlt werden kann?

Moduliert man einen Träger von 3700 kHz (80-m-Band im Amateurfunk) mit einer Frequenz von 1 kHz, so erhält man außer der Trägerfrequenz noch die Seitenfrequenzen 3699 kHz und 3701 kHz. Das bedeutet: Die Seitenfrequenzen liegen bereits im Hochfrequenzbereich. Auch wenn man nun den Träger unterdrückt, kann eine Frequenz von 3699 kHz (unteres Seitenband LSB) oder 3701 kHz (oberes Seitenband USB) von einer Antenne abgestrahlt werden.

Die durch Trägerunterdrückung entstandene Modulation nennt man Doppelseitenband-Modulation (mit Trägerunterdrückung) DSB. Das DSB-Signal im Frequenzspektrum sieht folgendermaßen aus.



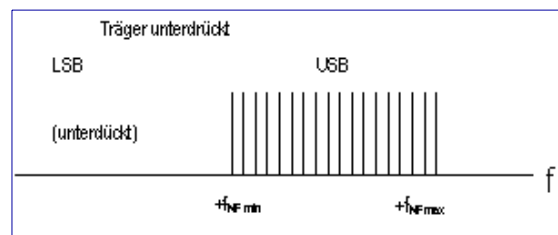
**Bild 7: Spektrum eines DSB-Signals**

Es existieren weiterhin beide Seitenbänder, nur der sehr energiereiche Träger ist unterdrückt worden (gestrichelt). Damit erhält man folgenden Vorteil. Wenn gerade nicht gesprochen (moduliert) wird, ist kein Träger vorhanden, also auch keine Leistung notwendig. Spricht man leise, benötigt man wenig Leistung. Man spart also viel Senderleistung, aber die Bandbreite des Senders ist gleich geblieben. Nachteil: Zur Demodulation muss der Träger auf der Empfangsseite wieder hinzugefügt werden. Die Demodulation wird hier nicht besprochen (siehe Amateurfunk-Lehrgang für die Klasse 1 und 2).

## Einseitenbandmodulation SSB ↑

Der Frequenzraum aber ist wertvoll. Deshalb ist es sehr wichtig, die Bandbreite der Aussendung möglichst gering zu halten. Da in beiden Seitenbändern die gleiche Information steckt, kann man das eine Seitenband auch noch unterdrücken. Diese Modulationsart heißt Einseitenbandmodulation SSB (single side band). Sie wird im Amateurfunk angewendet. Zweiseitenbandmodulation ist im Amateurfunk nicht zugelassen. In meinem Buch Amateurfunk-Lehrgang Teil 2 wird ausführlich erläutert, welche Methoden es gibt, ein Seitenband zu unterdrücken. Wenn man beispielsweise das untere Seitenband unterdrückt, erhält man folgendes Frequenzspektrum für USB.

SSB wird postalisch mit J3E gekennzeichnet.



**Bild 8: SSB-Modulation (Beispiel: USB)**

## Die Bandbreite bei SSB ↑

Die Bandbreite bei SSB ergibt sich aus der Differenz der höchsten und der niedrigsten NF-Frequenz.

$$b_{SSB} = f_{NFmax} - f_{NFmin}$$

Da  $f_{NFmin}$  relativ gering ist gegenüber  $f_{NFmax}$ , gilt

$$b_{SSB} \approx f_{NFmax}$$

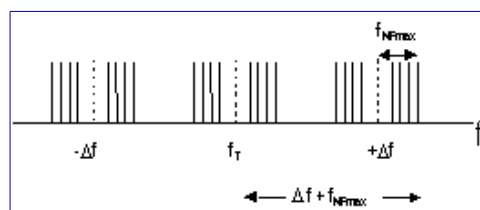
Also: Einseitenbandmodulation (SSB oder J3E) benötigt gegenüber Zweiseitenbandmodulation (AM oder A3E) etwas weniger als die Hälfte der Bandbreite (siehe Prüfungsfrage TE500).

## Die Frequenzmodulation ↑

Im VHF- und im UHF-Bereich des Amateurfunks werden für den Mobilbetrieb, für den lokalen Funkverkehr sowie bei Packet-Radio die Frequenzmodulation (F3E) angewendet.

Weil die Amplitude sich nicht ändert (siehe Bild 1), sondern die Information nur in der Frequenzänderung steckt, kann auf der Empfängerseite eine Amplitudenbegrenzung durchgeführt werden. Dadurch werden Impulsstörungen (Zündfunken von Fahrzeugen oder elektrostatische Entladungen bei Gewitter), die sich auf ein Funksignal auswirken und die Amplitude verändern, bei der Wiedergabe stark unterdrückt.

Außerdem ist die NF-Lautstärke nicht von der Signalstärke abhängig, was besonders bei den schwankenden Feldstärken bei Mobilbetrieb von Vorteil ist.



**Bild 9: F3E: Der Hub ist von der NF-Lautstärke abhängig**

Wird ein tiefer Ton (niedrige NF) übertragen, ändert sich die Frequenz des Trägers nur langsam, bei

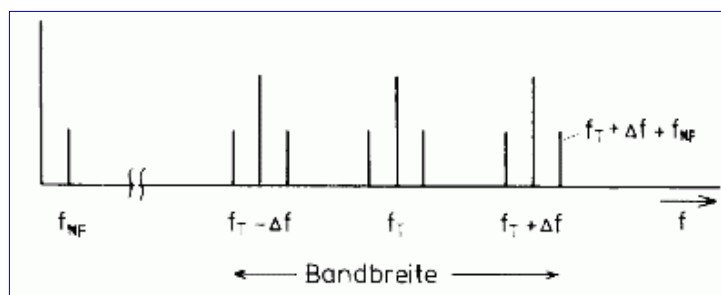
einem hohen Ton sehr schnell. Die Häufigkeit der Frequenzänderungen entspricht der übertragenen Tonhöhe.

Wird ein leiser Ton übertragen (geringe NF-Amplitude), ändert sich die HF-Frequenz nur geringfügig. Ein lauter Ton (große NF-Amplitude) bewirkt dagegen eine starke Frequenzänderung.

Man bezeichnet bei Frequenzmodulation den größten Frequenzabstand von der Trägermittenfrequenz mit Frequenzhub  $\Delta f$  ( $\Delta = \text{delta}$ ). Der Frequenzhub entspricht der Amplitude des NF-Signals, also der NF-Lautstärke. Im Amateurfunk wird als höchster Frequenzhub 3 kHz verwendet. Im UKW-Rundfunk dagegen verwendet man einen Frequenzhub von 75 kHz. Siehe Prüfungsfrage TE502!

## Die Bandbreite bei FM ↑

Bei jeder Modulation - auch bei FM - erscheinen neben den eigentlichen Trägerfrequenzen und den durch den Hub bedingten Frequenzänderungen noch die Seitenfrequenzen aus Träger plus NF und Träger minus NF.



**Bild 10: Vereinfachtes Frequenzspektrum für FM**

Wenn man, wie im Amateurfunk üblich, einen relativ geringen Hub verwendet, der nicht größer ist, als die höchste vorkommende Niederfrequenz, kann man die Bandbreite folgendermaßen berechnen.

$$b_{FM} = 2 \cdot (\Delta f + f_{NFmax})$$

### Beispiel

Wie groß ist nach obiger Formel die Bandbreite eines FM-Amateurfunksenders? Im Amateurfunk wird als Hub 3 kHz verwendet und auch die höchste Niederfrequenz soll 3 kHz nicht überschreiten.

**Lösung:**  $b_{FM} = 2 \cdot (3 \text{ kHz} + 3 \text{ kHz}) = 12 \text{ kHz}$

Amateurfunkstationen, bei denen eine zu hohe NF-Lautstärke am Modulator eingestellt ist oder die einen höheren Frequenzbereich als bis 3 kHz übertragen, haben eine größere Bandbreite. Dies äußert sich häufig in Verzerrungen auf der Empfängerseite oder in Störungen in Nachbarkanal-Frequenzbereichen oder durch eine gestörte Übertragung bei Packet-Radio.

Da die Information nicht in der Amplitude steckt, sondern in der Frequenzänderung, können sich Störungen bei FM wenig auswirken, da sich die Frequenz bei einer Störung nicht verändert, sondern nur die Amplitude. Dies ist der Hauptvorteil von FM gegenüber AM oder SSB (siehe Prüfungsfrage TE501!).

## Modulation mit Hilfsträger ↑

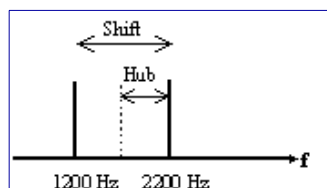
Bei digitaler Nachrichtenübertragung (zum Beispiel Packet-Radio) werden die zu übertragenden Informationen 0 und 1 durch zwei Töne übertragen. Bei Packet-Radio wählt man als Modulationsart FM und überträgt zwei NF-Töne, nämlich 1200 Hertz und 2200 Hertz. Siehe Prüfungsfrage TE504! Dort werden diese Töne "NF-Zwischenträgerfrequenzen" genannt.

Um die Bandbreite zu berechnen, benötigt man den Hub. Der Hub ist der Frequenzabstand von der Mittenfrequenz. Die Mittenfrequenz zwischen 1200 Hz und 2200 Hz ist 1700 Hz. Von dieser Mitte



ergibt sich zu beiden Seiten ein Unterschied (Frequenzhub) von 500 Hz. Man könnte also sagen, dass man eine Hilfsträgerfrequenz von 1700 Hz verwendet und diese mit plus/minus 500 Hz moduliert. Man nennt dies Audio-Frequency-Shift-Keying (AFSK).

Den Abstand der beiden Tonfrequenzen nennt man auch Shift. Der Hub ist also die Hälfte der Shift.



**Bild 11: Der Zusammenhang zwischen Shift und Hub**

Die Töne werden mit einer Baudrate von 1200 Hz umgeschaltet. Dieses Umschalten entspricht einem Rechtecksignal von 600 Hz. Die höchste vorkommende Frequenz bei einem Rechtecksignal ist ein Vielfaches der Grundfrequenz, jedoch reicht für die Übertragung das doppelte der Rechteckfrequenz, also die Baudrate. Damit ist die Mindestbandbreite des AFSK-Signals

$$b_{\text{afsk}} = 2 \cdot (500 \text{ Hz} + 1200 \text{ kHz}) = 3400 \text{ Hz}$$

Also benötigt das NF-Signal, das nachher auf einen Hochfrequenzträger aufmoduliert wird, eine Bandbreite von gut 3 kHz, wie ein übliches Tonfrequenzsignal vom Mikrofon. Deshalb kann 1200-Baud-Packet-Radio mit jedem normalen FM-Funkgerät durchgeführt werden.

Dieses Signal wird nun wiederum in FM auf den eigentlichen Hochfrequenzträger aufmoduliert. Dadurch erhöht sich die Bandbreite dann auf zirka 25 kHz. Da man das Kanalraster im 2-m-Band auf 12,5 kHz halbiert hat, wird Packet-Radio in Deutschland nur noch im 70-cm-Band oder auf höheren Bändern gemacht. In anderen Ländern findet man noch Packet-Radio-Stationen und Digipeater auf dem 2-m-Band.

## FSK - frequency shift keying

Wenn man mit den beiden Signalen 0 und 1 einen FM-Sender direkt moduliert, nennt man diese Umtastung "frequency shift keying (FSK). Um bei Packet-Radio mit höheren Übertragungsgeschwindigkeiten als 1200 Baud arbeiten zu können, kann man nicht mehr mit dieser Doppelmodulation arbeiten. Der englische Funkamateurl G3RUH hat ein Verfahren entwickelt, 9600 Baud schnelles Packet-Radio auf einem 25 kHz breiten Kanal durchzuführen.

Es gibt dabei zwei Probleme:

- Das 9600-Baud-Signal gibt eine Rechteckfrequenz von 4800 Hertz, die der Modulator übertragen muss.
- Werden viele Einsen oder Nullen hintereinander übertragen, ergeben sich sehr niedrige Frequenzen bishin zu Gleichstrom.

Das zweite Problem hat G3RUH dadurch gelöst, dass er das Packet Signal "verwürfelt" (scrambelt). Bei längeren Ketten von Einsen oder Nullen werden diese abwechselnd invertiert. Dieses Scrambling muss natürlich auf der Empfängerseite wieder zurückgewandelt werden. Dennoch wird wegen des Rechtecksignals eine niedrige Übertragungsfrequenz von kleiner 20 Hertz benötigt. Siehe Prüfungsfrage **TG505!**

Das erste Problem mit der hohen Niederfrequenz von mindestens 4,8 kHz (für ein Rechtecksignal benötigt man immer noch etwas mehr - es werden 6 kHz gewünscht) beim NF-Verstärker kann man nur dadurch lösen, dass man nicht den normalen Mikrofoneingang des Funkgerätes benutzt, sondern einen direkten Zugang zum Modulator schafft. Auch im Empfänger muss ein entsprechender NF-Ausgang direkt am Demodulator geschaffen werden. Außerdem wird die volle Bandbreite von 25 kHz benötigt. Es müssen breite Filter vorhanden sein.

Ältere Transceiver oder 70-cm-Handfunkgeräte werden von den Funkamateuren für die Verwendung als Packet Radio Transceiver für 9K6 umgebaut. Umbauanleitungen findet man in den Packet Radio Mailboxen oder im Internet. Moderne Datentransceiver bieten umschaltbare Bandbreiten für

normalen FM-Sprechfunkverkehr oder Datenfunk.

---

## Prüfungsfragen

---

**TE500** Wie unterscheidet sich J3E von A3E in Bezug auf die benötigte Bandbreite?

- a) Die Sendart J3E beansprucht weniger als die halbe Bandbreite der Sendart A3E.
- b) Die Sendart J3E beansprucht etwas mehr als die halbe Bandbreite der Sendart A3E.
- c) Die Sendart J3E beansprucht etwa 1/4 Bandbreite der Sendart A3E.
- d) Die unterschiedlichen Sendarten lassen keinen Vergleich zu, da sie grundverschieden erzeugt werden.

**TE501** Welche nachfolgende Sendart hat die geringste Störanfälligkeit bei Funkanlagen in Kraftfahrzeugen?

- a) J3E
- b) C3F
- c) F3E
- d) A3E

**TE502** Wodurch wird bei Frequenzmodulation die Lautstärke-Information übertragen?

- a) Mit der Amplitude des HF-Signals.
- b) Geschwindigkeit der Trägersauslenkung.
- c) Durch die Anhebung in der Preemphasis.
- d) Größe der Trägersauslenkung von der Mittenfrequenz.

**TE503** Welche NF-Bandbreite beansprucht ein 1200-Baud-Packet-Radio-AFSK-Signal?

- a) ca. 3 kHz
- b) ca. 6,6 kHz
- c) 12,5 kHz
- d) 25 kHz

**TE504** Welche NF-Zwischenträgerfrequenzen werden in der Regel in Packet Radio bei 1200 Baud benutzt?

- a) 300 / 2700 Hz
- b) 500 / 1750 Hz
- c) 850 / 1200 kHz
- d) 1200 / 2200 Hz

**TG505** Welche Anforderungen muss ein FM-Funkgerät erfüllen, damit es für die Übertragung von Packet Radio mit 9600 Baud geeignet ist ?

- a) Es muss sende- und empfangsseitig den Frequenzbereich von 20 Hz bis 6 kHz möglichst linear übertragen können und die Zeit für die Sende-Empfangsumschaltung muss so kurz wie möglich sein z.B. < 10...100 ms.
- b) Es muss sende- und empfangsseitig den Frequenzbereich von 300 Hz bis 3,4 kHz möglichst linear übertragen können und die Zeit für die Sende-Empfangsumschaltung muss zwischen 100...300 ms liegen.
- c) Es muss über einen Anschluss für Mikrofon und Lautsprecher verfügen, an dem ein TNC oder Modem angeschlossen werden kann.
- d) Es muss den Frequenzbereich von 300 Hz bis 10 kHz linear übertragen können und ein TX-Delay von kleiner 1 ms haben.

---

## Prüfungsfragen-Test

---

Sie können sich selbst testen, indem Sie in folgender Tabelle auf die einzelnen Fragen klicken. Denken Sie aber an Ihre **Telefonkosten**, wenn Sie online sind!

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <a href="#">TE500</a> | <a href="#">TE501</a> | <a href="#">TE502</a> | <a href="#">TE503</a> | <a href="#">TE504</a> | <a href="#">TG505</a> |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|

Haben Sie alles richtig? Sehr gut! Nur einen Fehler? Gut!

---

\*) Dieser Online-Lehrgang wurde mit freundlicher Genehmigung des Autors aus der ersten Auflage (1999) seines Buches für das Internet konvertiert. Bei dieser Konvertierung haben die Zeichnungen etwas gelitten. Probleme gab es auch mit den Formeln. Im Originalbuch finden Sie natürlich alles in bester Qualität. Inzwischen gibt es bereits die dritte Auflage. Aber auch hier auf der Homepage wurden Fehler korrigiert. Sie können sich auch mit dieser ersten Auflage korrekt auf die Prüfung vorbereiten.

### "Amateurfunklehrgang für das Amateurfunkzeugnis Klasse 3"

Verlag für Technik und Handwerk, Baden-Baden  
3. Auflage 2002, 216 Seiten, 190 Abbildungen  
ISBN 3-88180-364-5 14,80 €

*Dieser Lehrgang basiert auf dem Prüfungsfragenkatalog der Regulierungsbehörde für Post und Telekommunikation (RegTP).*

*Alle darin vorkommenden Themen wie Grundlagen der Elektrotechnik, Elektronik sowie Sender- und Empfängertechnik, Antennentechnik und Messtechnik aus dem Gebiet "Technische Kenntnisse" werden ausführlich erläutert. Ebenfalls enthalten ist die Betriebstechnik für die Klasse 3. Die Erfahrung mit praktischen Lehrgängen wird genutzt, um den Prüfling in die Lage zu versetzen, jede Frage aus dem Fragenkatalog richtig zu beantworten. Dieses Buch ist auch sehr gut für das Selbststudium geeignet. Alle Prüfungsfragen mit Antworten sind enthalten.*

*Oder wenn Sie zu dem einen oder anderen Thema schon etwas mehr wissen wollen*

### "Amateurfunklehrgang für das Amateurfunkzeugnis Klasse 1 und 2 - TECHNIK"

Verlag für Technik und Handwerk, Baden-Baden  
1. Auflage 2003, 312 Seiten, 290 Abbildungen  
ISBN 3-88180-389-0 17,80 €



[Online bestellen](#)



[Ich habe eine Frage](#)

[Diese Seite ausdrucken](#)

Letztes Update: 16.3. 2004 (by DJ4UF AG Oza)