

Modulation und Betriebsarten

Amateurfunk Lizenzkurs DARC Ortsverband TU-Dresden
S07

Mario Rößler, DH5YM

26. Oktober 2015

Inhaltsverzeichnis

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Abkürzungen der Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

Modulation und
Betriebsarten

**Mario Rößler,
DH5YM**

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Abkürzungen der
Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

- ▶ ... ist das Aufprägen einer Information auf ein anderes Signal (das physikalisch übertragen werden kann)
- ▶ zum Beispiel das Aufmodulieren von Sprache auf ein hochfrequentes Trägersignal
- ▶ Information ist die (nicht vorhersagbare) Zustandsfolge einer physikalischen Größe
- ▶ Signale = Physikalische Größe zur Übertragung o. Speicherung von Informationen
- ▶ stetige Veränderung = analog / diskrete Veränderung = digital

- ▶ Basisband = Frequenzlage des zu übertragenden Signals
- ▶ Trägerfrequenz = Frequenzlage, auf die das Signal moduliert werden soll
- ▶ Modulation = Veränderung der Signalparameter eines Trägers in Abhängigkeit von der zu übertragenden Informationen
- ▶ Demodulation = Rückgewinnung der enthaltenen Information aus dem Trägersignal
- ▶ Niederfrequenz (NF) = 0..ca. 20kHz
- ▶ Hochfrequenz (HF) = größer 10kHz (engl. RF)

Blockschaltbild

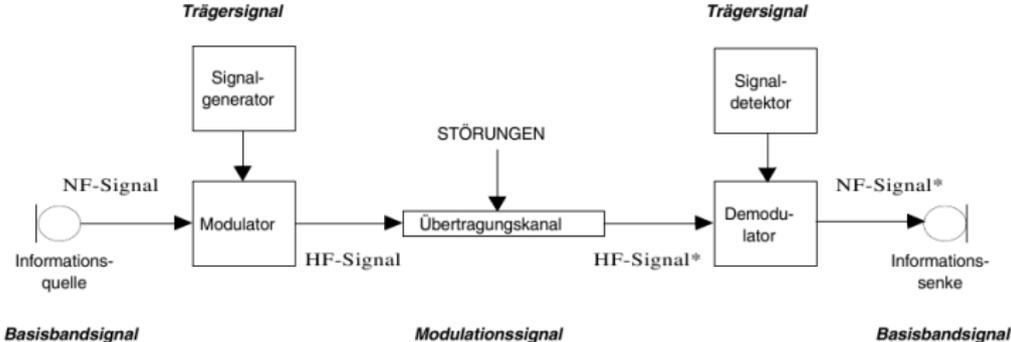


Abbildung : Prinzip der Nachrichtenübertragung

Sinusschwingung

$$s(t) = A * \cos(\omega t + \phi_0)$$

- ▶ A = Amplitude
- ▶ $\omega = 2\pi f$ = Frequenz
- ▶ ϕ_0 = Nullphasenwinkel

Sinusschwingung

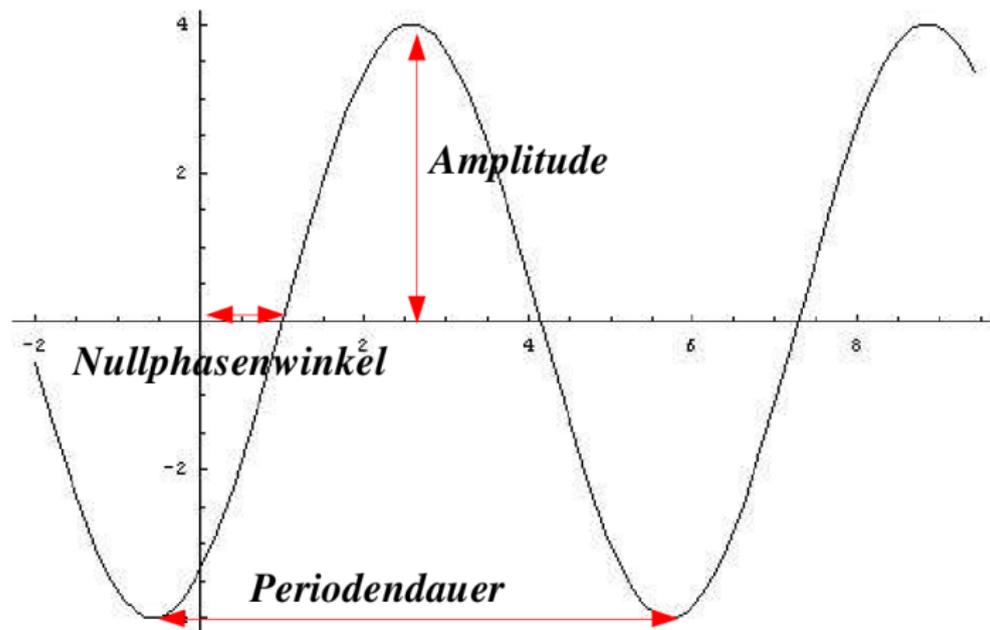


Abbildung : Sinusschwingung

Daraus ergeben sich die möglichen Modulationsarten:

Amplitudenmodulation (AM), Frequenzmodulation (FM),
Phasenmodulation (PM)

Alle anderen Modulationsarten lassen sich daraus ableiten.

FM und PM = Winkelmodulation

- ▶ Veränderung der Amplitude des Trägersignals entsprechend der Amplitude der Nutzinformation
- ▶ entspricht Addition
- ▶ $a_{Träger}(t) = A_{Träger} + s_{NF}(t)$

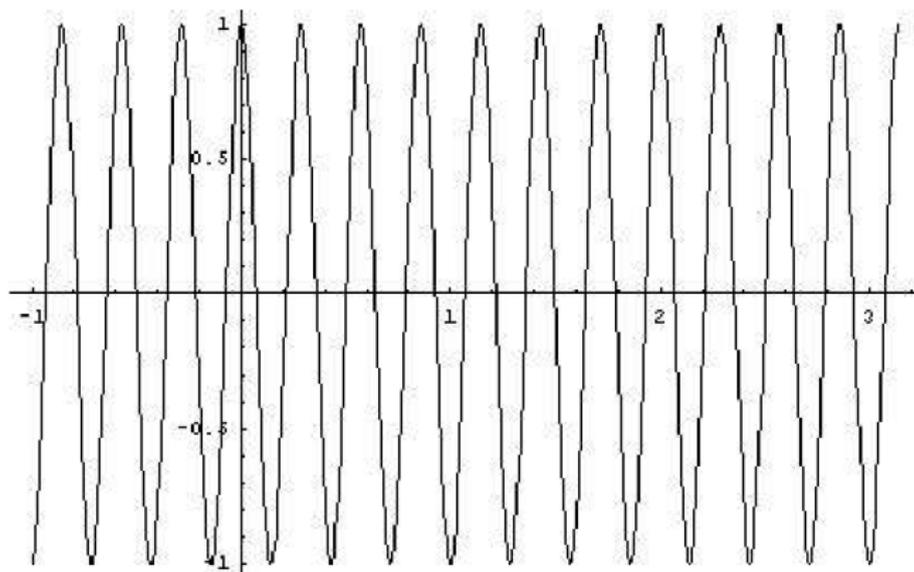


Abbildung : hochfrequentes Trägersignal

AM - Zeitbereich

Modulation und
Betriebsarten

Mario Rößler,
DH5YM

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulati

Frequenzmodulation

Abkürzungen der
Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

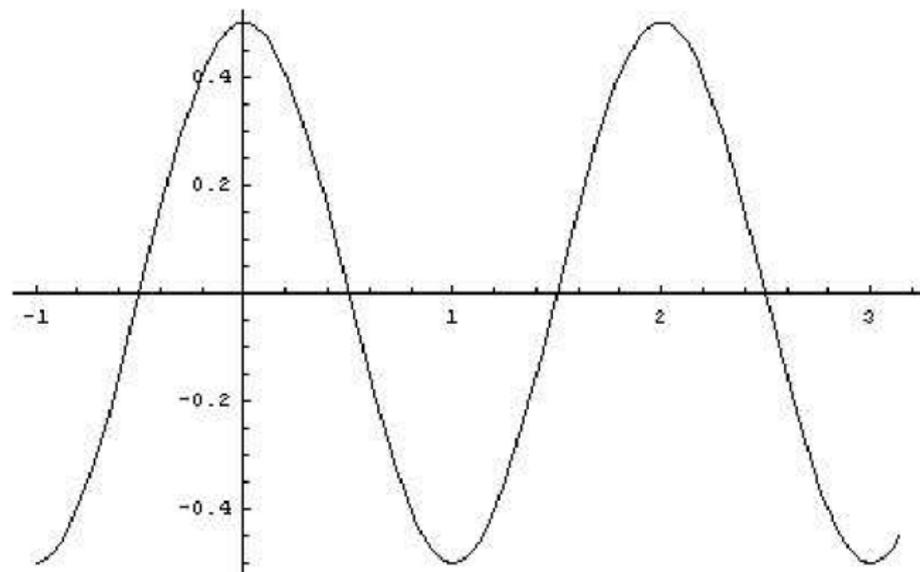


Abbildung : niederfrequente Information

AM - Zeitbereich

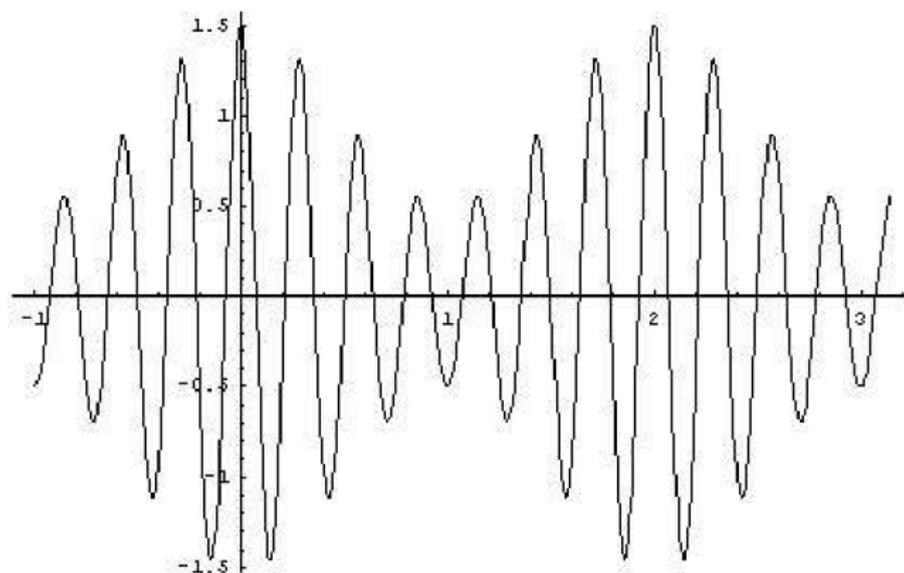


Abbildung : resultierendes amplitudenmoduliertes Signal

AM - Frequenzbereich

- ▶ der Frequenzbereich des Basisbandes erscheint oberhalb und unterhalb der Trägerfrequenz
- ▶ diese werden Seitenbänder genannt (upper sideband USB, lower sideband LSB)
- ▶ beide Seitenbänder enthalten die gleiche Information, der Träger enthält keine Information
- ▶ die Seitenbänder sind spiegelbildlich zueinander (Kehrlage, $f+f_{\text{mod}}$, $f-f_{\text{mod}}$)

AM - Frequenzbereich

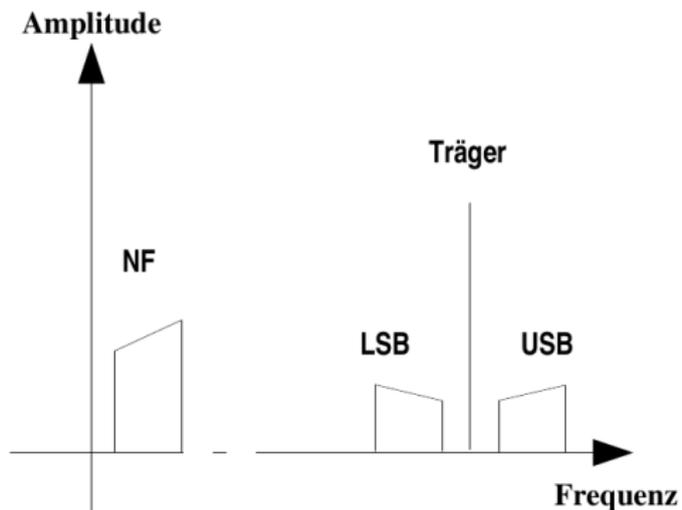


Abbildung : Spektrum eines amplitudenmodulierten Signals

AM - Modulationsgrad

- ▶ Verhältnis der Amplitude des NF Signals zur Amplitude des Trägersignals
- ▶ $m = A_{NF} / A_{Träger}$
- ▶ stets unter 100 Prozent da sonst Übermodulation = Phasensprung = verzerrtes Signal = Splatter

AM - $m=10\%$

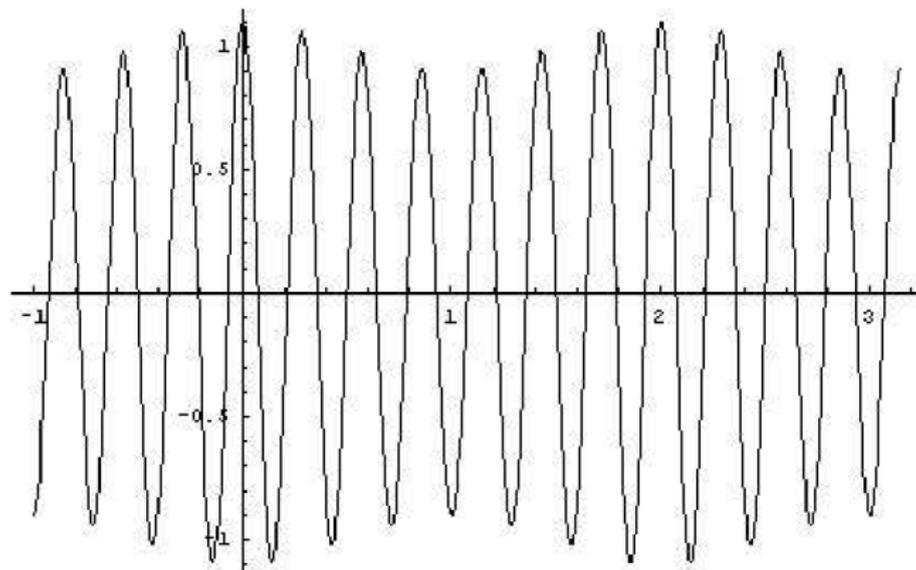


Abbildung : Modulationsgrad $m=10\%$

AM - $m=100\%$

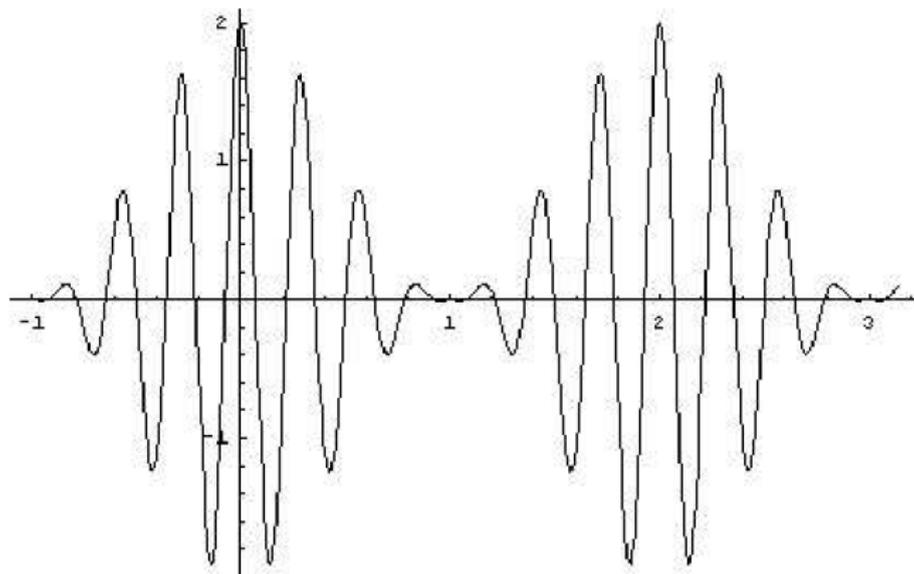


Abbildung : Modulationsgrad $m=100\%$

AM - $m=200\%$

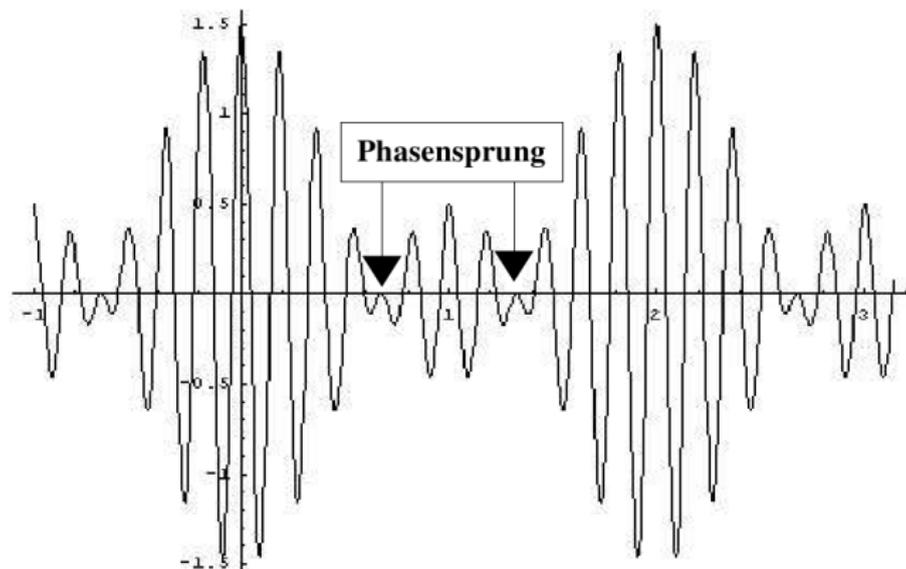


Abbildung : Modulationsgrad $m=200\%$

AM - Bestimmung des Modulationsgrad

Modulation und Betriebsarten

Mario Rößler,
DH5YM

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Abkürzungen der Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

- ▶ Hälfte der Amplitude einer Einhüllenden = A_{NF}
- ▶ Hälfte der Distanz zwischen den Mittelwerten der beiden Einhüllenden = A_{Tr}
- ▶ $m = A_{NF}/A_{Tr}$

- ▶ $b = 2 * f_{max}$
- ▶ wenig effizient, da in beiden Seitenbändern gleiche Information und im Träger keine
- ▶ meiste Leistung ist im Träger enthalten (2/3 bei $m=100\%$)
- ▶ Verbesserung: AM mit unterdrücktem Träger oder Einseitenbandmodulation mit unterdrücktem Träger (LSB/USB, $b = f_{max}$)
Balancemodulator + Seitenbandfilter zur Selektion des richtigen Seitenbandes oder Phasenmethode (I/Q Mischer)

- ▶ Veränderung der Trägerfrequenz mit der Amplitude der Informationen
- ▶ Pendeln um die Mittenfrequenz
- ▶ tiefer Ton = langsame Änderung, hoher Ton = schnelle Änderung
- ▶ lauter Ton = starke Änderung, leiser Ton = wenig Änderung (Frequenzhub)
- ▶ Vorteil: Störfest, da Amplitudenstörungen nicht hörbar beeinflussen

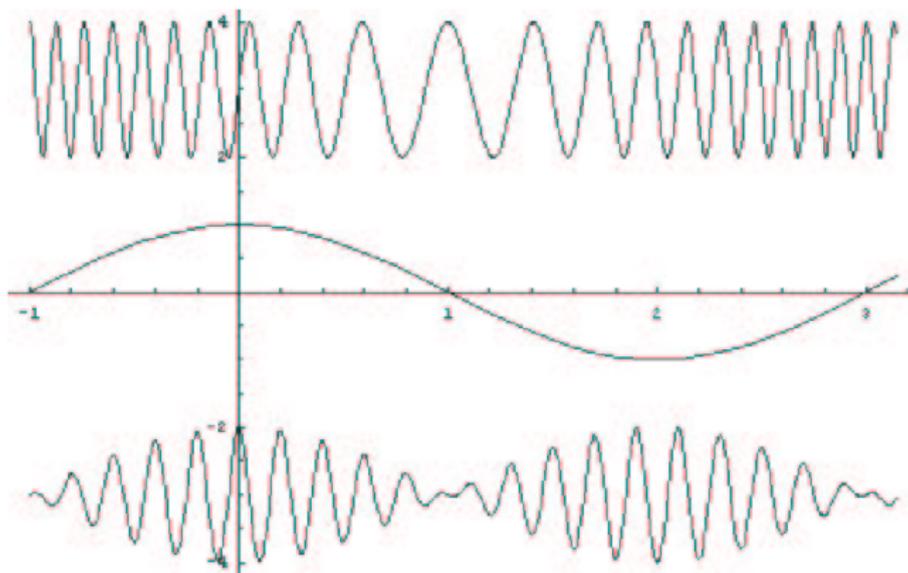


Abbildung : Vergleich FM und AM

- ▶ Verhältnis von Frequenzhub zur höchsten übertragbaren Niederfrequenz
- ▶ $\eta = \Delta f / f_{NF}$
- ▶ Δf = größte Abweichung von der Trägerfrequenz (Frequenzhub)
- ▶ f_{NF} = maximale übertragene Niederfrequenz

- ▶ Beispiel Amateurfunk Frequenzhub 5kHz,
 $f_{NFmax} = 3kHz, f_{NFmin} = 30Hz$
- ▶ $\eta_{max} = 5000Hz/30Hz = 167$
- ▶ $\eta_{min} = 5000Hz/3000Hz = 1.67$
- ▶ üblicherweise wird nur der minimale Modulationsindex angegeben, Abschätzung der Bandbreite möglich

- ▶ η kleiner gleich 2 Schmalband-FM (NBFM) Bandbreite abhängig von der höchsten NF, $b = 2 * f_{NFmax}$
- ▶ η größer 2 Breitband-FM (WBFM),
 $b = 2 * (\Delta f + f_{NFmax})$

- ▶ es entstehen im Prinzip unendlich viele Seitenbänder (symmetrisch)
- ▶ Begrenzung des Hub, um Störung von Nachbarkanälen zu vermeiden
- ▶ Bestimmung der genauen Bandbreite mittels Besselfunktion

FM - Besselfunktion

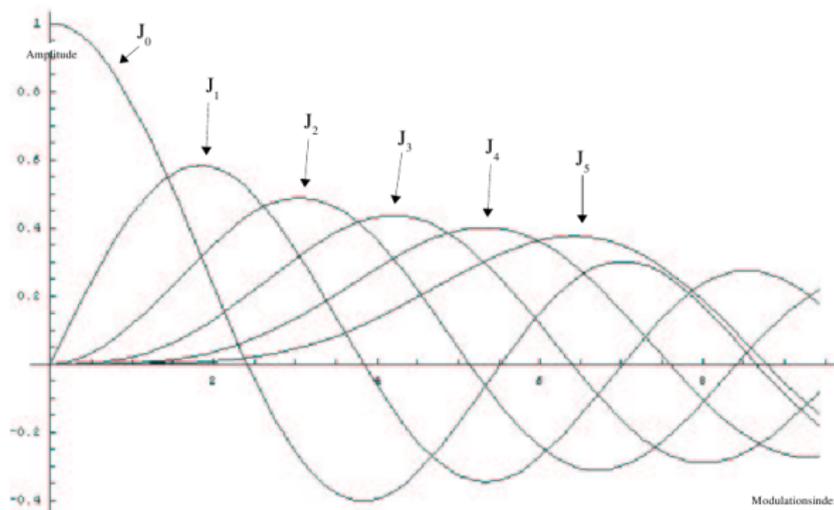


Abbildung : Besselfunktion 1. Art $J_{0.5}(x)$

- ▶ Art und Weise der Informationsübertragung bezeichnet man als Sendart
- ▶ Kennzeichnung festgelegt nach ITU (im Amateurfunk jedoch meist umgangssprachlich angegeben)
- ▶ ITU 9 Zeichen zur Festlegung, normal werden nur 3 im Amateurfunk verwendet.

Sendarten - ITU

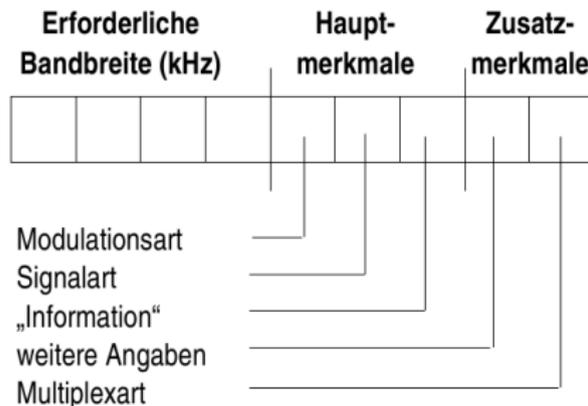


Abbildung : Sendartenkennzeichnung nach ITU

Buchst.	Modulationsart
N	unmodulierter Träger
A	Hauptträger mit Zweiseitenband-AM
H	Hauptträger mit Einseitenband-AM
R	Hauptträger mit Einseitenband-AM und vermindertem Träger
J	Hauptträger mit Einseitenband-AM und (vollständig) unterdrücktem Träger
B	Hauptträger mit <i>Independent-Sideband-Modulation</i>
C	Hauptträger mit Restseitenband-Modulation
F	Hauptträger mit FM
P	Aussendung von unmodulierten Pulsen
K	Aussendung von amplitudenmodulierten Pulsen
L	Aussendung von weitenmodulierten Pulsen
M	Aussendung von phasenmodulierten Pulsen
Q	Aussendung von Pulsen, wobei der Träger während der Impulsperiode winkelmoduliert ist
V	Aussendung von Pulsen, die sich aus einer Kombination der vorhergehenden Möglichkeiten oder auf eine andere Art ergeben
W	Hauptträger mit einer Kombination der obigen Verfahren
X	sonstige Fälle

Abbildung : Einteilung Modulationsarten nach ITU

Ziffer	Signalart
0	Kein modulierendes Signal
1	Ein einziger Kanal, der quantisierte oder digitale Information enthält (ohne Verwendung eines modulierenden Hilfsträgers)
2	Ein einziger Kanal, der quantisierte oder digitale Information enthält (unter Verwendung eines modulierenden Hilfsträgers)
3	Ein einziger Kanal, der analoge Information enthält
7	Zwei oder mehr Kanäle, die quantisierte oder digitale Information enthalten
8	Zwei oder mehr Kanäle, die analoge Information enthalten.
9	Kombination aus den vorhergehenden Fällen
X	sonstige Fälle

Abbildung : Einteilung Signalarten nach ITU

Buchst.	Information
N	Keine Information
A	Telegrafie – für Hörempfang
B	Telegrafie – für automatischen Empfang
C	Faksimile (Fax)
D	Datenübertragung, Fernsteuern, Fernmessen
E	Fernsprechen (inkl. Ton-Rundfunk)
F	Fernsehen (Video)
G	Kombination von vorstehenden Fällen
X	sonstige Fälle

Abbildung : Einteilung Information nach ITU

Sendarten - häufige Beispiele

- ▶ A1A - Telegrafie mit getastetem Träger - CW
- ▶ J3E - Einseitenbandmodulation mit unterdrücktem Träger - SSB (USB/LSB)
- ▶ F3E - Frequenzmodulation - FM
- ▶ J2B - Fernschreiben mit modulierendem Hilfsträger - RTTY (radio teletype), Pactor, ...
- ▶ A2A - Morsetelegrafie mit modulierendem Hilfsträger - CW
- ▶ C3F - Analoges Fernsehem mit Restseitenbandübertragung - ATV (Amateur Television)

- ▶ CW Telegrafie mit Morsezeichen
- ▶ SSB (USB/LSB) Einseitenbandmodulation
- ▶ FM Frequenzmodulation (im Normalfall Schmalband)
- ▶ AM Amplitudenmodulation (auf Kurzwelle nicht zugelassen, ungebräuchlich)

Betriebsarten - Bildübertragung

Modulation und Betriebsarten

Mario Rößler,
DH5YM

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Abkürzungen der Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

- ▶ ATV Amateur Television - Amateurfunkfernsehen (analog und digital, bewegte Bilder), wird auf Mikrowellenfrequenzen durchgeführt
- ▶ SSTV Slow Scan Television - Standbild Übertragung in Sprachkanal Bandbreite, alle Information im Bild, viele Sekunden bis Minuten pro Bild, zur Übertragung von Bildern auf KW, auch als digitale Variante
- ▶ FAX - Faximile Übertragung - wird im Prinzip nicht verwendet

Betriebsarten - Fernschreibverfahren

Modulation und Betriebsarten

Mario Rößler,
DH5YM

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Abkürzungen der Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

- ▶ RTTY Radio Teletype - Funkferschreiben, heutzutage meist mit PC und Soundkarte + entsprechende Software
- ▶ PSK31 - Funkferschreiben mit Phasenmodulation 31Baud, sehr schmalbandig gegenüber RTTY,PR,Pactor
- ▶ Hellschreiben - Bildgebendes Fernschreibverfahren auf KW
- ▶ THROB, AMTOR, PACTOR, diverse PSKxx, JT65, WSPR und viele mehr

Betriebsarten - Digitale Sprache

Modulation und Betriebsarten

Mario Rößler,
DH5YM

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Abkürzungen der
Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

- ▶ DRM (modifiziert für 3kHz Bandbreite) auf Kurzwelle (und andere)
- ▶ D-Star auf V/UHF, aber auch C4FM, APCO25 und DMR

- ▶ PR Packet Radio - Paketdatenübertragung (Datennetz mit AX25 Protokoll)
- ▶ APRS Amateur Position Reporting System (Positionsdatenübermittlung, basiert auf Packet Radio)
- ▶ Funkruf Pocsag basierter Versand von Textmeldungen an kleine Empfänger
- ▶ HAMNET IP basiertes Netzwerk auf Basis von 2.4/5GHz WLAN Hardware

Betriebsarten - Packet Radio 1/3

- ▶ Paketbasierte Datenübertragung mittels AX25 Protokoll, Netz aus automatisch arbeitenden Funkstellen (Digipeater)
- ▶ gebräuchliche Datenraten
1200Baud/9600Baud/19200Baud/76800Baud
(meistens 9600Baud)
- ▶ üblicherweise FSK (Frequency Shift Keying, also quasi FM direkt mit diskreten Frequenzen) Bandbreite = ca. 2.4xBaudrate
- ▶ zweites Verfahren AFSK (Audio Frequency Shift Keying - Modulation mittels Audiosignal als Hilfsmittel)
1200Baud (1k2) / 12kHz Bandbreite / 1200+2200Hz Töne

Betriebsarten - Packet Radio 2/3

Modulation und Betriebsarten

Mario Rößler,
DH5YM

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulation

Frequenzmodulation

Abkürzungen der Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

- ▶ Verwendung von TNC (Terminal Network Controller / Terminal Node Controller) mit Modem und Controllersteuerung für Aufbereitung der Datenfunk
- ▶ Monitoring zum beobachten aller auf dem Kanal gesendeten Nachrichten möglich
- ▶ Automatisches Routing auf den Linkstrecken Verbindungen zwischen Digipeatern (Automatisches Erreichen des Zielrufzeichens)

- ▶ Mailbox Systeme mit automatischer Weiterleitung/Verteilung von Nachrichten ans Ziel (Forwarding), kein eMail System !
- ▶ Zeitmultiplex (nacheinander) Zugriff auf die Frequenz, daher notwendig schnell zwischen Empfang und Senden umzuschalten (kurzes TX-Delay - Sendereinschaltverzögerung)
- ▶ Duplex (Senden und Empfang auf unterschiedlichen Frequenzen) aber auch Simplex Betrieb (Senden und Empfang auf einer Frequenz),
- ▶ Simplex mit getrennten Sende-/Empfangsfrequenzen wird Halbduplex genannt

- ▶ Amateurfunk Kurs OV Siebengebirge (G25),
Ausbilder-CD
- ▶ Link zu Lichtblicke von DL9HCG:
<http://dl9hcg.a36.de/lichtblick.html>
- ▶ Link für Folien und Unterlagen:
<http://dh5ym.hopto.org/Ausb/mod.zip>
- ▶ Link zum DARC Online Lehrgang :
<http://www.darc.de/de/referate/ajw/ausbildung/darc-online-lehrgang/>

Danke !

Modulation und
Betriebsarten

Mario Rößler,
DH5YM

Begriffsdefinitionen

Grundlagen

Amplitudenmodulati

Frequenzmodulation

Abkürzungen der
Sendarten

Betriebsarten

Packet Radio

Quellen/Links

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

Fragen ?