

ITWissen



Das große Online-Lexikon  
für Informationstechnologie

**MODULATION**

**UMTASTUNG**

**KLAUS LIPINSKI (Hrsg.)**

**ADPCM**, *adaptive differential delta pulse code modulation*

**ADM**, *adaptive delta modulation*

**ADPCM**, *adaptive delta pulse code modulation*

**AIM**, *analog intensity modulation*

**AM**, *amplitude modulation*

**AM-PSK**, *amplitude modulation phase shift keying*

**APSK**, *asymmetric phase shift keying*

**ASK**, *amplitude shift keying*

**BOC**, *binary offset carrier modulation*

**BPSK**, *binary phase shift keying*

**COFDM**, *coded orthogonal frequency division multiplex*

**COPSK**, *coded octal phase shift keying*

**CPFSK**, *continuous phase frequency shift keying*

**CSS**, *chirp spread spectrum*

**CVSD**, *continuous variable slope delta modulation*

**DAM-QAM**, *dynamic adaptive multi-carrier quadrature amplitude modulation*

**Demodulation**

**DM**, *delta modulation*

**DPCM**, *differential pulse code modulation*

**DPSK**, *differential phase shift keying*

**DQPSK**, *differential quaternary phase shift keying*

**DSB-RC**, *double side band reduced carrier*

**DSB-SC**, *double side band suppressed carrier*

**Einseitenband, ESB**

**FFSK**, *fast frequency shift keying*

**FFT**, *fast fourier transformation*

**FHSS**, *frequency hopping spread spectrum*

**FM**, *frequency modulation*

**FMCW**, *frequency modulated continuous wave*

**Fourier-Transformation**

**FSK**, *frequency shift keying*

**GFSK**, *gaussian frequency shift keying*

**GMSK**, *gaussian minimum shift keying*

**IFFT**, *inverse fast fourier transformation*

**IFT**, *inverse Fourier transformation*

**MB-OFDM**, *multi-band orthogonal frequency division multiplexing*

**MCM**, *multicarrier modulation*

**MDMA**, *multi dimensional multiple access*

**MDPSK**, *modified differential phase-shift keying*

**MFSK**, *multiple frequency shift keying*

**Modulation**

**Modulationscode**

**Modulationsgrad, m**

**Modulationsverfahren**

**Modulator**

**MSK**, *minimum shift keying*

**OFDM**, *orthogonal frequency division multiplex*

**OOK**, *on off keying*

**OQPSK**, *offset quadrature phase shift keying*

**PAM**, *pulse amplitude modulation*

**PCM**, *pulse code modulation*

**PDM**, *pulse duration modulation*

**PDM**, *phase difference modulation*

**PFM**, *pulse frequency modulation*

**PM**, *phase modulation*

**PSK**, *phase shift keying*

**PPM**, *pulse phase modulation*

**Pulsmodulation**

**PWM**, *pulse width modulation*

**QAM**, *quadrature amplitude modulation*

**QPSK**, *quadrature phase shift keying*

**Restseitenband, RSB**

**Zweiseitenband, ZSB**

Impressum:

Herausgeber: Klaus Lipinski

Modulation, Umtastung

Copyright 2009

DATAKOM-Buchverlag GmbH

84378 Dietersburg

Alle Rechte vorbehalten.

Keine Haftung für die angegebenen Informationen.

Produziert von Media-Schmid

[www.media-schmid.de](http://www.media-schmid.de)

## MODULATION UMTASTUNG

**ADDPCM**, *adaptive differential delta pulse code modulation*

Adaptive Differential Delta *Pulse Code Modulation* (ADDPCM) ist eine Delta-Pulsmodulation für die Audiokompression. Bei diesem *Modulationsverfahren* werden die Unterschiede zwischen vorhergehenden Abtastungen mit der aktuellen Abtastung gespeichert.

Das Verfahren soll die Datenmenge bei der Speicherung von Audio reduzieren.

**ADM**, *adaptive delta modulation (Adaptive Deltamodulation)*

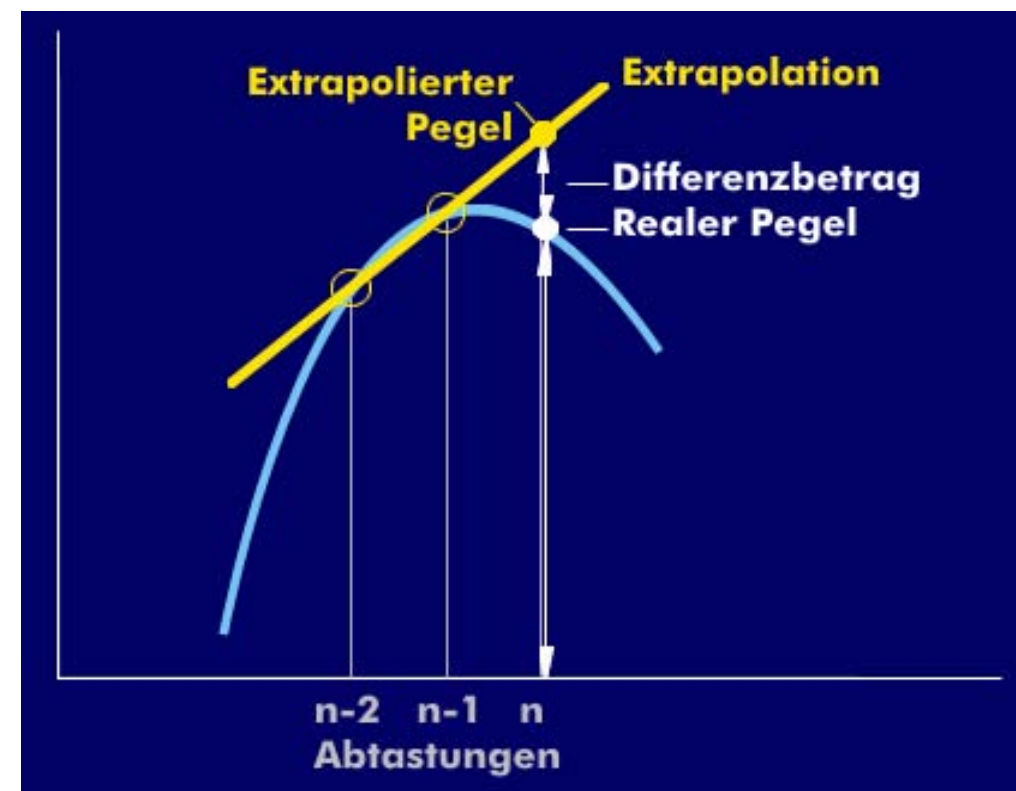
Die adaptive *Deltamodulation* (ADM) ist ein digitales *Modulationsverfahren* nach dem Komparator-Prinzip. Die Differenz zwischen dem Analogsignal und einem geschätzten Vergleichssignal wird dem Komparator zugeführt. Der Vorteil liegt in der höheren Dynamik, die dieses Verfahren bei gleicher Digitalauflösung gegenüber bekannten AD-Wandlern bietet. Im Gegensatz zur Deltamodulation passt sich bei dem ADM-Verfahren die Stufenhöhe adaptiv dem Signalverlauf an.

**ADPCM**, *adaptive delta pulse code modulation (Adaptive Delta-Pulsmodulation)*

Das ADPCM-Verfahren (*Adaptive Delta Pulse Code Modulation*) ist eine Pulsmodulation mit einem Vorhersagemechanismus. Diese Prädiktion versucht die mögliche Signalförm zu ermitteln und bildet daraus die Differenz mit dem tatsächlichen Signal. Da die Differenz zwischen diesen beiden Signalen geringer ist als das tatsächliche Signal, kann diese Differenz mit einer kleineren Bitzahl codiert werden. Das vorhergesagte Signal wird kontinuierlich an das tatsächlich vorhandene Signal angepasst. Die Anpassung des vorhergesagten Signals an das tatsächliche Signal erfolgt beim Eingangssignal, wodurch eine bessere Vorhersage als bei der *Differential Pulse Code Modulation* (DPCM) möglich ist.

Das verlustbehaftete Kompression ADPCM reduziert das Datenaufkommen von Sprache und Musik von 64 kbit/s um mindestens 50% auf 32 kbit/s.

Das ADPCM-Verfahren wurde 1986 als ITU-Standard G.721 spezifiziert und benutzt eine Extrapolation



zwischen zwei benachbarten Abtastwerten mit einer gewissen Unsicherheit in der Vorhersage des folgenden Abtastwertes. Dem Verfahren nach wird bei der ADPCM-Codierung zunächst das Eingangssignal linear quantisiert. Das resultierende Signal wird gewichtet und dient als Offset für die Vorhersage des Signalverlaufs. Codiert wird die Differenz zwischen dem tatsächlichen Abtastwert und einem extrapolierten Signalpegel, die auf den momentanen Unterschied in beiden Pegeln zurückzuführen ist. Der extrapolierte Pegel wird durch die beiden vorherigen Abtastwerte ermittelt. Der implementierte Algorithmus ist abhängig von den Eingangspegeln, der Auflösung und den Frequenzanforderungen. Ein in G.721 eingesetzter Algorithmus ist beispielsweise der *IMA*-Algorithmus von der

*Prinzip der adaptiven  
Deltamodulation, ADPCM*

Interactive Multimedia Association.

Details zu ADPCM legte die ITU-T in den Empfehlungen G.726 und G.727 für Sprach-Codecs fest, in der Datenraten von 16, 24, 32 und 40 kbit/s vorgesehen sind.

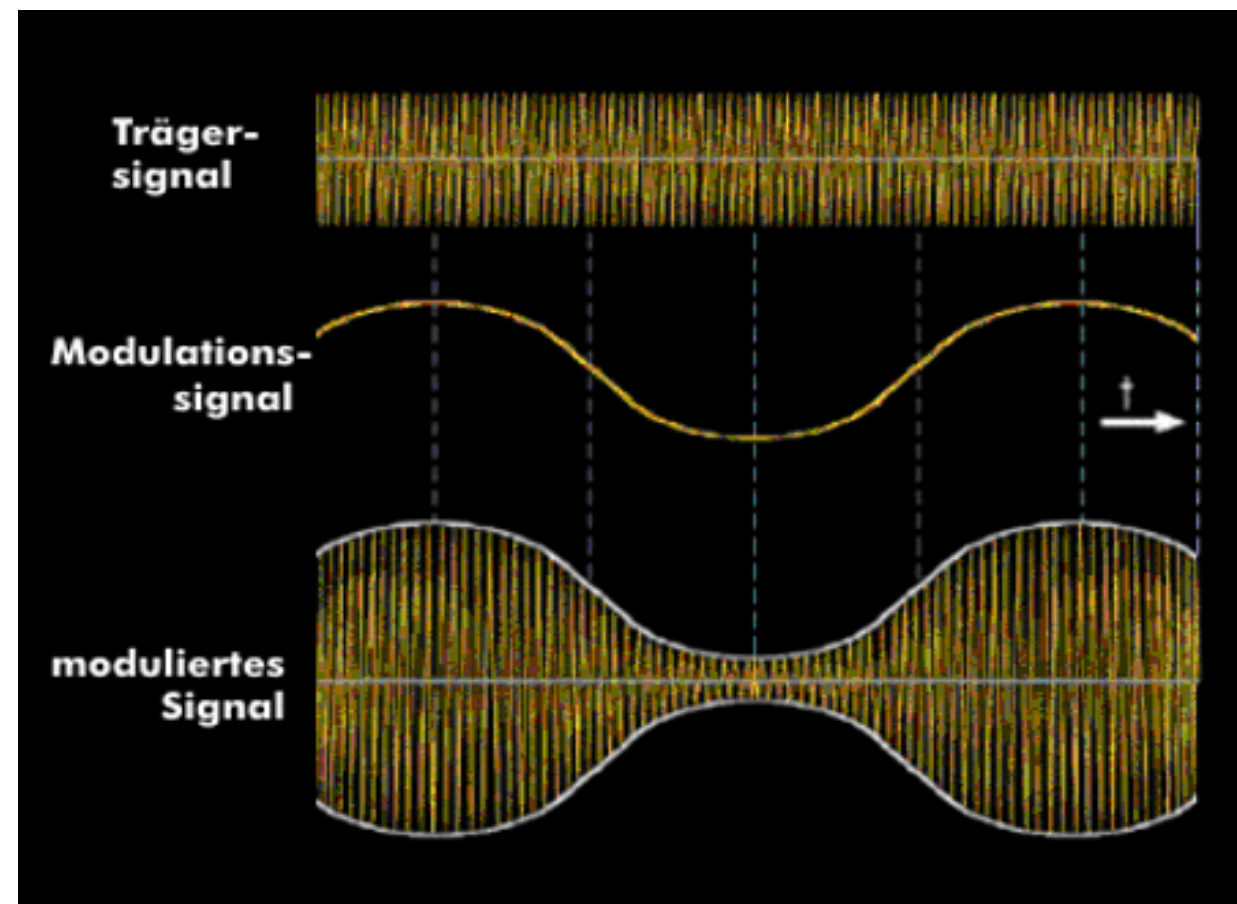
Nach dem neuen ITU-Standard G.722 für breitbandige Sprachübertragung, bei dem ein Frequenzbereich von 50 Hz bis 7 kHz zugrunde gelegt wird - dieser würde bei normaler PCM-Technik 128 kbit/s zur Folge haben -, wird eine Kompression auf 64 kbit/s erzielt. Dieser Standard wird beispielsweise bei ISDN-Bildtelefonen angewendet.

Es gibt weitere ADPCM-Varianten, die vom Verfahren her gleich sind, allerdings nur mit 3 oder sogar nur mit 2 Bit zur Digitalisierung arbeiten.

**AIM**, *analog intensity modulation*

Analog Intensity Modulation (AIM) ist eine Modulationsart für die optische Übertragungstechnik. Bei AIM wird die Intensität der Lichtquelle mit dem zu übertragenden Signal verändert.

**AM**, *amplitude modulation*  
(Amplitudenmodulation)



Die Amplitudenmodulation (AM) ist ein *Modulationsverfahren*, bei der das Informationssignal auf die Amplitude einer *Trägerfrequenz* aufmoduliert wird. Die Amplitude der Trägerfrequenz ändert sich also in Abhängigkeit vom Pegel und der Frequenz des Modulationssignals. Frequenzmäßig gesehen bilden sich bei der Amplitudenmodulation neben der Trägerschwingung die positiven und negativen Seitenbänder aus. Wird nur eine feste Modulationsfrequenz benutzt, setzt sich das zu übertragende Frequenzspektrum aus den folgenden drei Frequenzen zusammen:

Trägerfrequenz, Träger minus Modulationsfrequenz und Träger plus Modulationsfrequenz. Die vom Trägersignal benötigte Bandbreite ist doppelt so hoch wie die Bandbreite des Modulationssignals. Hat das Modulationssignal beispielsweise eine Bandbreite von 1 MHz, so benötigt das Trägersignal eine Bandbreite von 2 MHz. Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) ist bei der Amplitudenmodulation abhängig von der Amplitude des modulierten Trägersignals.

*Amplitudenmodulation*

# MODULATION UMTASTUNG

Die Amplitudenmodulation wird in der Datenübertragungstechnik bei Modems in Form der *Amplitudenumtastung* verwendet.

**AM-PSK**, *amplitude modulation phase shift keying*

*Amplitude Modulation Phase Shift Keying (AM-PSK)* ist eine Kombination von Amplitudenmodulation und diskreter *Phasenmodulation*. Mit diesem *Modulationsverfahren* können mehrere binärer codierte Informationen in einem Signalelement der Trägerschwingung moduliert werden. Das Verfahren kann auch als *Quadraturamplitudenmodulation* mit Phasenumtastung (*QAMPSK*) ausgeführt sein.

**APSK**, *asymmetric phase shift keying*

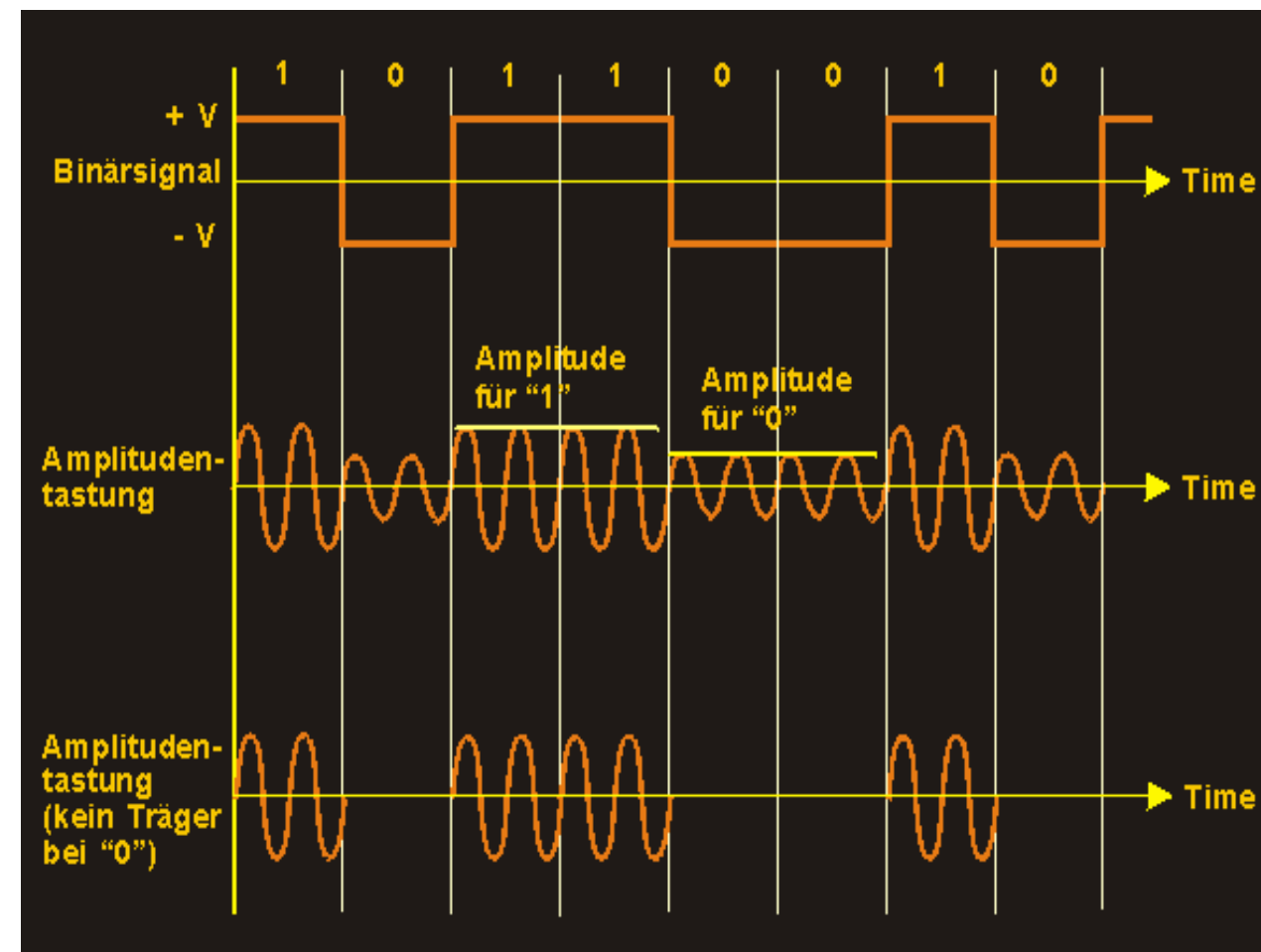
Die *APSK-Modulation (Asymmetric Phase Shift Keying)* gehört zu den mehrwertigen *Phasenumtastungen*, bei denen die Bitgruppen durch verschiedene Phasenwinkel und unterschiedliche Amplituden dargestellt werden. APSK ist vergleichbar der *Quadraturamplitudenmodulation* und *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*.

Bei der APSK-Modulation werden die Bitgruppen nicht mit der gleichen Anzahl auf zwei Pegel verteilt, sondern die mit höherem Pegel modulierten Bitgruppen sind zahlenmäßig größer. Werden beispielsweise Quadbits, also Bitgruppen aus vier Bits, in APSK moduliert, dann werden die 16 Bitwerte mit zwei Pegeln moduliert, allerdings werden zwölf der sechzehn Bitgruppen mit der höheren, die verbleibenden vier Bitgruppen mit der kleineren Amplitude moduliert.

Das hat den Vorteil, dass die Bitgruppen mit den kleineren Pegeln nicht so eng bei einander liegen. Im Phasenstern erkennt man zwei Ringe. Der innere mit der niedrigeren Amplitude hat vier Quadbits, der äußere zwölf. Die APSK-Umtastung wird u.a. in DVB-S2 eingesetzt.

Bei der Amplitudenumtastung (ASK) handelt es sich um eine *Amplitudenmodulation*, die bei der Übertragung über Modems eingesetzt wird. Das modulierende Signal ist bei der Amplitudenumtastung digital, das Trägersignal sinusförmig. Die *Trägerfrequenz* bleibt bei diesem Verfahren konstant, die Trägeramplitude ändert sich. Durch die *Modulation* des

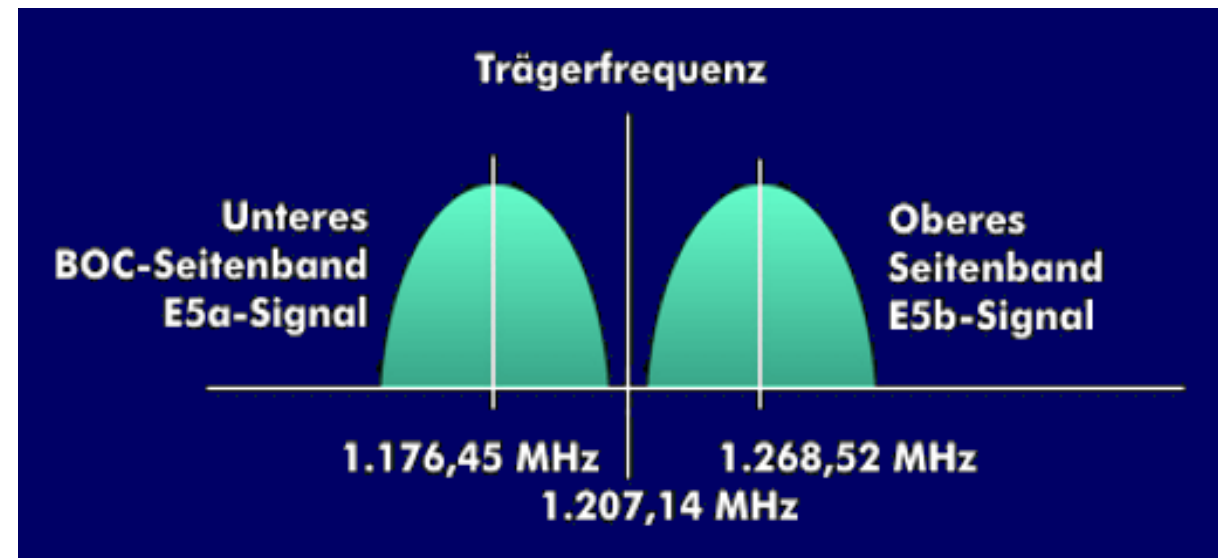
**ASK**, *amplitude shift keying (Amplitudenumtastung)*



*Amplitudenumtastung*

Trägersignale mit dem Digitalsignal werden Bursts im Rhythmus des digitalen Modulationssignals erzeugt. Die einfachste Art der Amplitudentastung erfolgt durch Ein- (»1«) und Austasten (»0«) des Trägersignals. Diese Methode hat allerdings den Nachteil, dass man Unterbrechungen nicht von Nullbits unterscheiden kann.

**BOC**, *binary offset carrier modulation*



*BOC-Modulation der E5-Signale von Galileo mit unterschiedlich modulierten Unterträgern*

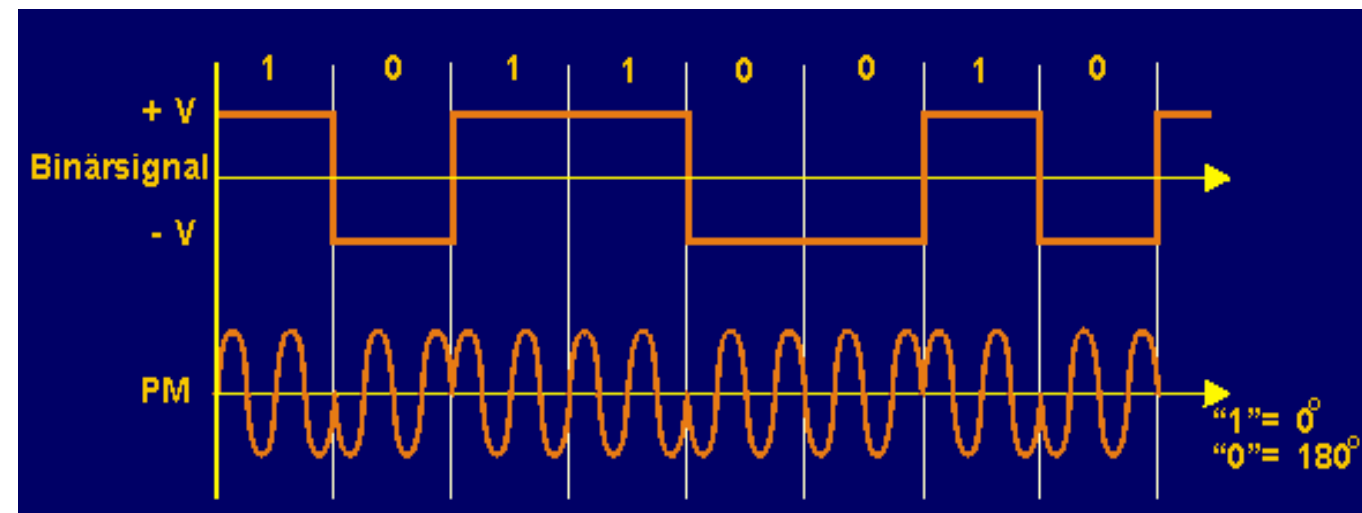
In der Satelliten-Navigation werden die Navigationsdaten vom Satelliten aus mit Binary Offset Carrier Modulation (BOC) oder mit Binary Phase Shift Keying (BPSK) übertragen. Die BOC-Modulation arbeitet mit zwei oder mehreren Unterträgern, die ober- und unterhalb der Trägerfrequenz liegen und mit unterschiedlichen Informationen moduliert werden. Durch dieses Modulationsverfahren können

mehrere unterschiedliche Signale gleichzeitig übertragen werden.

Die Unterträger werden durch Modulation des Trägersignals mit einem rechteckförmigen Offset-Signal erzeugt und stehen für die Modulation mit den Modulationssignalen alternierend zur Verfügung.

Bei Galileo wird die BOC-Modulation für die Übertragung der beiden E5-Signale E5a und E5b benutzt.

**BPSK**, *binary phase shift keying*  
(Zweiphasenumtastung)



*Zweiphasenumtastung (BPSK) mit zwei festen Phasenlagen*

Das BPSK-Verfahren ist eine Phasenumtastung mit zwei Phasenzuständen. Die Trägerfrequenz weist die zwei Phasenlagen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  auf. Bei jeder Zustandsänderung des Digitalsignals wird die Phasenlage des Trägersignals um  $180^\circ$  gedreht. So ist

beispielsweise dem Hi-Pegel immer die Phasenlage  $0^\circ$  und dem "Lo-Pegel" die von  $180^\circ$  zugeordnet. Der Empfänger wertet die Phasenumschaltungen aus und kann daraus entnehmen, ob es sich um einen Lo- oder einen Hi-Zustand handelt. Mit einer 8 BPSK-Umtastung können insgesamt 256 ( $2^{\exp 8}$ ) Codewörter generiert werden. Die Zweiphasenumtastung wird für die Datenübertragung in Kabelverteilsystemen eingesetzt. Sie ist nicht so effektiv wie Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) oder 64QAM, aber weniger rauschanfällig.

## MODULATION UMTASTUNG

**COFDM**, *coded orthogonal frequency division multiplex*

Coded *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (COFDM) wurde in Europa als Standard für die terrestrische Übertragung von Digital Video Broadcasting (DVB) und DRM-Radio ausgewählt. In Amerika hat sich die ATSC bei Digital-TV für die *VSB-Modulation* entschieden.

COFDM hat den Vorteil, dass Laufzeitunterschiede bei der Übertragung von Digital Video Broadcast, die durch Reflexionen an Gebäuden oder Bergen hervorgerufen werden und die sich als Geisterbilder unangenehm bemerkbar machen, komplett kompensiert werden können.

Die Unsensibilität von DBV-T gegenüber den Laufzeitunterschieden wird bei COFDM durch die mehrfache, gleichzeitige orthogonale Ausstrahlung des gleichen Signals erreicht. Dabei wird das Signal gleichzeitig auf viele *Trägerfrequenzen* aufmoduliert. Das können bis zu 6.875 Einzelträger sein. Der Trägerabstand kann dabei bis auf 1 kHz reduziert werden. Durch die Orthogonalität, bei der immer ein Maximum der Spektralverteilung eines Senders mit dem Minimum der Spektralverteilung des benachbarten Senders zusammenfällt, findet keine Beeinflussung von benachbarten Trägerfrequenzen statt.

Diese Vielfachmodulation eignet sich ideal für terrestrisch abgestrahltes Digital-TV und für mobilen Fernsehempfang.

**COPSK**, *coded octal phase shift keying*

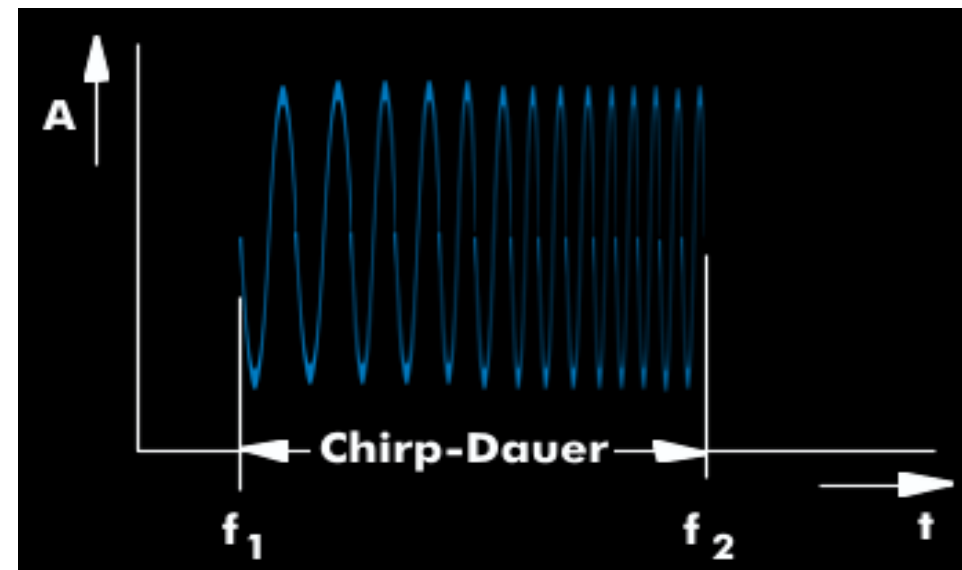
COPSK ist eine spezielle *Phasenumtastung*, bei der acht Phasen codiert werden. Dieses Verfahren wird für die Übertragung von digitalen Daten mit hohen Datenraten eingesetzt.

**CPFSK**, *continuous phase frequency shift keying*

CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying) ist eine Variante der *Frequenzumtastung* (FSK). Bei dem CPFSK-Verfahren wird im Unterschied zum FSK-Verfahren mit kontinuierlicher Phasenlage bei der Umtastung gearbeitet. Man benutzt beim CPFSK-Verfahren nur eine Grundschwingung, die gezielt verstimmt wird. Die Phasenlage bleibt dadurch kontinuierlich.

**CSS**, *chirp spread spectrum*

Chirp Spread Spectrum (CSS) ist ein *Modulationsverfahren*, das von Nanotron Technologies, Berlin, entwickelt wurde. Es basiert auf dem so genannten Chirp-Impuls, einem gewobbelten Frequenzimpuls, der innerhalb einer kurzen Zeitspanne ein bestimmtes Frequenzband durchläuft. Die Amplitude des Chirp-



*Chirp-Impuls mit gewobbelter Frequenz*

Impulses ist konstant, die Frequenz ändert sich innerhalb einer festgelegten Zeit zwischen Anfangs- und Endfrequenz.

Dieses Verfahren mit dem Chirp-Impuls ist Teil der *MDMA-Modulation* und zielt auf den industriellen Einsatz im Bereich der Sensor-Aktor-Netzwerke, der Gebäudeautomation, bei RFID und der drahtlosen Multimediatechnik.

Das IEEE hat die *CSS-Modulation* in die a-Version des Standards 802.15.4 einbezogen, aus dem auch ZigBee hervorgegangen ist. Außerdem kommt die CSS-Modulation auch im nanoNET von Nanotron zum Einsatz. 802.15a und nanoNET

nutzten für die Übertragung das lizenzfreie ISM-Band bei 2,4 GHz und erreichen eine maximale Übertragungsrate von 2 Mbit/s bei Reichweiten bis zu 900 m im Freien und 60 m in Gebäuden bei Datenraten von 1 Mbit/s.

## CVSD, *continuous variable slope delta modulation*

CVSD (Continuous Variable Slope *Delta Modulation*) ist eine Art Deltamodulation, bei der die Schrittweite des approximierten Signals fortschreitend erhöht oder vermindert wird, um das approximierte Signal besser an das analoge Eingangssignal anzupassen. Bei der Umsetzung werden nur die positiven oder negativen Änderungen gegenüber dem Vorwert durch ein Bit angezeigt.

CVSD wird für die Sprachcodierung benutzt, beispielsweise in Bluetooth, und arbeitet mit Abtastraten von 32 kHz. Es gibt auch Implementierungen, die mit einer geringeren Abtastrate arbeiten.

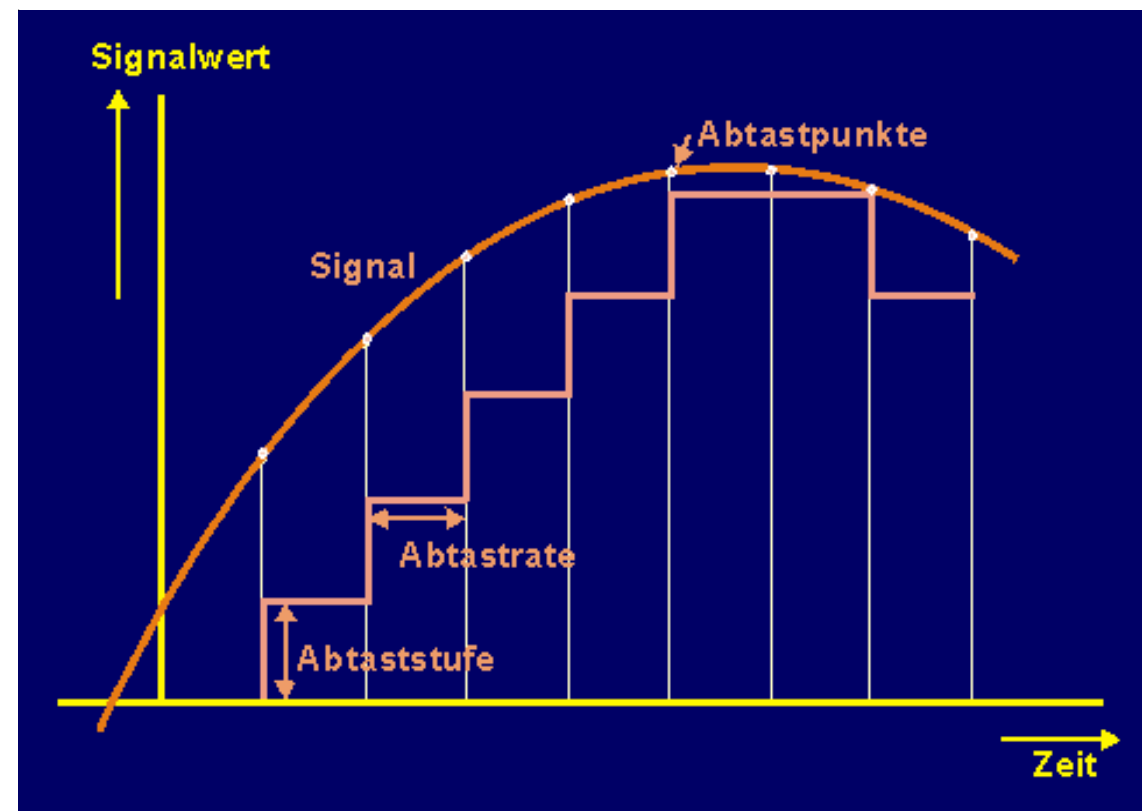
## DAM-QAM, *dynamic adaptive multi-carrier quadrature amplitude modulation*

Dynamic Adaptive Multi-Carrier *Quadrature Amplitude Modulation* (DAM-QAM) ist ein dynamisches Übertragungsverfahren für Modems. Bei diesem Verfahren besteht das Leitungssignal aus einer großen Anzahl frequenzversetzter Trägerschwingungen. Die DAM-QAM-Übertragung wird daher auch Multicarrier-Übertragung genannt.

## Demodulation

Demodulation ist die Rückgewinnung des Modulationssignals von einer modulierten Schwingung. Bei der Demodulation werden die modulierten Signale je nach *Modulationsverfahren* durch Entfernen des Trägersignals und durch anschließende Gleichrichtung in einem Demodulator in die Modulationssignale rückgewandelt.

## DM, *delta modulation*



Die Deltamodulation (DM) ist eine Art *differenzielle Pulscodemodulation*, DPCM, die sich dadurch unterscheidet, dass die benachbarten Abtastwerte nur um die Werte +1 oder -1 von dem realen Abtastwert abweichen können.

Für die Codierung benachbarter Abtastwerte wird also lediglich ein Bit verwendet. Schnelle und hohe Signaländerungen können durch eine Erhöhung der Abtastrate erfasst werden. Eine Anpassung der Stufenhöhe führt zu der adaptiven Deltamodulation (ADM). Angewendet wird dieses *Modulationsverfahren* u.a. im Sigma-Delta-Wandler.

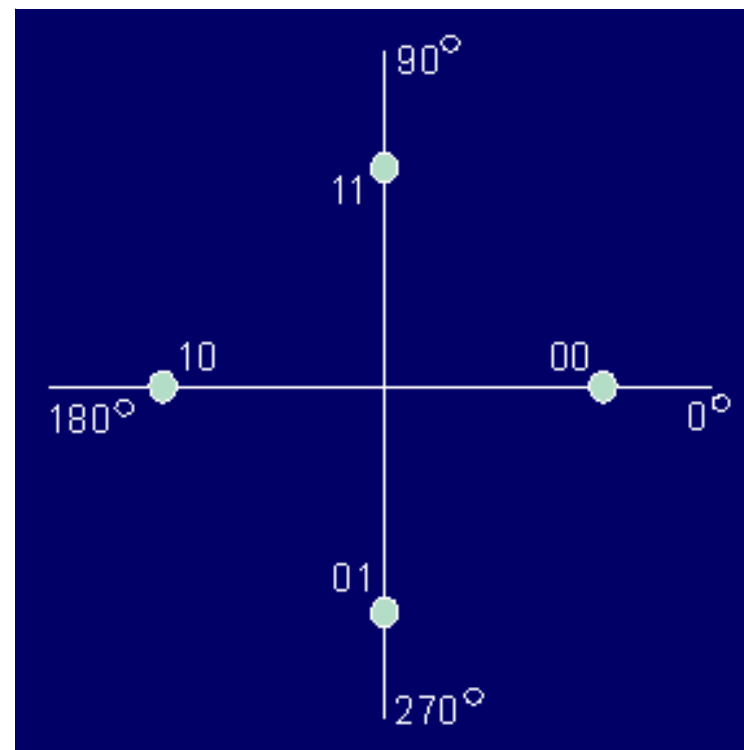
*Deltamodulation*

## MODULATION UMTASTUNG

### DPCM, *differential pulse code modulation*

Bei der differenziellen *Pulsmodulation* (DPCM) handelt es sich um ein verlustbehaftetes Codierverfahren, bei dem der Differenzbetrag von zwei aufeinander folgenden Abtastwerten codiert wird. Dabei wird aus vergangenen Samplewerten ein Prädiktor berechnet, der vom aktuellen Samplewert abgezogen und dessen Prädiktionsfehler übertragen wird. Empfangsseitig wird ebenfalls aus vergangenen rekonstruierten Abtastungen ein Prädiktor errechnet und mit dem übertragenen Prädiktionsfehler korrigiert. Im Gegensatz zu DPCM arbeitet *ADPCM* (Adaptive Delta Pulse Code Modulation) ebenfalls mit Prädiktion, passt aber das prädiktive Signal an das Eingangssignal an, wodurch eine bessere Vorhersage möglich ist. Das Verfahren wird in der Sprachdigitalisierung angewendet und hat den Vorteil, dass zur Codierung eines Abtastwertes wesentlich weniger Bits benötigt werden, was zu einer wesentlichen Datenreduzierung führt. Bei diesem Verfahren können bei großen Differenzen zwischen benachbarten Abtastwerten Fehler auftreten. Diese können dadurch behoben werden, indem man nach einigen Abtastungen wieder den vollen Amplitudenwert anstelle des Differenzwertes abtastet. Nachteilig ist bei diesem Verfahren, dass ein Pegelverlust von 6 dB/Oktave entsteht und dadurch das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) um 6 dB/Oktave sinkt und hohe Töne schlechter übertragen werden.

### DPSK, *differential phase shift keying*



*Phasenstern für die DPSK-Modulation eines Dibit*

Die differenzielle *Phasenumtastung* (DPSK) ist eine *Modulation* speziell für die Datenübertragung, bei der die Daten durch Phasenwechsel der Trägerschwingung übertragen werden. DPSK ist eine Weiterentwicklung von PSK, hat aber den Vorteil, dass aus dem modulierten Signal eine Taktrückgewinnung möglich ist. Bei dem DPSK-Verfahren werden nur noch die Phasenänderungen moduliert. Das Verfahren arbeitet mit zwei Trägersignalen, deren Phasenlagen um 90° gegeneinander versetzt sind und die mit zwei Signalkomponenten moduliert werden. Der Takt kann aus der Phasenlage abgeleitet werden, da sich nach jedem übertragenen Zeichen die Phasenlage der *Trägerfrequenz* ändert. Bei der Codierung eines Dibits sind den vier Zuständen die Phasenlagen 0° für 00, 90° für 01, -90° für 10 und 180° für 11 zugeordnet.

DPSK wird u.a. auch in Digital Audio Broadcast (DAB) und Bluetooth benutzt.

### DQPSK, *differential quaternary phase shift keying*

Differential Quaternary Phase Shift Keying (DQPSK) ist eine *Phasenumtastung*, die in Zellulernetzen und Kabelmodems eingesetzt wird. In Bluetooth wird die DQPSK-Umtastung zur Steigerung der Datenrate bei Enhanced Data Rate (EDR) verwendet. Die DQPSK-Umtastung arbeitet mit Phasenwechseln der *Trägerfrequenz* und moduliert diese mit Quadbits. Da bei jedem Phasenwechsel ein Quadbit moduliert ist, hat DQPSK gegenüber *DPSK* (Differential Phase Shift Keying) eine dreifach höhere Übertragungsrate.

# MODULATION UMTASTUNG

**DSB-RC**, *double side band reduced carrier*

Bei der *Amplitudenmodulation* (AM) entstehen zwei Frequenzbänder, eines das oberhalb der *Trägerfrequenz* liegt und ein weiteres unterhalb der Trägerfrequenz.

Bei der *Double Sideband Reduced Carrier* (DSB-RC) wird das Trägersignal auf einen festen Pegel reduziert, der unterhalb des Trägerpegels für den *Modulator* liegt. Der reduzierte Trägerpegel wird mit übertragen und dient der Empfangseinrichtung als Referenzfrequenz, die zur *Demodulation* benutzt wird. Wird der Trägerpegel auf einen Null-Pegel reduziert, spricht man von *Double Sideband Suppressed Carrier* (DSB-SC), also mit unterdrücktem Träger.

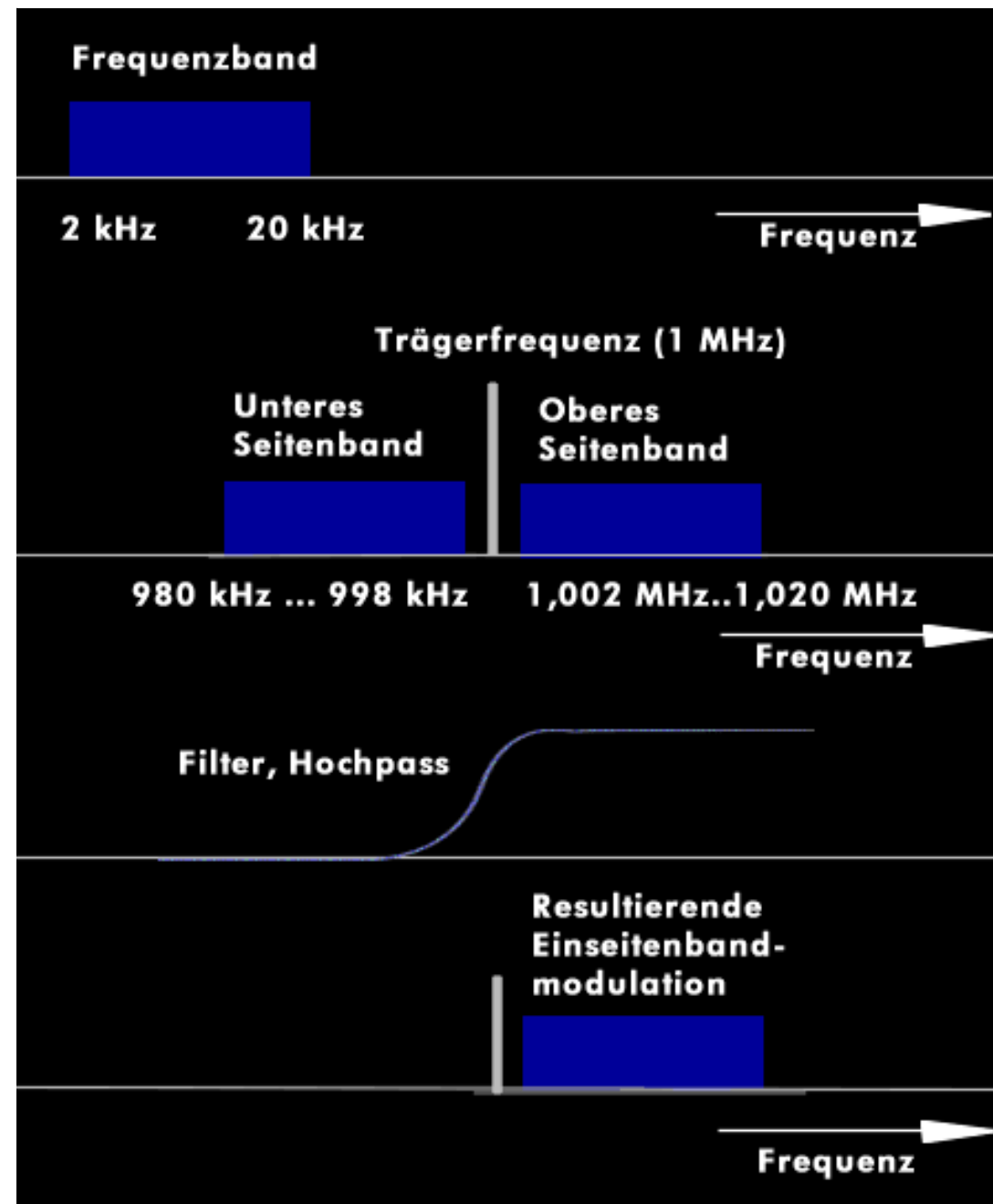
**DSB-SC**, *double side band suppressed carrier*

Bei der *Zweiseitenbandmodulation* wird die *Trägerfrequenz* mit übertragen. Es gibt aber zwei weitere

Varianten bei der die Trägerfrequenz reduziert wird, das *Double Sideband Reduced Carrier* (DSB-RC), und die unterdrückt wird, das *Double Sideband Suppressed Carrier* (DSB-SC).

Bei diesem Verfahren werden nur die beiden symmetrisch zur Trägerfrequenz angeordneten Seitenbänder übertragen, das obere Seitenband, das oberhalb der Trägerfrequenz liegt und das untere, das unterhalb liegt. Das Trägersignal selbst wird im Sender unterdrückt und nicht mit übertragen.

**Einseitenband, ESB**  
(*SSB, single sideband*)



Bei der *Amplitudenmodulation* eines Trägersignal mit einem Frequenzband bilden sich unterhalb und oberhalb der *Trägerfrequenz* zwei Seitenbänder aus, die beide den Informationsinhalt des Frequenzbandes haben.

Hat beispielsweise das Trägersignal eine Frequenz von 1 MHz und wird mittels Amplitudenmodulation mit einem Frequenzband von 2 kHz bis 20 kHz moduliert, dann bilden sich folgende Seitenbänder aus: Das untere Seitenband beginnt bei 980 kHz und endet bei 998 kHz und das obere Seitenband, das bei 1,002 MHz beginnt und bei 1,020 MHz endet. Zwischen beiden Seitenbändern

*Prinzip der Einseitenbandmodulation*

liegt die Trägerfrequenz. Der Informationsinhalt beider Seitenbänder ist identisch.

Um die begrenzten Frequenz-Ressourcen nicht unnötig zu nutzen, selektiert man einen der beiden Bänder über einen Filter. Es bleibt also nur ein Seitenband übrig. Das nennt man Einseitenbandmodulation. Die vom Trägersignal benötigte Bandbreite entspricht der des Modulationssignals.

**FFSK**, *fast frequency shift keying*

Das FFSK-Verfahren ist eine Variante der *Frequenzumtastung* (FSK). Bei diesem Verfahren erfolgt die Umtastung von einer Frequenz auf die andere Frequenz immer im Nulldurchgang der Modulationsschwingung. Fast Frequency Shift Keying (FFSK) wird auch als *Minimum Shift Keying* (MSK) bezeichnet.

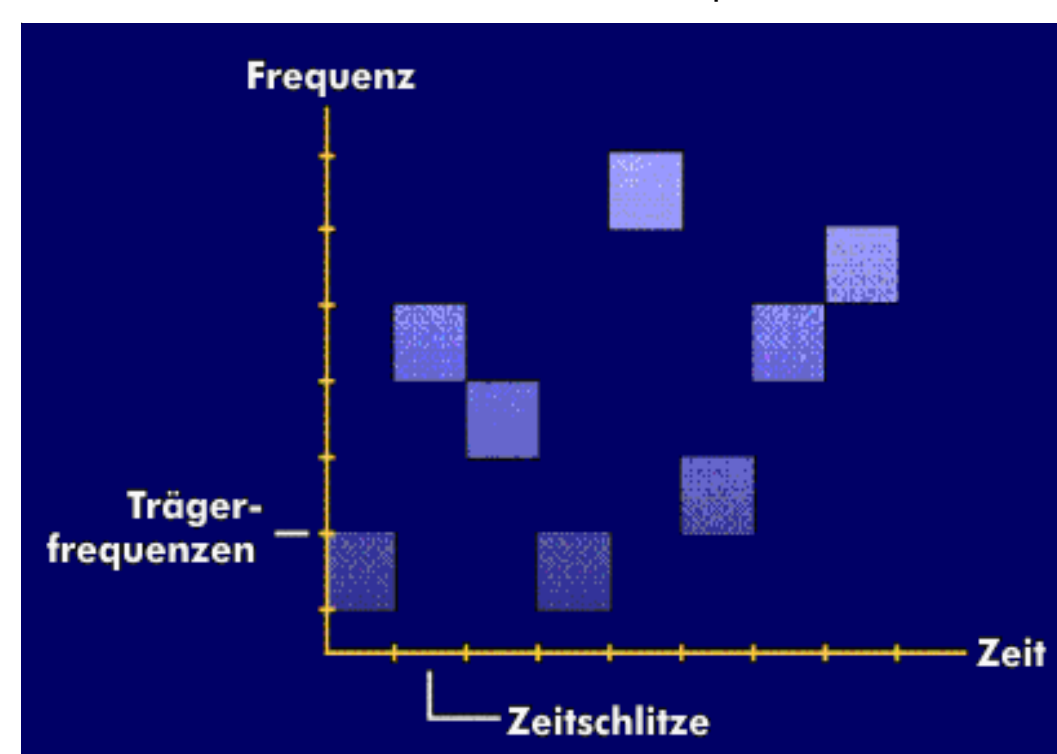
**FFT**, *fast fourier transformation*  
(*FFT-Transformation*)

Die *Fast Fourier Transformation* (FFT) ist ein mathematisches Verfahren der Fourier-Transformation, wie es in Computern implementiert ist. Bei diesem Verfahren werden zeitbezogene Signale in den Frequenzbereich transformiert. Die Fast Fourier Transformation ist eine schnellere Variante der diskreten Fourier-Transformation (DFT) und wird in der Multimediatechnik dazu verwendet, um Audiosignale in einzelne Sinus-Schwingungen und diese wiederum in die entsprechenden Spektralfrequenzen zu zerlegen. In der Frequenzebene ist eine Analyse des Klangbildes möglich.

**FHSS**, *frequency hopping spread spectrum*  
(*Frequenzsprungverfahren*)

Das *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) ist ein Frequenzsprungverfahren, das in der Mobilkommunikation und in WLANs eingesetzt wird. Bei dieser Technik wird das Nutzsignal auf eine sich sprunghaft ändernde *Trägerfrequenz* aufmoduliert.

Die Frequenzwechsel finden dabei in einer pseudo-zufälligen oder vorbestimmten Bit-Reihenfolge statt. Bei WLANs nach IEEE 802.11 stehen in Europa und in den USA in dem zur Verfügung stehenden ISM-Band



zwischen 2,4000 GHz und 2,4835 GHz 79 nicht überlappende Frequenzsprünge pro Sekunde zur Verfügung. Die Sprungfolge wird durch einen Pseudo-Zufallsgenerator bestimmt, wobei die minimale Sprungdistanz mindestens 6 Kanäle beträgt. Für die Frequenzsprungtechnik sind darüber hinaus mindestens 20 Frequenzsprünge pro Sekunde vorgeschrieben. In einigen europäischen Ländern stehen nur 35 (Spanien) oder 23 (Frankreich) Sprungsequenzen in einem kleineren Frequenzband zur Verfügung. Je nach Schnelligkeit des Frequenzwechsels unterscheidet man zwischen langsamem (slow) und schnellem (fast) Frequenzsprungverfahren.

*Frequenz-Hopping-Verfahren*

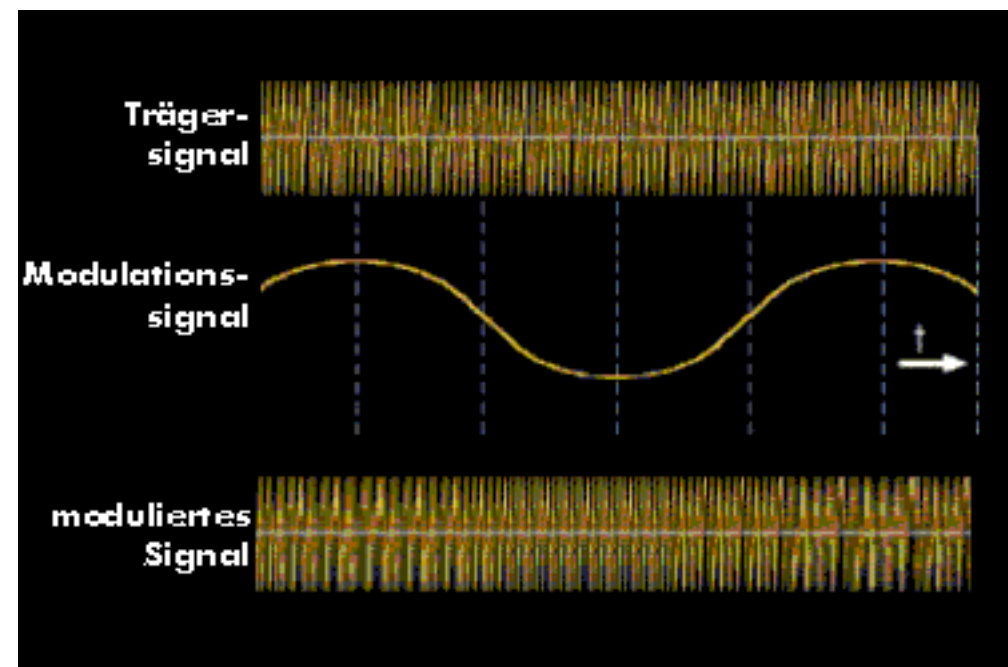
Damit das Signal vom Empfänger erkannt werden kann, muss dem Empfänger die Reihenfolge des Frequenzwechsels im Voraus bekannt sein, was durch das Aushandeln der Frequenzfolge zwischen Sender und Empfänger erfolgt. Diese Technik gilt als sehr sicher, jedoch müssen Sender und Empfänger genau aufeinander synchronisiert sein. Dies bedingt eine relativ komplexe elektronische Schaltung und folglich auch hohe Herstellungskosten.

Frequenz-Hopping wird in WLANs eingesetzt und ist im GSM-Netz konzeptionell vorgesehen.

Durch den laufenden Frequenzwechsel werden Störungen durch feststehende Stationen, wie einen Mikrowellenherd oder durch andere FHSS-Sender begrenzt.

## FM, frequency modulation

Die Frequenzmodulation (FM) ist ein *Modulationsverfahren* bei dem eine hochfrequente Trägerschwingung in ihrer Frequenz im Rhythmus der niederfrequenten Signalfrequenz verändert wird. Das frequenzmodulierte Trägersignal besteht theoretisch aus unendlich vielen Spektrallinien, anders als bei der *Amplitudenmodulation*, wo es sich um durchmodulierte Seitenbänder handelt. Die einzelnen Spektrallinien sind durch die Bessel-Funktionen berechenbar.



Prinzip der Frequenzmodulation

Die maximale Abweichung der *Trägerfrequenz* durch die Modulationsfrequenz ist proportional der Amplitude des Modulationssignals und wird als *Frequenzhub* bezeichnet. Bei einem frequenzmodulierten Tonsignal bestimmt die Lautstärke den Frequenzhub. Die Frequenz des Tonsignals, also die Tonhöhe, zeigt sich in der Häufigkeit, in der die Frequenzabweichung auftritt.

In der Übertragungstechnik mittels Modem wird die Trägerfrequenz für die Übertragung der binären "0" bzw. "1" umgetastet, die so genannte *Frequenzumtastung*. Für die beiden Binärsignale stehen also zwei unterschiedliche Frequenzen zur Verfügung.

## FMCW, frequency modulated continuous wave

FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) ist ein *Modulationsverfahren*, das in Fernbereichsradars (LRR) in der Automotive-Technik benutzt wird. Fernbereichsradar arbeitet bei einer Frequenz von 77 GHz. Bei der FMCW-Technik werden linear in der Frequenz modulierte Radarwellen für einige Millisekunden gesendet. Der Frequenzhub eines solchen Bursts beträgt einige hundert MHz. Der Radar-Burst wird an Hindernissen und Objekten reflektiert, vom Radar-Empfänger empfangen und mit dem ausgesendeten Radar-Burst verglichen. Aus der Abweichung der Linearität des Frequenzhubs werden die Entfernungen und Geschwindigkeiten von Objekten bestimmt. Die Entfernungsauflösung mit der zwei Objekte in ungefähr gleicher Entfernung als separate Objekte erkannt werden können, ist von dem Frequenzspektrum des ausgesendeten Radarsignals abhängig.

Sich bewegende Objekte, beispielsweise entgegengerichtete Fahrzeuge, rufen durch den Dopplereffekt Frequenzverschiebungen hervor, aus denen die Geschwindigkeit und Fahrtrichtung bestimmt werden kann.

## Fourier-Transformation (FT, Fourier transformation)

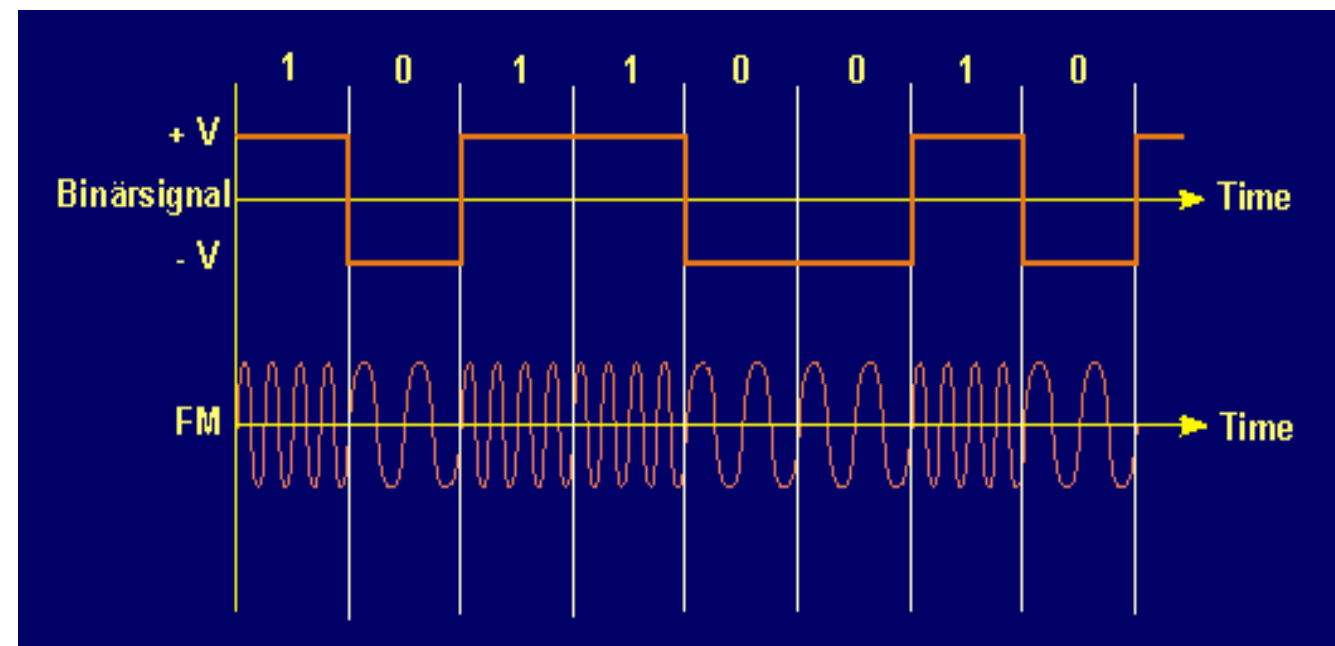
Eine Fourier-Transformation (FT) ist ein mathematisches Verfahren, mit dem Signale aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert werden. Sie dient somit der Bestimmung des Frequenzspektrums eines zeitbezogenen Signals.

Die Transformation eines reinen Sinus-Signals von der Zeitebene in die Frequenzebene hat eine einzelne Spektrallinie zur Folge. Alle anderen nicht sinusförmigen Signale wie Rechtecksignale, modulierte Signale, Impulse usw. bestehen aus einer Grundwelle und mehreren in der Amplitude unterschiedlichen Oberwellen. In der Computertechnik wird die Fourier-Transformation meist als mathematisches Verfahren in Form der *Fast Fourier Transformation* (FFT) implementiert.

Die Umkehrung der Fourier-Transformation, also die Transformation einer frequenzbezogenen Funktion in eine zeitbezogene, nennt man *inverse Fourier-Transformation*.

Die Bezeichnung der Transformation geht auf den französischen Mathematiker Baron Jean Baptiste Joseph Fourier zurück, der 1768 bis 1830 lebte.

## FSK, frequency shift keying (Frequenzumtastung)



Frequenzumtastung

Die Frequenzumtastung (FSK) ist eine *Frequenzmodulation* (FM) mittels zweier Frequenzen, die in der Modemtechnik eingesetzt wird. Die eine Frequenz repräsentiert die digitale »Eins«, die andere die digitale »Null«. Beide Frequenzen sind dabei im gleichen Frequenzabstand um eine *Trägerfrequenz* angeordnet. Den Abstand zwischen den beiden Frequenzen nennt man

Frequenzhub. Realisiert wird eine solche Frequenzumtastung durch zwei Oszillatoren mit unterschiedlichen Frequenzen, die abwechselnd, in Abhängigkeit von der zu übertragenden Digitalinformation, ein- bzw. ausgeschaltet werden. Da bei einer solchen Umschaltung die Phasenlagen der einzelnen Oszillatoren im Schaltmoment immer unterschiedlich sind, arbeitet man auch mit nur einem Oszillator, dessen Frequenz sprunghaft geändert wird und dessen Phasenlage kontinuierlich bleibt (*CPFSK*).

Ein weiterer Parameter für die Frequenzumtastung ist neben dem Frequenzhub der Modulationsindex. Dieser gibt das Verhältnis von Gesamthub zur Datenrate wieder. Unterschreitet der Modulationsindex einen Wert von 0,5, so spricht man von einer *MSK-Modulation*, Minimum Shift Keying.

Arbeitet man mit mehreren Frequenzen, kann man mehrere Digitalsignale zusammenfassen. Ein solches 4-FSK-Verfahren wird beispielsweise in WLANs bei HomeRF eingesetzt.

Bei Duplex-Übertragungen werden unterschiedliche Frequenzen für den Hin- (Originale) und Rückkanal (Answer) verwendet. Eine Unterbrechung ist durch Ausfall des Trägers erkennbar.

### **GFSK**, *gaussian frequency shift keying*

Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) ist eine modifizierte *Frequenzumtastung* (FSK), bei der ein Gaußscher Filter eingesetzt wird. Bei diesem *Modulationsverfahren* wird durch die schmalbandigere Ausfilterung der Anteil an Oberwellen reduziert und das Übersprechen verringert. Das GFSK-Verfahren wird im GSM-Standard und bei Bluetooth eingesetzt.

Die GFSK-Umtastung gibt es mit zwei oder vier Leveln als 2GFSK oder 4 GFSK. In diesen Versionen wird sie im *Frequenzsprungverfahren* in 802.11 eingesetzt.

### **GMSK**, *gaussian minimum shift keying*

Bei dem *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK) handelt es sich um ein *Modulationsverfahren*, das als Minimum Shift Keying (MSK) arbeitet und das durch einen vorgeschalteten Gauß-Filter ergänzt wird. Das Verfahren wird bei GSM angewendet.

GMSK ist vergleichbar der *Phasenumtastung*, es arbeitet mit zwei Zuständen und kann pro Bit ein Symbol übertragen.

### **IFFT**, *inverse fast fourier transformation*

Die Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT) ist die inverse Funktion zur *Fast Fourier Transformation* (FFT). Bei dieser Rücktransformation wird das frequenzbezogene Signal aus dem Frequenzspektrum in ein zeitbezogenes Signal gewandelt.

### **IFT**, *inverse Fourier transformation*

Eine inverse *Fourier-Transformation* (IFT) ist ein mathematisches Verfahren, mit dem Signale aus dem Frequenzbereich in den Zeitbereich transformiert werden. Sie dient somit der Bestimmung dem Zeitverlaufs eines Signals aus dem Frequenzspektrum.

### **MB-OFDM**, *multi-band orthogonal frequency division multiplexing*

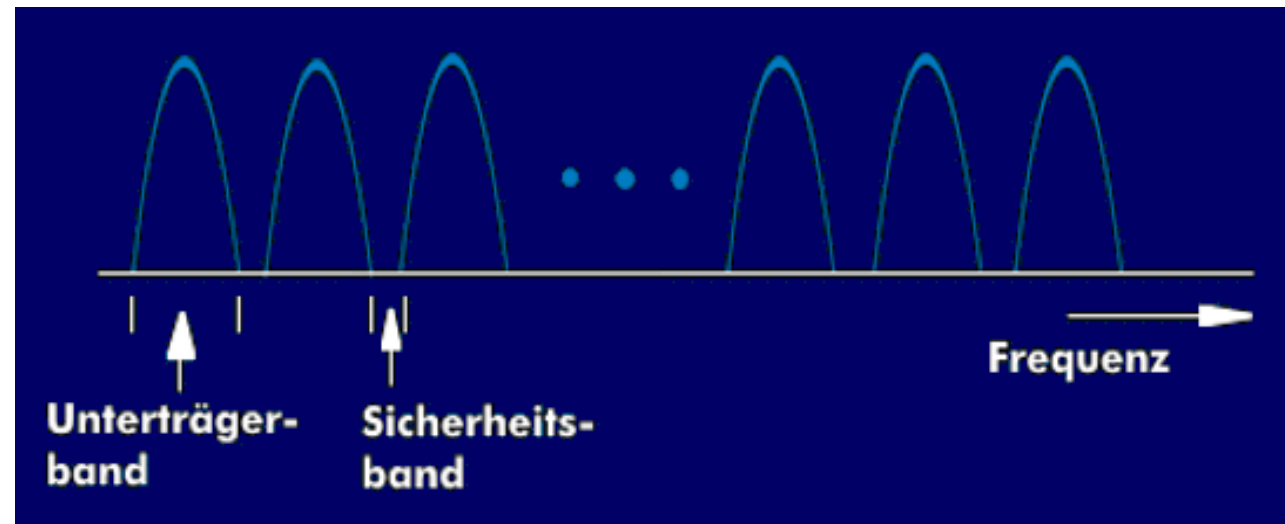
Multiband-*OFDM* (MB-OFDM) ist eine von der WiMedia-Allianz vorgestellte Technik für Hochgeschwindigkeits-Nahfunk. Nach den Vorstellungen der WiMedia soll MB-OFDM Peripheriegeräte funktechnisch mit High-Speed mit dem Personal Computer verbinden. Alle Peripheriegeräte, ob Scanner, Camcorder, Grafiktablett, Touchscreen, Monitore, Drucker oder Plotter können somit direkt und kabellos mit dem Personal Computer mit einer Datenrate von 480 Mbit/s kommunizieren.

OFDM teilt das zur Verfügung stehende Frequenzband in mehrere Unterträger auf. Bei MB-OFDM sind es 128 Unterträger, die in einem 528 MHz breiten Kanal verteilt werden. Jeder Unterträger wird so moduliert, dass er dann sein Maximum erreicht, wenn die benachbarten Unterträger ihre geringste Modulationsamplitude haben. Jeder Unterträger wird mit einem Teil des Datenstroms moduliert. Bei MB-OFDM werden jeweils drei 528-MHz-Kanäle zu einer Frequenzbandgruppe zusammen gefasst. D.h. eine Frequenzbandgruppe umfasst ein Frequenzband von 1.584 GHz. Der für Ultra-Breitband freigegebene Frequenzbereich zwischen 3,1 GHz und 10,6 GHz ist in fünf 1,5-GHz-Frequenzbänder unterteilt. In jedem 528-MHz-Kanal kann eine maximale Datenrate von 480 Mbit/s erreicht werden. Die spektrale Bandbreiteneffizienz liegt bei 0,9 bit/s/Hz.

# MODULATION UMTASTUNG

**MCM, multicarrier modulation**  
(Mehrträgermodulation)

*Frequenzmultiplex mit Unterträgerbändern, die durch Sicherheitsbänder getrennt sind*

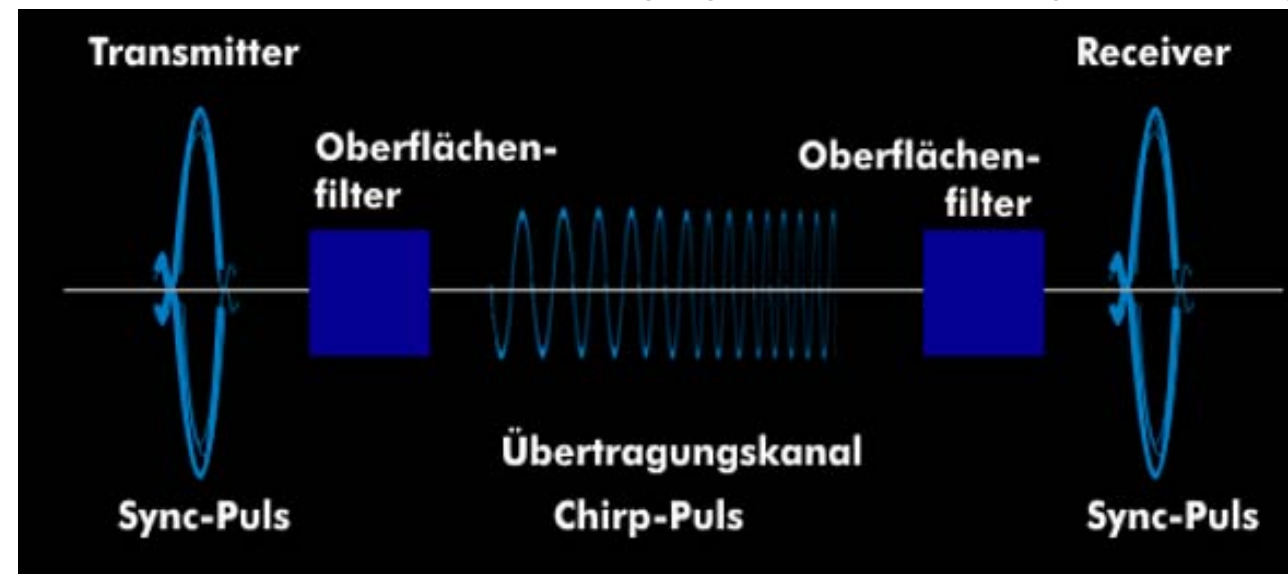


Die Mehrträgermodulation (MCM) ist eine moderne Modulationstechnik, bei der die zu übertragenden Signale auf mehrere Trägerfrequenzen aufmoduliert werden. Während beim Einträgerverfahren ein Frequenzband übertragen oder in schmalere Unterbänder unterteilt wird,

wird beim Mehrträgerverfahren jedes einzelne Unterband mit einer eigenen Trägerfrequenz übertragen. Zu den Mehrträgerverfahren gehören das *Mehrtonverfahren* (DMT) und das Frequenzmultiplex. Beim Frequenzmultiplex wird zwischen den einzelnen Unterträgern ein Sicherheits-Frequenzband eingefügt, um eine gegenseitige Beeinträchtigung der Frequenzbänder auszuschließen. Bei der orthogonalen Mehrträgertechnik, wie sie in OFDMA beispielsweise eingesetzt wird, entfällt das Sicherheits-Frequenzband, die Unterträger sind dichter nebeneinander und überlappen sich sogar. Mehrträgerverfahren finden in stationären und mobilen Funkübertragungssystemen ihren Einsatz. Sie zeichnen sich durch hohe Datenraten, Reichweite und Flexibilität aus und haben niedrige Bitfehlerraten.

**MDMA, multi dimensional multiple access**

In der MDMA-Modulation (Multi Dimensional Multiple Access) vereinen sich die Vorteile der klassischen Modulationsverfahren der Amplituden- (AM), Frequenz- (FM) und Phasenmodulation. Diese Adaption der Modulationsverfahren eignet sich für WLANs mit mittleren und hohen Übertragungsraten und zeichnet sich durch einen extrem geringen Stromverbrauch aus. MDMA kann in seiner Qualität an die Dienste angepasst werden und stellt einer Sprachübertragung eine andere Dienstgüte zur Verfügung als einer Geldtransaktion.



MDMA verwendet zwei grundlegende Signale für die Verarbeitung und die Übertragung der Symbole: Den Sync-Puls für die Verarbeitung in Basisbandtechniken und den Chirp-Puls für die Funkübertragung. Der Sync-Puls ist ein schmaler kurzzeitiger Puls mit der kürzesten Pulsdauer in Relation zur vorhandenen

*Prinzip der MDMA-Modulation*

Bandbreite. Das Produkt von Pulsdauer und Bandbreite liegt somit bei "1". Der Chirp-Puls ist ein Burst, dessen Frequenz sich in der festgelegten Zeit linear von einer unteren Frequenz bis zu einer oberen Frequenz ändert. Er füllt die zur Verfügung stehende Bandbreite in einer bestimmten Zeit aus. Beide Pulse, der Sync-Puls und der Chirp-Puls, belegen die gleiche Bandbreite und können mit einem Oberflächenwellenfilter auf einfache Art und Weise gegeneinander transformiert werden. Die Kombination beider Pulse bilden das Grundprinzip der MDMA-Modulation.

MDMA, das im nanoNET eingesetzt wird, eignet sich gleichermaßen für den Innen- und den Freibereich. Die Datenraten liegen bei weit über 100 Mbit/s bei Entfernungen von 100 m im Außenbereich und 10 m im Innenbereich. Bei 2 Mbit/s erhöhen sich die Entfernungen auf 800 m bzw. 80 m.

Besonders hervorzuheben ist die geringe Störbeeinflussung durch andere im ISM-Band sendende Geräte und die dadurch mögliche Verringerung der Sendeleistung und der Batterielebensdauer.

## MDPSK, *modified differential phase-shift keying*

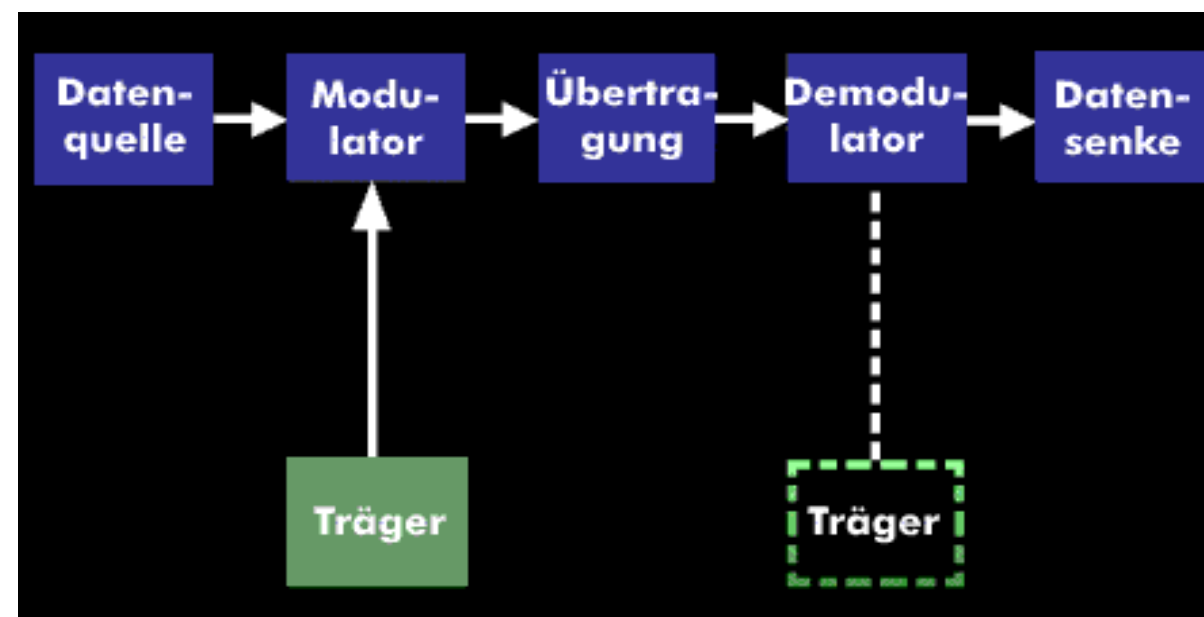
Die *differenzielle Phasenumtastung* (DPSK) ist ein *Modulationsverfahren*, das sich dadurch auszeichnet, dass nur Differenzen bei Signaländerungen codiert und übertragen werden, was die benötigte Bandbreite erheblich reduziert. MDPSK ist die weiterentwickelte Methode mit nur noch halb so viel Bandbreitenbedarf wie das Differential Phase Shift Keying (DPSK).

## MFSK, *multiple frequency shift keying*

Multiple Frequency Shift Keying (MFSK) ist eine *Frequenzumtastung* (FSK) in der mehrere Codierungen für die Übertragung der digitalen Signale benutzt werden. Das Mehrfach-Codierungsschema von Multiple Frequency Shift Keying kann gleichzeitig oder sequenziell übertragen werden.

## Modulation

Modulation ist die Veränderung von Signalparametern einer *Trägerfrequenz* in Abhängigkeit von einem modulierenden Signal. Das Trägersignal ist dabei ein zeitabhängiges Signal, beispielsweise eine Trägerschwingung oder eine Pulsreihe, das in seiner Amplitude oder in seiner zeitlichen Relation durch das Aufprägen des Modulationssignals verändert wird.



Im Falle einer Modulation ergibt sich aus dem Modulationssignal und dem Trägersignal ein Modulationsprodukt, das zur Übertragung genutzt wird. Je nach *Modulationsverfahren* unterscheidet man die *Amplitudenmodulation* - bei dieser Modulationsart ändert sich die Amplitude der Trägerschwingung mit der Amplitude und der Frequenz des Modulationssignals -, die *Frequenzmodulation* - dabei ändert sich die Frequenz der

Prinzip der Modulation

Trägerschwingung - und die *Phasenmodulation*.

Bei letzterer ändert sich die Phasenlage der Trägerschwingung in Abhängigkeit von dem Modulationssignal. Neben diesen Grundverfahren gibt es eine Vielzahl von Varianten wie die *Einseitenbandmodulation*, die *Zweiseitenbandmodulation*, die Zweiseitenbandmodulation mit reuziertem und unterdrücktem Träger, DSB-RC und DSB-SC, die *Deltamodulation* oder die Quadraturmodulation.

Die verschiedenen Modulationsverfahren haben bestimmte Nachteile, weswegen weitere Verfahren entwickelt wurden und werden. So ist beispielsweise die Amplitudenmodulation sehr stör anfällig, weil die Störsignale die Modulationssignale überlagern, die Frequenzmodulation hingegen ist unempfindlich gegenüber Störsignalen, hat aber den Nachteil, dass sie mindestens die doppelte Bandbreite benötigt. Die Phasenmodulation, die diesen Nachteil behebt, hat dagegen mit Verzerrungen und Änderungen der Trägerfrequenz zu kämpfen.

## Modulationscode (modulation code)

Erste Stelle	Bedeutung	Zweite Stelle	Bedeutung
A	Zweiseitenband	0	Kein Modulationssignal
B	Unabh. Seitenbänder	1	Einzelkanal mit dig. Information ohne Unterträger
C	Restseitenband	2	Einzelkanal mit dig. Information mit Unterträger
D	Träger amplituden- und winkelmoduliert	3	Ein Kanal mit analoger Information
F	Frequenzmodulation	7	Zwei oder mehr Kanäle, digital Info.
G	Phasenmodulation	8	Zwei oder mehr Kanäle, analog Info.
H	Einseitenband, voller Träger	X	Modulationen, die unberücksichtigt sind
J	Einseitenband, unterdrückter Träger		
K	Amplitudenmodulation	Dritte Stelle	Bedeutung
L	Pulsdauermodulation	A	Telegrafie
M	Phasenmodulation	B	Telegrafie, autom. Empfang
N	Unmodulierter Träger	C	Fax
P	Sequenz unmod. Pulse	D	Datenübertragung, Telemetrie
Q	Winkelmodulation während der Pulsdauer	E	Telefon und Audio-Broadcast
R	Einseitenband, reduzierter Träger	F	Television (Video)
V	Sondermodulation	N	Keine Informationen
W	Weitere nicht erwähnte Modul.	W	Kombination mehrerer Informationen
X	Weitere unberücksichtigte Mod.	X	Andere, unberücksichtigte Infos

*Bedeutung der ersten drei Stellen beim dreistelligen Modulationscode*

Bedingt durch die vielen Codierungsverfahren und -varianten haben die ITU und das FCC Modulationscodes für die bessere Zuordnung und die einfachere Handhabung herausgegeben. Es handelt sich dabei um einen fünfstelligen alphanumerischen Code, dessen erste drei Stellen normalerweise für die Charakterisierung der *Modulation* ausreichen.



Struktur des fünfstelligen Modulationscodes

Beispiele für Modulationscodes

Modulationscode	Codierverfahren
A1A	Tastung des Trägersignals Telegrafencode
A3E	Zweiseitenband-Amplitudenmodulation mit vollem Trägersignal
J3E	Einseitenband-Modulation mit unterdrücktem Trägersignal
F2D	Frequenzumtastung eines Audiotones, Eingesetzt bei Packet Radio

Jede Stelle des Modulationscodes steht für verschiedene charakteristische Modulationseigenschaften. Die erste Stelle ist immer ein Buchstabe und steht für die Modulationsart der *Trägerfrequenz*, die zweite Stelle ist eine Ziffer und sagt etwas über die Natur des Signals aus, mit dem das Trägersignal moduliert wurde. Die dritte Stelle wird wieder durch einen Buchstaben repräsentiert und beschreibt die zu übertragende Information. Mit der vierten Stelle werden die Signaleigenschaften beschrieben; ob es sich um Audio oder Video, um Farbsignale

oder monochromatische Signale handelt, und in der fünften die Art des Multiplexens. Die vierte und fünfte Stelle werden durch Buchstaben dargestellt, wobei die Buchstaben der fünften Stelle zwischen den verschiedenen Multiplextechniken unterscheiden: Codemultiplex, Frequenzmultiplex, Zeitmultiplex und weitere.

Typische Beispiele für den dreistellig genutzten Modulationscode sehen daher so aus: A1A oder F1C oder J7B oder K3E. Ein fünfstelliger Modulationscode könnte so aussehen: C2FMT. Die kryptische Bedeutung kann aus den Tabellen für die einzelnen Stellen entnommen werden. Ein Beispiel wäre C3F für Fernsehen in *Amplitudenmodulation* mit *Restseitenband*.

Mit den Modulationscodes wird von der Bundesnetzagentur festgelegt welche Modulationsart in welchem Frequenzbereich genutzt werden kann. Das gilt für alle funtechnischen Einrichtungen für Fest- und Mobilfunk, Richtfunk und Amateurfunk, für Betriebsfunk, Bündelfunk und *CB-Funk*, für Radio und Fernsehen, Verkehrsfunk, öffentlichen und nichtöffentlichen Landfunk.

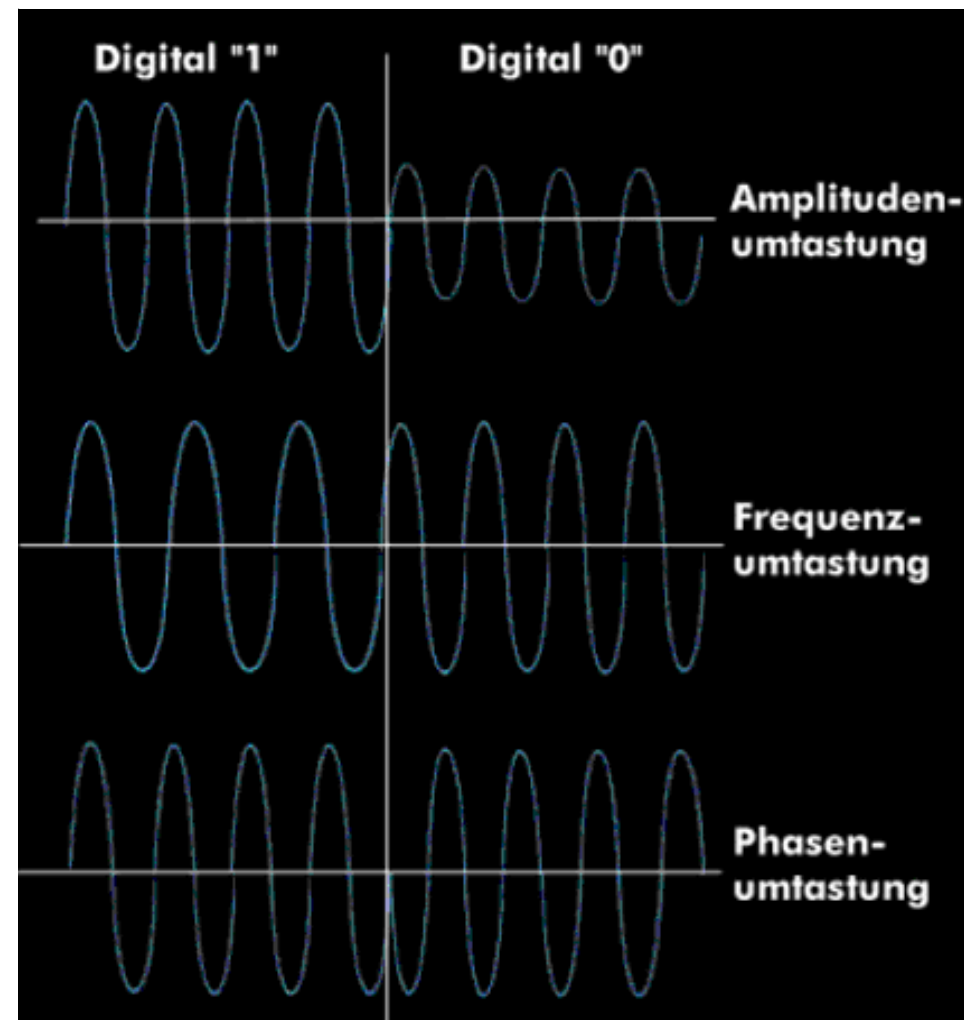
### Modulationsgrad, m (modulation degree)

Der Modulationsgrad ( $m$ ) ist ein Parameter der *Amplitudenmodulation* (AM). Es handelt sich dabei um das Verhältnis der Amplitude des Modulationssignals zur Amplitude der *Trägerfrequenz*. Ist das Trägersignal unmoduliert, ist der Modulationsgrad "0". Ist die Amplitude des Modulationssignals halb so groß wie die der Trägerfrequenz, beträgt der Modulationsgrad 0,5. Wenn beide Amplituden gleich groß sind, wird das Trägersignal voll durchmoduliert, der Modulationsgrad ist dann "1".

### Modulationsverfahren (modulation techniques)

Man unterscheidet generell zwischen drei Modulationsverfahren: der *Amplitudenmodulation*, der *Frequenzmodulation* und der *Phasenmodulation*. Diese Modulationsarten können sowohl für analoge Signale als auch für digitale Signale eingesetzt werden.

Bei der *Modulation* von analogen Signalen werden kontinuierlich alle analogen Signalwerte des Nutzsignals moduliert. Da digitale Signale nicht wertekontinuierlich sind, sondern von einem Kennzustand in einen anderen springen, spricht man in diesem Zusammenhang nicht von Modulation, sondern von Umtastung.



Alle Umtastverfahren basieren auf den drei genannten Modulationsverfahren: der Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation.

**Amplitudenumtastung (ASK):** Bei der Amplitudenumtastung wird die Trägerfrequenz mit zwei verschiedenen Amplituden moduliert. Die eine Amplitude entspricht der logischen »0«, die andere der logischen »1«. Die Trägerfrequenz bleibt bei diesem Verfahren konstant. Bei der *On-Off-Umtastung* (OOK) wird das Trägersignal bei der Digitalwert »1« ein- und bei »0« wird die Trägerfrequenz abgeschaltet.

**Frequenzumtastung (FSK):** Bei der Frequenzumtastung werden den beiden Digitalwerten unterschiedliche Frequenzen zugeordnet. Der Digitalwert »0« wird mit der Trägerfrequenz »f1« getastet, der Digitalwert »1« mit der Trägerfrequenz »f2«. Das heißt, dass je nach Zustand des Nutzsignals (»1« oder »0«) eine andere Frequenz gesendet wird. Bei dieser Modulationsart wird zwischen zwei Frequenzen umgeschaltet. Die Amplitude der Trägerfrequenzen ist dabei konstant.

Umtastverfahren: ASK, FSK, PSK

**Phasenumtastung (PSK):** Bei der Phasenumtastung werden den beiden digitalen Zuständen »0« und »1« zwei Phasenlagen der Trägerfrequenz zugeordnet, beispielsweise  $0^\circ$  für das Signal mit dem Zustand »0« und  $180^\circ$  für das Signal mit dem Zustand »1«. Bei der Phasenumtastung sind die Trägerfrequenz und die Amplitude konstant.

Bei den genannten Umtastverfahren wird eine Trägerschwingung mit nur zwei Kennzuständen moduliert. Dies führt zu einem relativ großen Bandbreitenbedarf und einer relativ geringen Datenrate. Um die Bandbreite besser zu nutzen und die Geschwindigkeit zu erhöhen, hat man diverse Verfahren entwickelt, in denen gleichzeitig verschiedene Phasenlagen verwendet und mehrere Umtastverfahren miteinander kombiniert werden. Ein Beispiel für eine Vierphasen-Umtastung ist *QPSK*, ein Beispiel für die Kombination aus Amplituden- und Phasenumtastung ist *QAM*. Alle bisher behandelten Modulationstechniken arbeiten mit einer Trägerfrequenz und werden daher auch als Ein-Träger-Modulation bezeichnet. Daneben gibt es Modulationsverfahren wie *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM), die mit mehreren Trägerfrequenzen arbeiten; diese nennt man Mehr-Träger-Modulationsverfahren.

**Modulator** (MOD, modulator) Ein Modulator (MOD) ist eine elektronische Baugruppe, die eine Trägerfrequenz mit einer Signalfrequenz moduliert. Je nach Modulationsverfahren ändert die Trägerfrequenz die Amplitude, die Frequenz oder die

Phasenlage im Rhythmus der aufmodulierten Signalfrequenz.

Modulatoren arbeiten bei der Mischung der Signale mit nichtlinearen Kennlinien und erzeugen beispielsweise bei der *Amplitudenmodulation* Frequenzprodukte, die sich aus der Addition und der Subtraktion der Trägerfrequenz mit der Modulationsfrequenz ergeben. Bei der *Modulation* von Frequenzbändern ergeben sich zwei Seitenbänder oberhalb und unterhalb der Trägerfrequenz, daher auch die Bezeichnung *Zweiseitenband* (ZSB).

## MSK, *minimum shift keying*

Das Minimum Shift Keying (MSK) ist ein digitales Umtastverfahren mit einer *Frequenzumtastung* (FSK) mit kontinuierlicher Phase. Bei der MSK-Modulation wird mit Bits moduliert, die zwischen den quaternären Symbolen alternieren, wobei das quaternäre Symbol in der Phasenlage um eine halbe Symboldauer verzögert ist. MSK ist eine Sonderform der Frequenzumtastung (FSK) und moduliert jedes Bit mit einer halben Sinusschwingung. Das MSK-Verfahren ist sehr bandbreiteneffizient, das Verhältnis von der Kreisfrequenz des Frequenzhubs zur Kreisfrequenz des Modulationssignals, der so genannte Modulationsindex, beträgt 0,5.

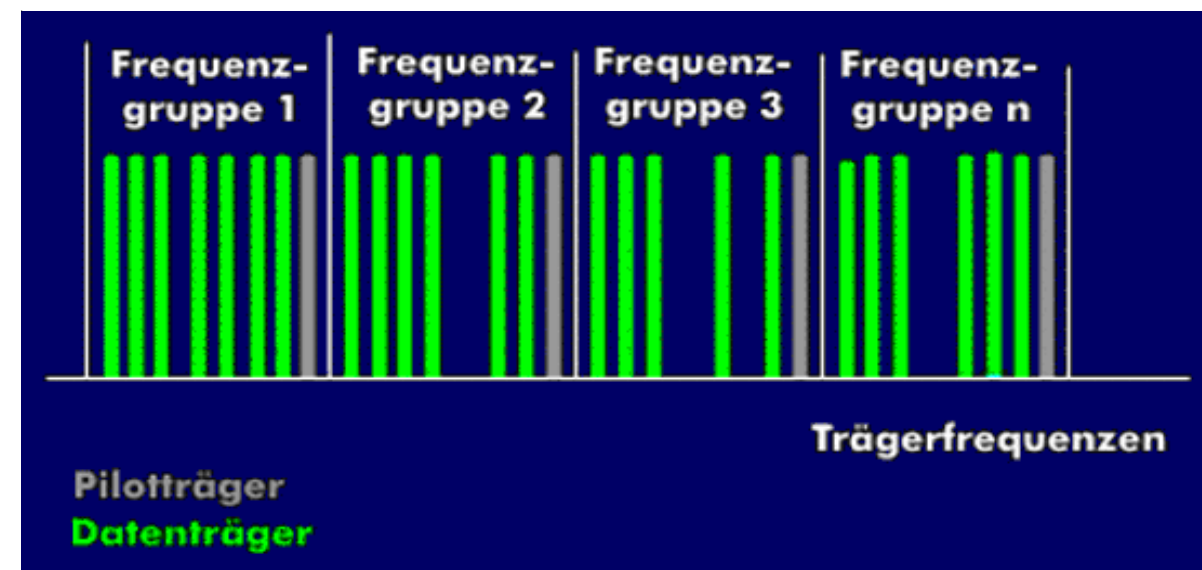
Die Bezeichnung Minimum Shift Keying impliziert, dass es sich um den geringst möglichen Frequenzabstand handelt, der eine orthogonale *Demodulation* zulässt.

## OFDM, *orthogonal frequency division multiplex*

Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) ist eine äußerst Bandbreiten-effiziente Funktechnik, die ein wesentlich geringeres Frequenzband benötigt als Frequenzmultiplex (FDM).

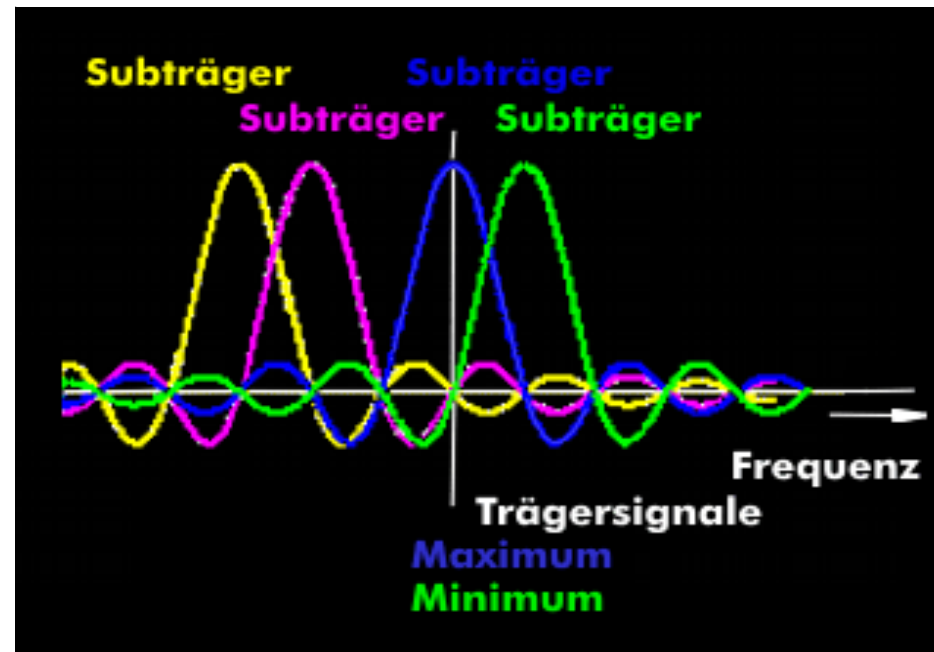
Beim orthogonalen Frequenzmultiplex (OFDM) handelt es sich um eine *Mehrträgermodulation*, bei der viele Subträger mit einer relativ geringen Datenrate moduliert werden. Die OFDM-Signale werden über eine inverse diskrete *Fourier-Transformationen* (IDFT) erzeugt. Die Besonderheit von OFDM liegt darin, dass die Frequenzen der einzelnen Subträger präzise aus der Symbolrate bestimmt werden, und zwar so, dass ein Subträger dann seine maximale Modulationsamplitude erreicht, wenn alle anderen Subträger einen Nulldurchgang haben. Die Blocklänge der IDFT entspricht dabei der Zahl der Subträger.

Die IDFT setzt voraus, dass alle Subträgerfrequenzen orthogonal zueinander stehen. Jeder dieser Subträger



*OFDM mit Pilotträgern und modulierten Unterträgern*

wird mit einem Teil der Daten moduliert. Da auf einem Subträger dadurch nur wenige Daten übertragen werden, ergeben sich lange Symbolraten. Diese sind unempfindlicher gegen Störungen und Echos als andere *Modulationsverfahren* und bieten daher besondere Vorteile bei stark beeinträchtigter terrestrischer Übertragung. Verzerrungen durch Reflektionen und Laufzeitunterschiede, wie sie bei



Unterträger in orthogonaler Zuordnung

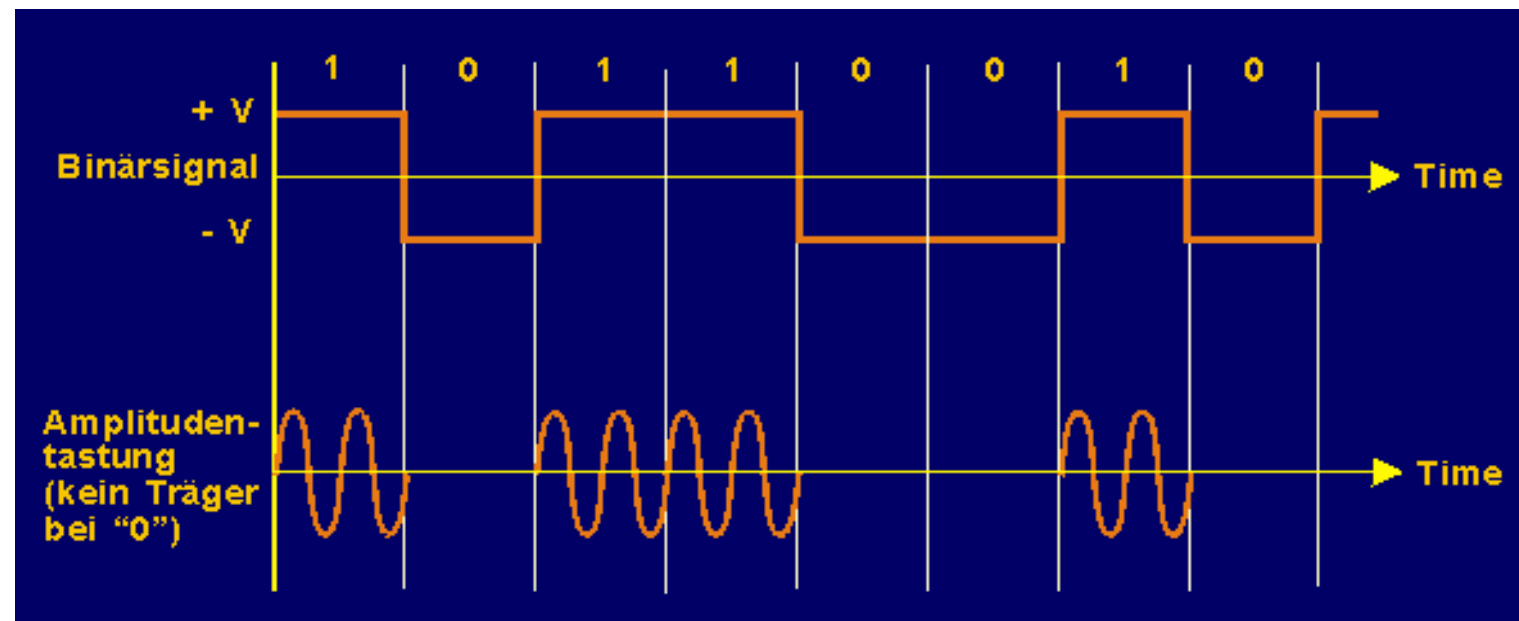
breitbandiger Übertragung als Verzögerungsstreuung auftreten, werden vermieden. Darüber hinaus benötigt diese Technik ein schmaleres Frequenzband als andere Mehrträger-Techniken, da zwischen den einzelnen Subträgerbändern kein Sicherheits-Frequenzband benötigt wird.

Soll also beispielsweise ein 1-Mbit/s-Signal mittels OFDM über zehn Trägerfrequenzen, die jeweils mit 100 kbit/s moduliert werden, übertragen werden, dann ist der optimale Abstand der Trägerfrequenzen 100 kHz.

OFDM wird u.a. in terrestrischem Digital-TV (DVB-T), in Digitalaudio-Broadcast (DAB) und DRM-Radio eingesetzt, ebenso in WLANs nach IEEE

802.11a, bei Long Term Evolution (LTE) und in HiperLAN. In WiMAX wird OFDM mit der MIMO-Technik kombiniert und erreicht spektrale Effizienzwerte von bis zu 8 bit/s/Hz.

OOK, on off keying  
(On-Off-Umtastung)



Trägerumtastung im OOK-Verfahren

Das On-Off-Keying (OOK) ist eine Trägerumtastung, bei dem das Trägersignal ein- und ausgeschaltet wird. Beim On-Off-Keying handelt es sich dabei um die einfachste Form einer

Amplituden-UMTASTUNG. Ist eine Trägerfrequenz vorhanden, entspricht das einer digitalen "1", ist keine vorhanden, handelt es sich um eine digitale "0".

Das On-Off-Keying ist nicht sehr effizient hinsichtlich des Frequenzspektrums und kann nicht zwischen "Nullen" und Unterbrechungen unterscheiden. Eingesetzt wird es in der Morsetechnik, in der optischen Übertragungstechnik und in einigen WPAN-Techniken im 2,4-GHz-Band.

## MODULATION UMTASTUNG

**OQPSK**, *offset quadrature phase shift keying*

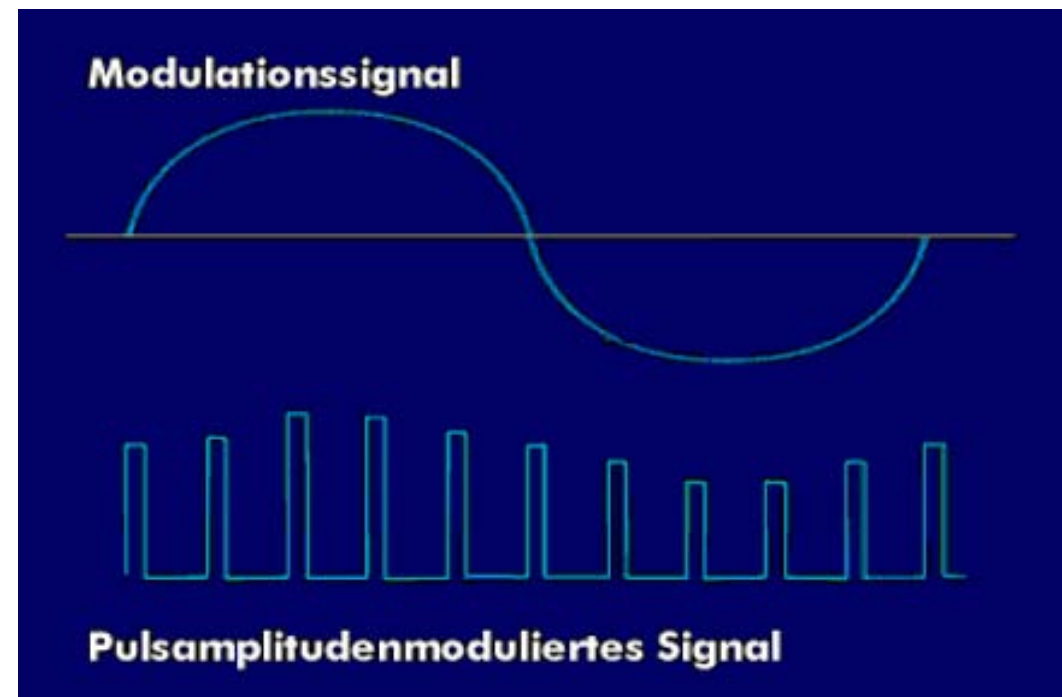
OQPSK (*Offset Quadrature Phase Shift Keying*) ist eine Sonderform der Quadraturphasen-modulation (QAM), bei der zwischen der Bezugsphase und dem Quadraturbitstrom ein Versatz von einem Bit besteht. Diese Modulationstechnik wird bei ZigBee bzw. 802.15.4 im 2,4-GHz-Bereich angewendet. Die OQPSK-Modulation ist ähnlich dem *Minimum Shift Keying* (MSK).

**PAM**, *pulse amplitude modulation*  
(*Pulsamplitudenmodulation*)

Die Pulsamplitudenmodulation (PAM) ist eine *Pulsmodulation* (PM), bei der die Amplitude eines pulsförmigen Trägersignals entsprechend der Amplitude der primären Zeichenschwingung (Modulationssignal) verändert wird. Bei der Pulsamplitudenmodulation wird das Nachrichtensignal entsprechend dem Abtasttheorem durch Pulse abgetastet. Diese amplitudenvariablen Pulse werden übertragen und beim Empfänger in ein analoges Signal rückgewandelt.

Das Trägersignal ist bei dieser Modulationsart pulsförmig, das Modulationssignal analog.

Die Pulsamplitudenmodulation wird u.a. in 10-Gigabit-Ethernet eingesetzt und zwar für die Version mit symmetrischen Kupferkabeln 10GBase-T. Es bieten sich hierfür PAM8 und PAM12 an. PAM8 arbeitet mit



1000M Symbolen, PAM12 mit 825 M. Da PAM8 das zu sampelnde Signal mit acht verschiedenen Pegelwerten überträgt, ist der Unterschied zwischen den Pegelwerten höher. Die Pulsamplitudenmodulation (PAM) ist eine *Pulsmodulation* (PM), bei der die Amplitude eines pulsförmigen Trägersignals entsprechend der Amplitude der primären Zeichenschwingung (Modulationssignal) verändert wird. Bei der Pulsamplitudenmodulation wird das Nachrichtensignal entsprechend dem Abtasttheorem durch Pulse abgetastet. Diese amplitudenvariablen Pulse werden übertragen und beim Empfänger in ein analoges Signal rückgewandelt.

*Prinzip der  
Pulsamplitudenmodulation (PAM)*

Das Trägersignal ist bei dieser Modulationsart pulsförmig, das Modulationssignal analog.

Die Pulsamplitudenmodulation wird u.a. in 10-Gigabit-Ethernet eingesetzt und zwar für die Version mit symmetrischen Kupferkabeln 10GBase-T. Es bieten sich hierfür PAM8 und PAM12 an. PAM8 arbeitet mit 1000M Symbolen, PAM12 mit 825 M. Da PAM8 das zu sampelnde Signal mit acht verschiedenen Pegelwerten überträgt, ist der Unterschied zwischen den Pegelwerten höher.

**PCM**, *pulse code modulation*  
(*Pulscodemodulation*)

Die Pulscodemodulation (PCM) ist eine häufig benutzte digitale Darstellung für analoge Audiosignale. Diese Modulationsart hat die ITU unter der ITU-Empfehlung G.711 für die Digitalisierung von Sprache standardisiert. Bei der Pulscodemodulation werden zeitdiskrete analoge Signale durch Quantisierung in zeit- und wertdiskrete Binärsignale umgewandelt und den quantisierten Werten werden Codewörter definierter Länge

zugeordnet. Die analogen Signale werden bei jeder Abtastperiode gesampelt und der Amplitudenwert wird digitalisiert. Er steht je nach Quantisierung als n-stelliges Bitsequenz zur Verfügung.

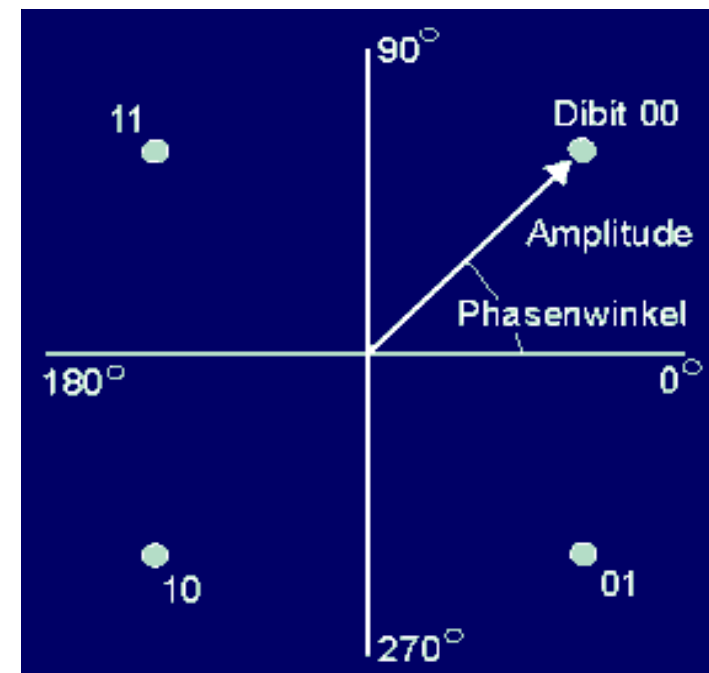
In der Sprachübertragung wird die PCM-Technik benutzt, um ein analoges Sprachsignal, basierend auf dem Abtasttheorem nach Nyquist, in ein Digitalsignal umzuwandeln. Dazu wird das Analogsignal 8.000-mal pro Sekunde abgetastet und in eine 8-Bit-Wertigkeit gewandelt, sodass alle 125  $\mu$ s ein Abtastwert entsteht. Die resultierende Übertragungsgeschwindigkeit beträgt 64 kbit/s, die übertragbare Sprachfrequenz 4 kHz.

Zur Dynamisierung der Sprache hat die ITU in G.711 zwei Verfahren zur Dynamikkompression definiert: das  $\mu$ -Law-Verfahren und das A-Law-Verfahren.

**PDM**, *pulse duration modulation*  
(Pulsdauermodulation)

Die Pulsdauermodulation (*PDM*) ist ein *Modulationsverfahren*, bei dem sich die zu übertragende Information in der Dauer der Impulse befindet. Bei diesem Modulationsverfahren, das als *Pulsweitenmodulation* (*PWM*) bekannt ist, wird ein zeitabhängiger Parameter des Pulses im Rhythmus des Modulationssignals verändert. Dabei wird unterschieden, ob Impulsanfang, Impulsmitte oder Impulsende als Referenz benutzt werden.

**PDM**, *phase difference modulation*  
(Phasendifferenzmodulation)



Die Phasendifferenzmodulation (*PDM*) ist eine besondere Form der *Phasenmodulation* (*PM*), bei der die Phasendifferenz zwischen zwei aufeinander folgenden Wechselstromsignalen verschlüsselt übertragen werden. Bei diesem Verfahren werden mehrere Binärzeichen zu einem Wechselstromsignal zusammengefasst. Als Beispiele seien V.26 mit einer Zwei-Bit-Übertragung und V.27 mit einer Drei-Bit-Übertragung genannt. Bei V.26 werden 2 Bits zu den Dibits 00, 01, 11 und 10 zusammengefasst und mit quarternären Signalen übertragen, die sich durch die Phasendifferenzen 45 Grad, 135 Grad, 225 Grad und 315 Grad unterscheiden.

Bei V.27 werden 3 Bits zu den Tribits 000, 001, 010, 011, 111, 110, 100 und 101 zusammengefasst und in oktonären Signalen übertragen, die sich in den Gradzahlen 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 und 315 unterscheiden.

Phasensterne für QPSK

**PFM**, *pulse frequency modulation*  
(Pulsfrequenzmodulation)

Bei der Pulsfrequenzmodulation (*PFM*) wird die Pulsfrequenz moduliert und bildet das modulierte Trägersignal.

Die Pulsfrequenzmodulation wird u.a. in optischen Sendern eingesetzt. Bei dieser Technik ändert sich die Pulsrate in Abhängigkeit vom Modulationssignal. Moduliert man mit einem Digitalsignal, dann springt die Pulsfrequenz in Abhängigkeit von dem logische Zustand zwischen zwei Pulsfrequenzen.

**PM**, *phase modulation*

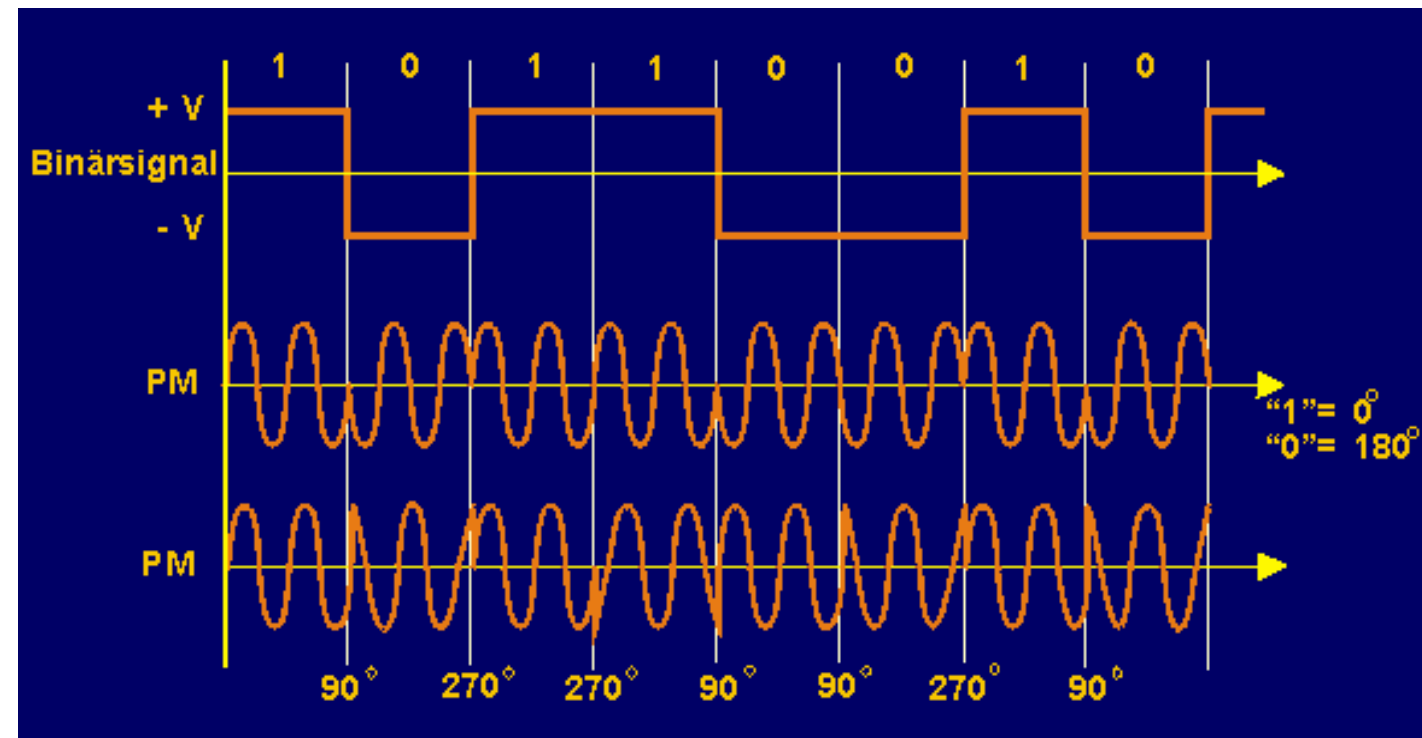
Die Phasenmodulation (*PM*) ist eine Winkelmodulation einer Trägerschwingung, bei der der Phasenwinkel der modulierten Schwingung von dem der Trägerschwingung um einen Betrag abweicht, der proportional zur primären Zeichenschwingung ist. Dieser Abweichungsbetrag wird mit Phasensprung bezeichnet.

Bei der Phasenmodulation unterscheidet man zwischen der Phasenzustandsmodulation und der *Phasendifferenzmodulation*. Erstere ordnet einer bestimmten Binärzahl eine feste Phasenlage zu, z.B. entspricht binär "0" 90 Grad Phasenlage und binär "1" 270 Grad.

Bei der Phasendifferenzmodulation, die wegen der Störanfälligkeit der Phasenmodulation fast ausschließlich angewendet wird, werden die Binärzeichen durch die Phasendifferenz von zwei aufeinander folgenden Wechselstromimpulsen verschlüsselt. Bei diesem Verfahren werden mehrere Binärzeichen zu einem Wechselstromsignal zusammengefasst und übertragen.

Die Phasenmodulation wird in der Datenübertragungstechnik mit Modems in Form einer *Phasenumtastung* eingesetzt.

**PSK, phase shift keying**  
(Phasenumtastung)



*Phasenumtastung mit  
fester Phasenlage*

Bei der Phasenumtastung (PSK) handelt es sich um eine *Phasenmodulation* für digitale Signale. Bei diesem Verfahren hat das Signal eine konstante Frequenz und eine konstante Amplitude. Die Phasenlage des Trägersignals ändert sich sprunghaft im Rhythmus des digitalen Modulationssignals.

Bei einer zweiwertigen Phasenumtastung wird dem Digitalwert »0« eine Phasenlage zugeordnet, beispielsweise 0 Grad, und der digitalen »1« die zweite Phasenlage von 180 Grad. Da die Übertragungsgeschwindigkeit bei einer Umtastung zwischen zwei Zuständen relativ gering ist, gleichzeitig aber eine bestimmte Bandbreite genutzt wird, hat man Verfahren entwickelt, bei denen mehrere Phasenwinkel zur Umtastung verwendet werden, beispielsweise das *QPSK*-Verfahren.

Darüber hinaus kombiniert man die Phasenumtastung mit der *Amplitudenumtastung* um eine weitere Erhöhung der Übertragungsgeschwindigkeit bei gleicher Bandbreite zu erreichen. Dieses Verfahren heißt *QAM*. Anstelle der einzelnen Bits fügt man die Bits in Gruppen von Dibits oder Tribits (4-PSK, 8-PSK) oder mehr Bits zusammen und tastet die *Trägerfrequenz* in einem bestimmten Phasenwinkel mit einer bestimmten Amplitude.

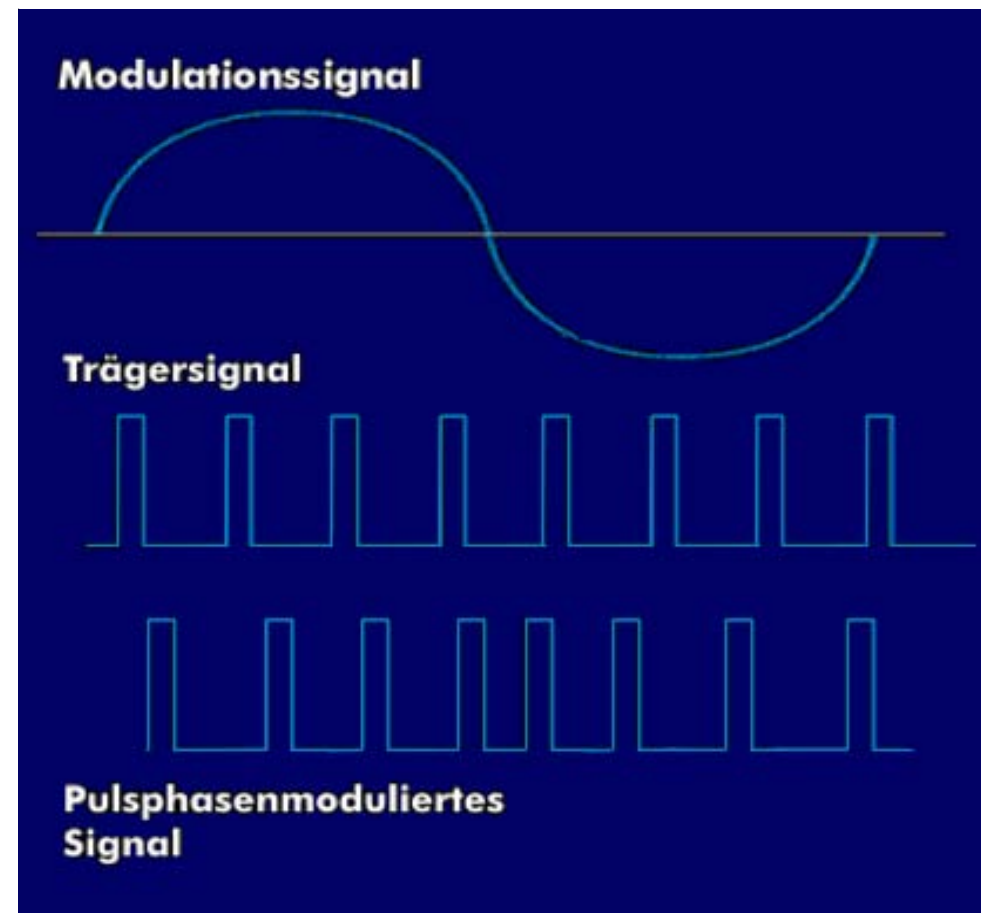
Das *QAM*-Verfahren, mit dem höchste Übertragungsraten erzielt werden, wird u.a. bei der Übertragung in Modems eingesetzt.

# MODULATION UMTASTUNG

**PPM, pulse phase modulation**  
(Pulsphasenmodulation)

*Pulsphasenmodulation*

**Pulsmodulation**  
(pulse modulation)



Die Pulsphasenmodulation (*PPM*) ist eine weitere Variante der *Pulsmodulation (PM)*. Bei diesem *Modulationsverfahren* hat der Puls eine konstante Pulsamplitude und -breite, es ändert sich der Phasenbezug des Pulses zum Trägersignal.

Bei positivem Modulationssignal eilt das modulierte Pulssignal dem Trägersignal voraus, bei negativer läuft es dem Trägersignal nach.

Pulsmodulationsverfahren entsprechen im wesentlichen der klassischen *Modulation* mit dem Unterschied, dass das Trägersignal kein Sinussignal ist, sondern ein Impuls- oder Rechtecksignal.

Bei einem Impuls lassen sich dessen Breite, Dauer, Amplitude, Phase und Frequenz modulieren. Dementsprechend heißen die Pulsmodulationsverfahren *Pulsweitenmodulation, Pulsdauermodulation, Pulsamplitudenmodulation,*

*Pulsphasenmodulation* und *Pulsfrequenzmodulation*. Neben den genannten Grundverfahren gibt es noch einige kombinierte Verfahren.

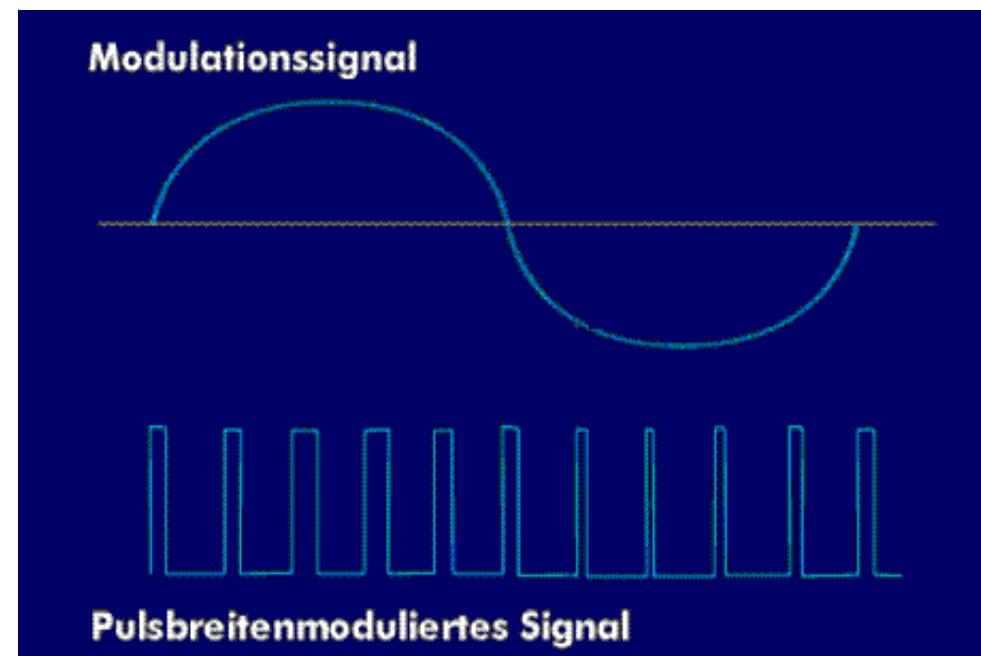
Da Pulsmodulationsverfahren mit einem impulsförmiges Trägersignal arbeiten, wird das Spektralverhalten

durch dessen *Fourier-Transformation* bestimmt. Das bedeutet, dass sich in der frequenzmäßigen Darstellung neben der Grundwelle viele Oberwellen bilden. Wird ein solches Trägersignal mit einer Modulationsspektrum amplitudenmoduliert, dann werden die Grundwelle und alle Oberwellen mit dem Modulationsspektrum moduliert.

Bei der Pulsweitenmodulation (*PWM*) wird ein Rechtecksignal in seiner Pulsweite moduliert, die Pulsfrequenz bleibt konstant. Dadurch ändert sich das Tastverhältnis im Rhythmus der Modulationsfrequenz.

**PWM, pulse width modulation**  
(Pulsweitenmodulation)

*Pulsweitenmodulation*

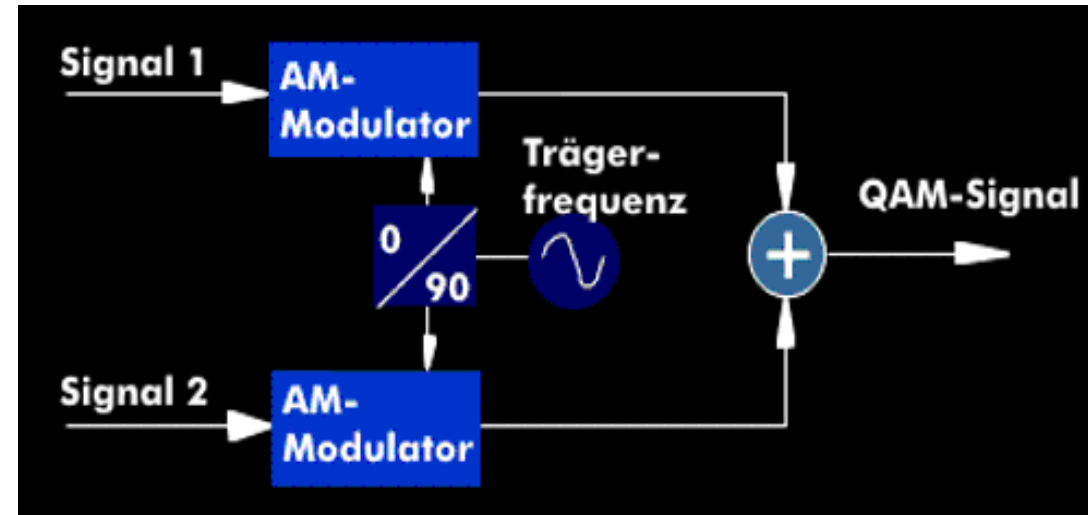


Diese Modulationsart wird auch als Pulslängen- oder *Pulsdauermodulation* bezeichnet und u.a. in D/A-Wandlern, der Telemetrie, der Leistungselektronik zur Steuerung von Elektromotoren und Dimmern und auch in optischen Sendern eingesetzt. Bei diesen repräsentiert beispielsweise ein breiter Lichtimpuls eine logische "1", ein schmaler Lichtimpuls eine logische "0". Der Lichtpegel ist bei beiden logische Zuständen gleich.

Bei der D/A-Wandlung wird die Pulsbreite und damit das Tastverhältnis durch den Digitalwert bestimmt. Der Mittelwert des Tastverhältnisses entspricht der analogen Ausgangsspannung.

**QAM, quadrature amplitude modulation**  
(Quadraturamplitudenmodulation)

Prinzip der QAM-Modulation



Quadraturamplitudenmodulation (QAM) ist ein *Modulationsverfahren* für hohe Übertragungsdichte, bei dem die *Amplitudenmodulation* und die *Phasenmodulation* miteinander kombiniert werden. Die *QAM-Modulation* hat eine höhere Effektivität als die Amplitudenmodulation, weil das Signal sowohl in der Amplitude als auch in der Phasenlage moduliert wird.

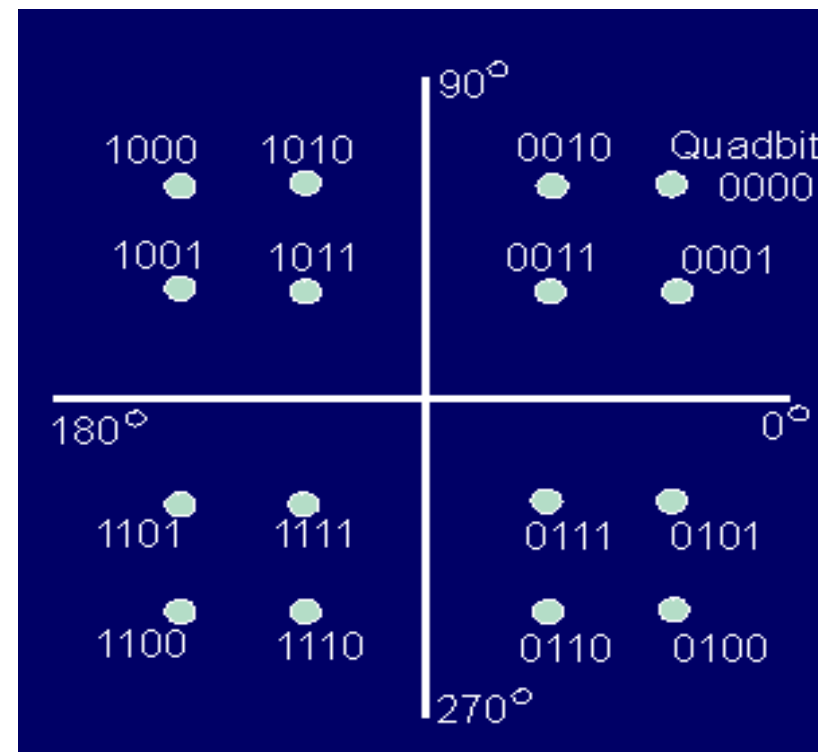
Bei der Quadraturamplitudenmodulation werden zwei Trägersignale mit gleicher

Trägerfrequenz eingesetzt, die in ihrer Phasenlage um 90° versetzt sind. Die beiden Trägersignale werden mit zwei unterschiedlichen Signalen amplitudenmoduliert und anschließend zusammengeführt. Das bedeutet

auch, dass bei der *Demodulation* eines QAM-Signals der Träger mit zwei um 90° versetzten Phasenlagen wieder zugeführt werden muss.

In verschiedenen QAM-Verfahren werden Bits in Gruppen zu 4, 8, 16, 32 oder 64 zusammengefasst und mit vier verschiedenen Amplituden in zwölf Phasenlagen moduliert.

Alle ITU-TS-Empfehlungen für Hochgeschwindigkeitsmodems wie V.32, V.terbo oder V.34 verwenden QAM in verschiedenen Varianten, beginnend bei 8QAM über 16QAM und 64QAM bis zu 256QAM. Bei 8QAM werden beispielsweise zwei unterschiedliche Amplituden in vier Phasenlage moduliert. Bei hohen Bitgruppen verringern sich die Pegel- und Phasenwinkel der einzelnen Bitgruppen zueinander, was zu einer erhöhten Störanfälligkeit der QAM-Modulation führt.



Phasenstern für 16QAM

## MODULATION UMTASTUNG

**QPSK, quadrature phase shift keying (Quadratur-Phasenumtastung)**

Bei der *Quadratur-Phasenumtastung* (QPSK) werden vier diskrete Phasenlagen für die Umtastung verwendet. Das Digitalsignal wird in den vier Phasenlagen von 45 Grad, 135 Grad, 225 Grad und 315 Grad umgetastet.

Jeder Phasenzustand repräsentiert zwei zusammengefasste Bits, ein so genanntes Dibit. Mit dieser Vierphasen-Umtastung wird die Übertragungsgeschwindigkeit gegenüber der Zweiphasen-Umtastung verdoppelt.

Die QPSK-Technik wird in Kabelmodems für das Upstream vom Benutzer zum Provider eingesetzt.

**Restseitenband, RSB**  
(VSB, vestigial sideband)



Die Restseitenbandmodulation ist ein *Modulationsverfahren* bei dem ein Seitenband mit voller Bandbreite durchmoduliert wird, das andere hingegen in der Bandbreite stark reduziert übertragen wird.

Das Restseitenbandverfahren dient wie die Einseitenbandübertragung der effizienteren Nutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzbereichs. Mit diesem Verfahren werden tiefe

VSB-Modulation mit reduziertem Seitenband

Übertragungsfrequenzen effizienter übertragen als bei reiner *Einseitenbandmodulation*, da hierbei die tieferen Frequenzen nur stark gedämpft übertragen werden.

Die ATSC hat für digitales, terrestrisches Broadcasting (DVB-T) Vestigial Sideband (VSB) spezifiziert und zwar in der Version 8-VSB. Bei diesem Verfahren werden acht Phasen verwendet, die mit drei Bit codiert und schließlich noch auf zwei Bit reduziert werden. Die daraus resultierende Datenrate des Payloads liegt bei 19,28 Mbit/s für ein 6-MHz-Frequenzband.

Für die Übertragung über Kabelverteilnetze und für reine Datenanwendungen sieht der ATSC-Standard die 16-VSB vor. Vestigial Sideband wird auch in optischen Netzen mit Wellenlängenmultiplex (WDM) zur besseren Ausnutzung der Wellenlängen eingesetzt.

**Zweiseitenband, ZSB**  
(DSB, double side band)

Bei der *Amplitudenmodulation* wird ein Trägersignal mit einer Modulationssignal oder einem Frequenzband gemischt. Technisch erfolgt die Mischung an einer nichtlinearen Kennlinie. Bei der Mischung entstehen unterhalb und oberhalb der *Trägerfrequenz* zwei Frequenzbänder, die die gleiche Information enthalten. Diese beiden Frequenzbänder werden als untere und obere Seitenbänder bezeichnet. Daher der Name Zweiseitenbandmodulation (ZSB).

Das Beispiel zeigt ein Frequenzband von 2 kHz bis 20 kHz, das auf eine Trägerfrequenz von 1 MHz aufmoduliert wird. Das untere Seitenband liegt bei 980 kHz bis 998 kHz, das obere zwischen 1,002 MHz und 1.020 MHz, dazwischen liegt das Trägersignal mit 1 MHz.

Filtert man ein Seitenband aus, erhält man eine *Einseitenbandmodulation*.