

ITWissen



Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

MODULATION

KLAUS LIPINSKI (Hrsg.)

Inhalt

ADDDPCM, *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*
ASK, *amplitude shift keying*
BPSK, *binary phase shift keying*
C/I, *carrier to interference ratio*
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*
DM, *delta modulation*
DMSK, *differential minimum shift keying*
DMT, *discrete multi tone*

DPCM, *differential pulse code modulation*
DPSK, *differential phase shift keying*
DQPSK, *differential quaternary phase shift keying*
ESB, *Einseitenband*
SSB, single side band
FFSK, *fast frequency shift keying*
FFT, *fast fourier transformation*
FHSS, *frequency hopping spread spectrum*
FMCW, *frequency modulated continuous wave*
Frequenzökonomie
FSK, *frequency shift keying*
GFSK, *gaussian frequency shift keying*
GMSK, *gaussian minimum shift keying*
IMD, *intermodulation distortion*
IFT, *inverse Fourier transformation*
Kreuzmodulation
MCP, *multi choice precoding*
MDMA, *multi dimensional multiple access*
MDPSK, *modified differential phase-shift keying*

Modulation
Modulationsgrad
Modulationsverfahren
Modulator
MSK, *minimum shift keying*
OFDM, *orthogonal frequency division multiplex*
OQPSK, *offset quadrature phase shift keying*
PAM, *pulse amplitude modulation*
Panda-Wegener-Verfahren
PCM, *pulse code modulation*
PDM, *phase difference modulation*
PM, *phase modulation*
PPM, *pulse phase modulation*
PSK, *phase shift keying*
PWM, *pulse width modulation*
QAM, *quadrature amplitude modulation*
QPSK, *quadrature phase shift keying*
Restseitenband, RSB
Seitenband
Seitenbandcodierung
Trägerfrequenz, TF
CW, carrier wave
XGM, *cross gain modulation*
Zweiseitenband, ZSB
DSB, double side band

Impressum:
Herausgeber: Klaus Lipinski
Copyright 2005
DATACOM-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg
Alle Rechte vorbehalten

MODULATION UMTASTUNG

ADDDPCM
*adaptive differential delta
pulse code modulation*

ADDDPCM ist eine *Delta-Pulscodemodulation* 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.

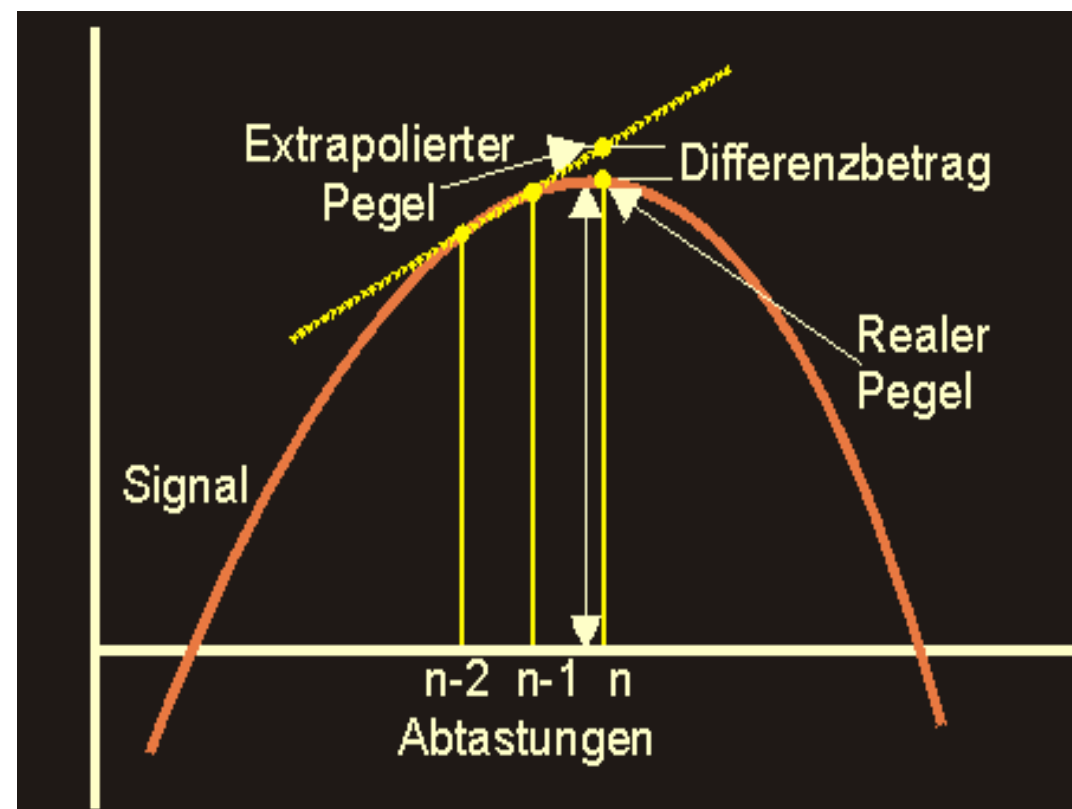
ADM
*Adaptive Deltamodulation
adaptive delta modulation*

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 A/D-Wandlern bietet. Im Gegensatz zur *Deltamodulation* passt sich bei dem ADM-Verfahren die Stufenhöhe adaptiv dem Signalverlauf an.

ADPCM
*Adaptive Delta-
Pulscodemodulation
adaptive delta pulse code
modulation*

Das ADPCM-Verfahren ist eine *Pulscodemodulation* mit einem Vorhersagemechanismus. Diese Prädiktion versucht die mögliche Signalform 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 *DPCM* möglich ist. Das verlustbehaftete Kompression ADPCM reduziert das Datenaufkommen von

Abtastung beim
ADPCM-Verfahren



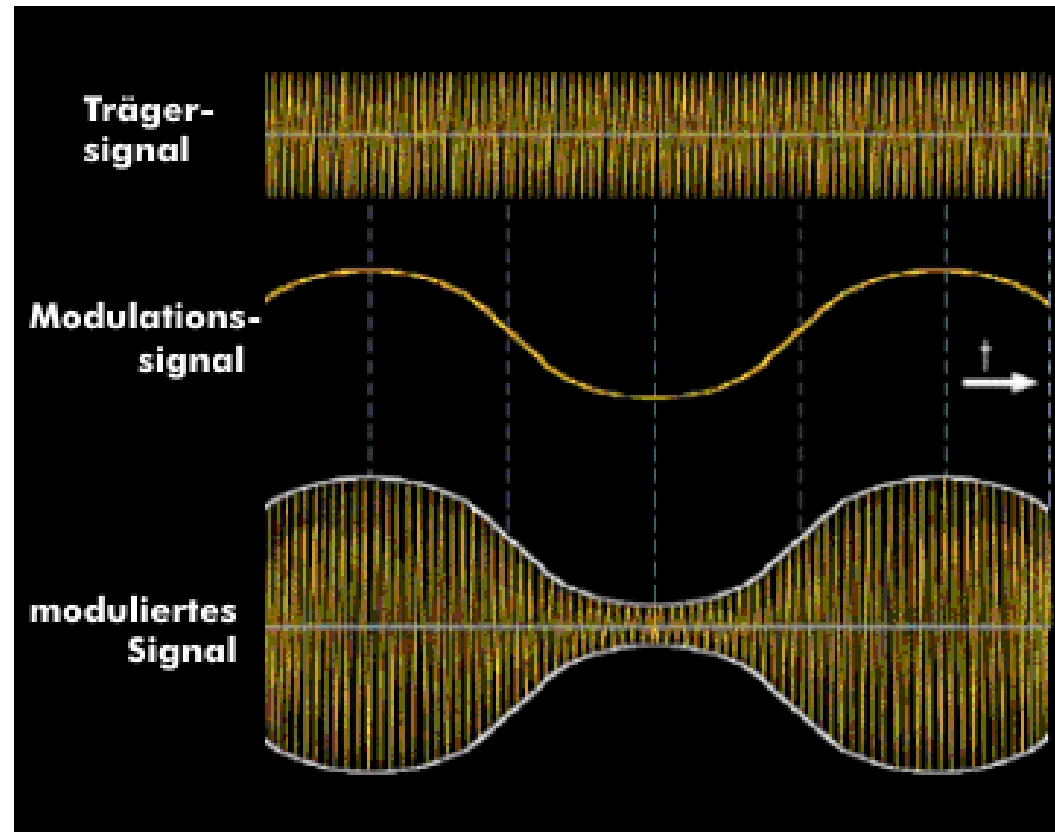
Sprache und Musik von 64 kbit/s um mindestens 50% auf 32 kbit/s. Das ADPCM-Verfahren wurde 1986 als ITU-Standard G.721 spezifiziert und benutzt eine Extrapolation zwischen zwei benachbarten Abtastwerten mit einer gewissen Unsicherheit in der Vorhersage des folgenden Abtastwertes. Dem Verfahren nach wird 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 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.

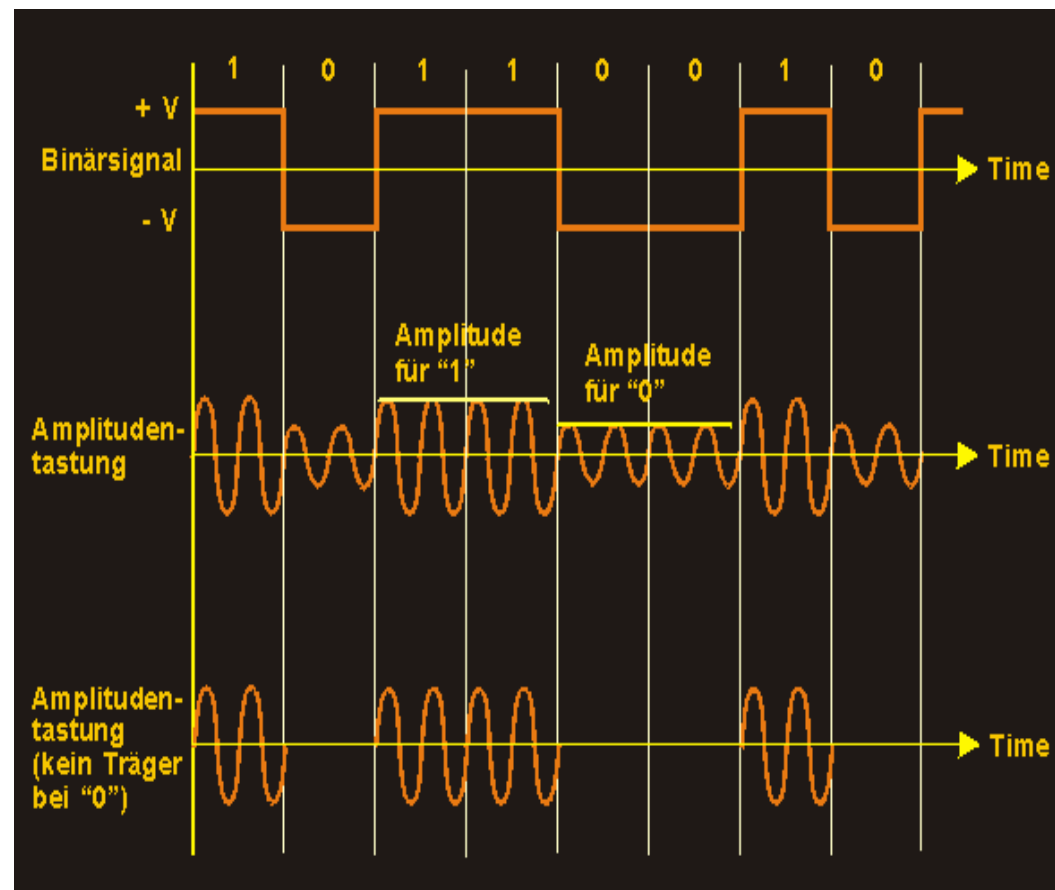
AM *Amplitudenmodulation* *amplitude modulation* Übertragungsmethode, bei der das Informationssignal auf einer Trägerwelle durch Variieren der Amplitude aufmoduliert werden. Die Amplitude der *Trägerfrequenz* ändert sich also in Abhängigkeit vom Pegel und der Frequenz des Modulationssignals. Frequenzmäßig gesehen bilden sich bei der Amplitudenmodulation neben der



Prinzip der
Amplitudenmodulation

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

AM-PSK
*amplitude modulation
phase shift keying*



Amplitude Modulation Phase Shift Keying ist eine Kombination von Amplitudenmodulation und diskreter *Phasenmodulation* zwecks Codierung mehrerer binärer Informationen in einem Signalelement der Trägerschwingung.

ASK
*Amplitudenumtastung
amplitude shift keying*
Prinzip der
Amplitudenumtastung

Bei der Amplitudenumtastung 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 Trägersignals 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.

BPSK *Zweiphasenumtastung*
binary phase shift keying Das BPSK-Verfahren ist eine *Phasenumtastung* mit zwei Phasenzuständen. Die *Trägerfrequenz* weist die zwei Phasenlagen 0° und 180° auf. Mit 8 BPSK können insgesamt 2^8 Codewörter generiert werden. Die Zweiphasenumtastung wird für die Datenübertragung in Kabelverteilnetzen eingesetzt. Sie ist nicht so effektiv wie QPSK oder 64QAM, aber weniger rauschanfällig.

C/I *carrier to interference ratio* Beim Verhältnis Trägersignal zu Interferenzsignal (C/I) handelt es sich um den Abstand des Nutzsignals zur Eigeninterferenz. Die Eigeninterferenz entsteht durch Reflexionen an Gebäuden und Bergen und in Gleichwellennetzen auch aus der Beeinflussung durch andere Trägersignale. Dabei spielt der Senderabstand eine wesentliche Rolle.

COFDM *COFDM-Modulation*
coded orthogonal frequency division multiplex Die COFDM-*Modulation* 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 DVB-T gegenüber den Laufzeitunterschieden wird bei COFDM durch die mehrfache, gleichzeitige orthogonale Ausstrahlung des gleichen Signals

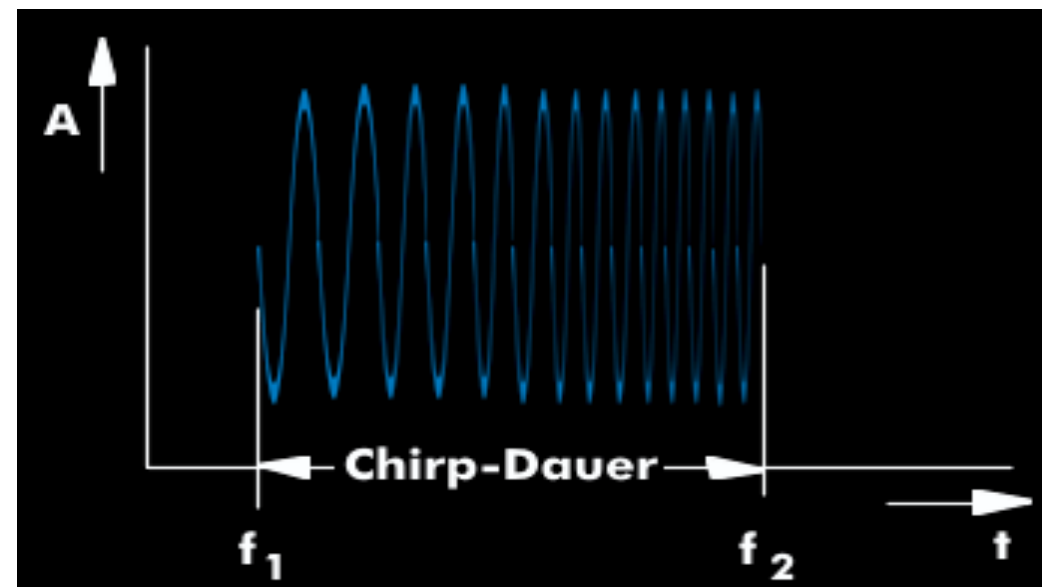
erreicht. Dabei wird das Signal gleichzeitig auf viele *Trägerfrequenzen* aufmoduliert. Das können bis zu 6.875 Einzelträger sein. Der Trägerabstand kann dabei bis auf 1 kHz reduziert werden. Durch die Orthogonalität, bei der immer ein Maximum der Spektralverteilung eines Senders mit dem Minimum der 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 ist eine Variante der *Frequenzumtastung*. Bei dem CPFSK-Verfahren wird im Unterschied zum FSK-Verfahren mit kontinuierlicher Phasenlage bei der Umtastung gearbeitet. Man benutzt beim CPFSK-Verfahren nur eine Grundschiwingung, die gezielt verstimmt wird. Die Phasenlage bleibt dadurch kontinuierlich.

CSS *chirp spread spectrum* Die CSS-Modulation wurde von Nanotron Technologies, Berlin, entwickelt und basiert auf dem so genannten Chirp-Impuls, einem gewobbelten Frequenzimpuls, der



innerhalb einer kurzen Zeitspanne ein bestimmtes Frequenzband durchläuft. Die Amplitude des Chirp-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

Chirp-Impuls mit gewobbelter Frequenz

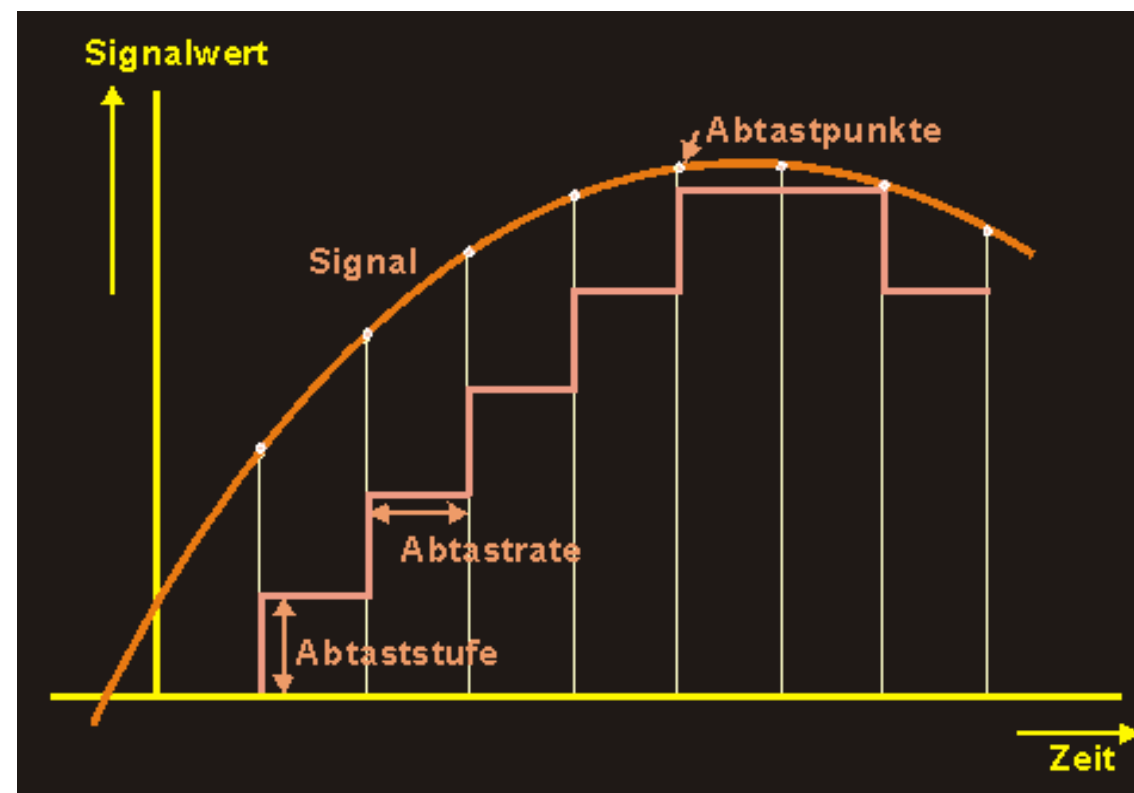
industriellen Einsatz im Bereich der Sensor-Aktor-Netzwerke, der Gebäudeautomation, bei RFID und der drahtlosen Multimediatechnik.

IEEE hat dies CSS-Modulation in den Standard 802.15 einbezogen, aus dem auch ZigBee hervorgegangen ist. Außerdem kommt die CSS-Modulation auch im NanoNet von Nanotron zum Einsatz. 802.15a und NanoNet nutzen 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 CVSD 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.

continuous variable slope delta modulation

DM
Deltamodulation
delta modulation



Die Deltamodulation 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

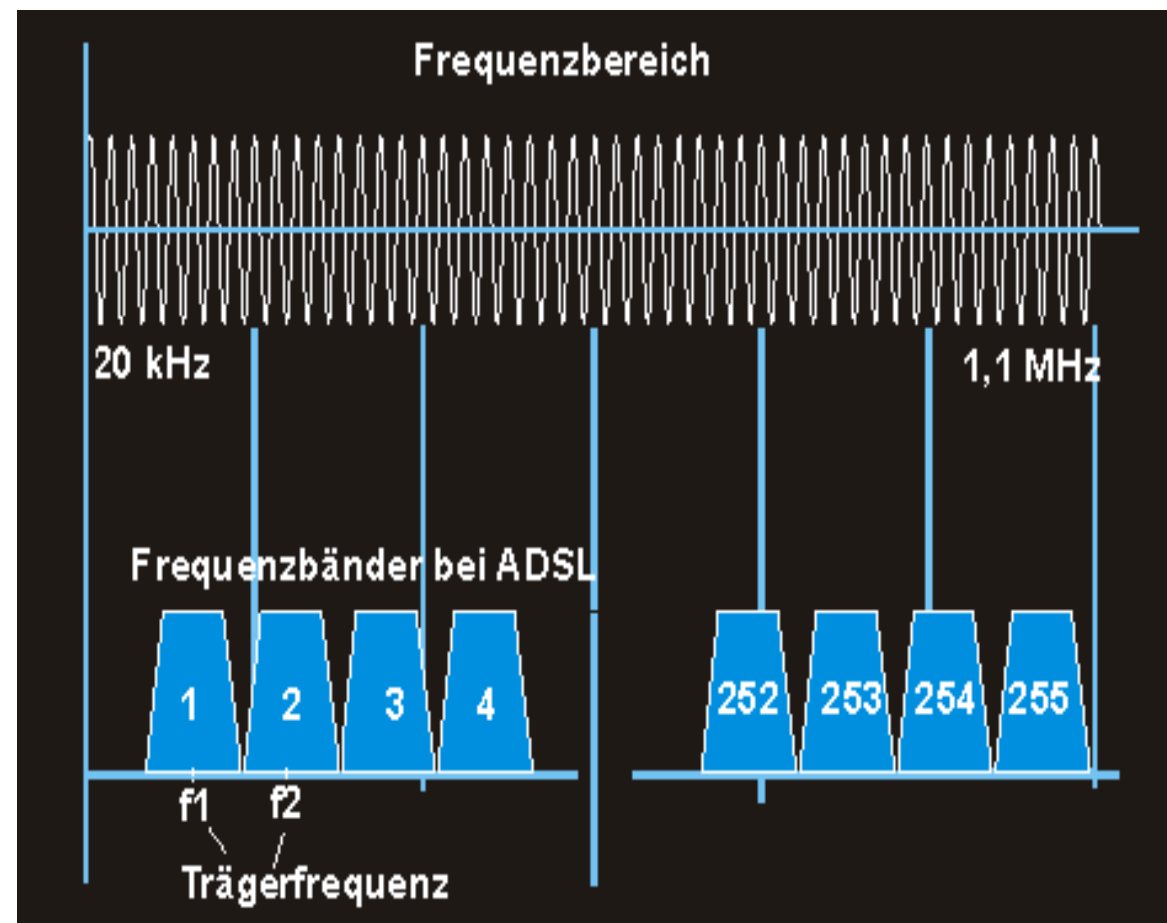
hohe Signaländerungen können durch eine Erhöhung der Abtastrate erfasst werden. Eine Anpassung der Stufenhöhe führt zu der adaptiven Deltamodulation (*ADM*).

DMSK
*differential minimum shift
keying*

Ein *Modulationsverfahren* bei dem relative Änderungen des Trägersignals entsprechend den übertragenen Daten codiert werden.

DMT
*Mehrtonverfahren
discrete multi tone*

Das Mehrtonverfahren ist ein digitales Übertragungsverfahren für die drahtgebundene Datenübertragung. Es wird u.a. bei ADSL eingesetzt und arbeitet im *Frequenzbereich* von 20 kHz bis zu 1,104 MHz. Bei diesem Mehrträgerverfahren wird der zur Verfügung stehende Frequenzbereich in eine Vielzahl schmaler *Frequenzbänder* zerlegt. In der Mitte jedes Frequenzbandes befindet sich die *Trägerfrequenz*. Bei ADSL wird der Frequenzbereich zwischen 20 kHz und 1,1 MHz in 255 Frequenzkanäle mit einer Bandbreite von jeweils 4,3125 kHz unterteilt. In 225 Frequenzkanälen werden Daten in den restlichen 30 Frequenzkanälen Steuerinformationen übertragen.



DMT baut in jedem der zur Verfügung stehenden Frequenzbänder eine eigene Datenverbindung auf, deren Datenrate abhängig ist von der Qualität der Verbindung. Bei guter Verbindung wird eine hohe Datenrate übertragen, bei geringerer Verbindungsqualität wird sie entsprechend reduziert. Das Verfahren orientiert sich an der Bitfehlerrate. Die Codierung der Daten erfolgt in 64QAM, was zu einer gesamten

DMT-Verfahren am
Beispiel von ADSL

Übertragungsgeschwindigkeit von 6 Mbit/s führt, die über normale Telefonkabel übertragen werden.

DPCM
*Differenzielle
Pulscodemodulation
differential pulse code
modulation*

Bei der differenziellen *Pulscodemodulation* (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* ebenfalls mit Prädiktion, passt aber das prädiktive Signal an das Eingangssignal an, wodurch eine bessere Vorhersage möglich ist.

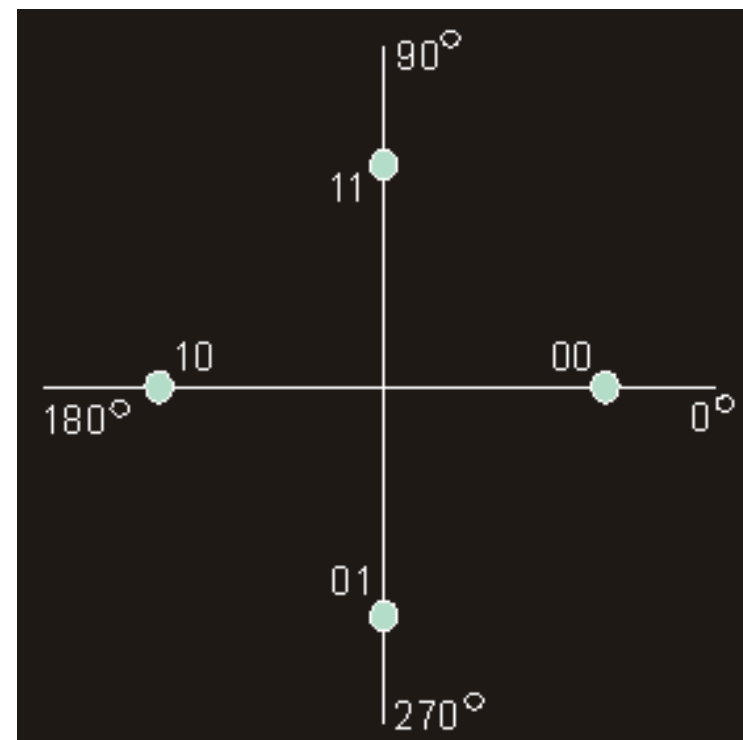
Das Verfahren wird in der Sprachdigitalisierung angewendet und hat den Vorteil, dass zur Codierung eines Abtastwertes wesentlich weniger Bits benötigt werden, was zu einer wesentlichen Datenreduzierung führt. Bei diesem Verfahren können bei großen Differenzen zwischen benachbarten Abtastwerten Fehler 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.

Die differenzielle *Phasenumtastung* (DPSK) ist eine *Modulation* speziell für die Datenübertragung, bei der die Daten durch Phasenwechsel der Trägerschwingung übertragen werden.

Phasenstern für die
DPSK-Modulation eines
Dibit



DPSK
*Differenzielle
Phasenumtastung
differential phase shift
keying*

Phasenstern für die
Modulation eines Dibit

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.

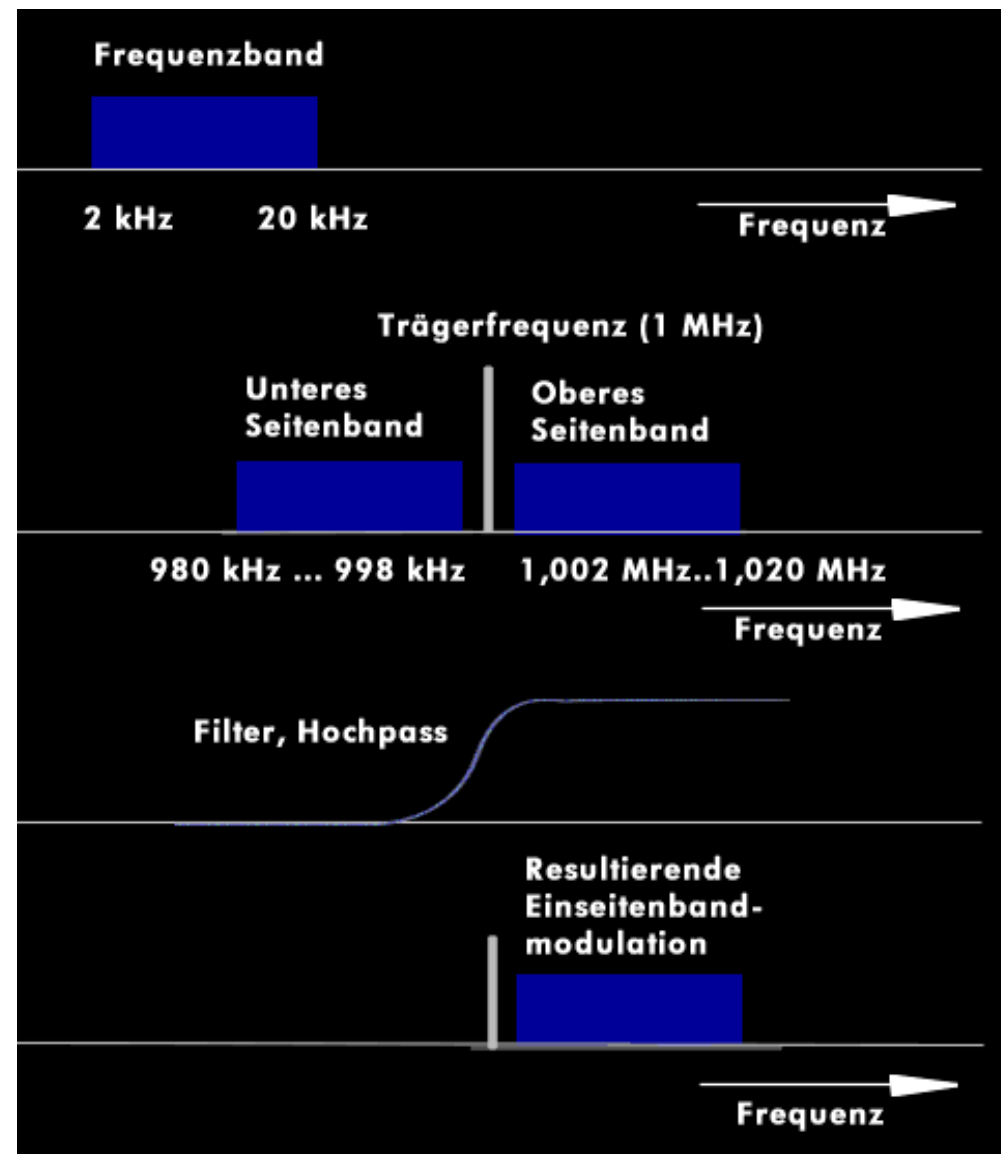
Bei der Codierung eines Dibits sind den vier Zuständen die Phasenlagen 0° für 00, 90° für 01, -90° für 10 und 180° für 11 zugeordnet.

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

DQPSK
*differential quaternary
phase shift keying*

Prinzip der
Einseitenbandmodulation

ESB
*Einseitenband
SSB, single side band*



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* eine dreifach höhere Übertragungsrate.

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 liegt die Trägerfrequenz. Der Informationsinhalt beider Seitenbänder ist identisch.

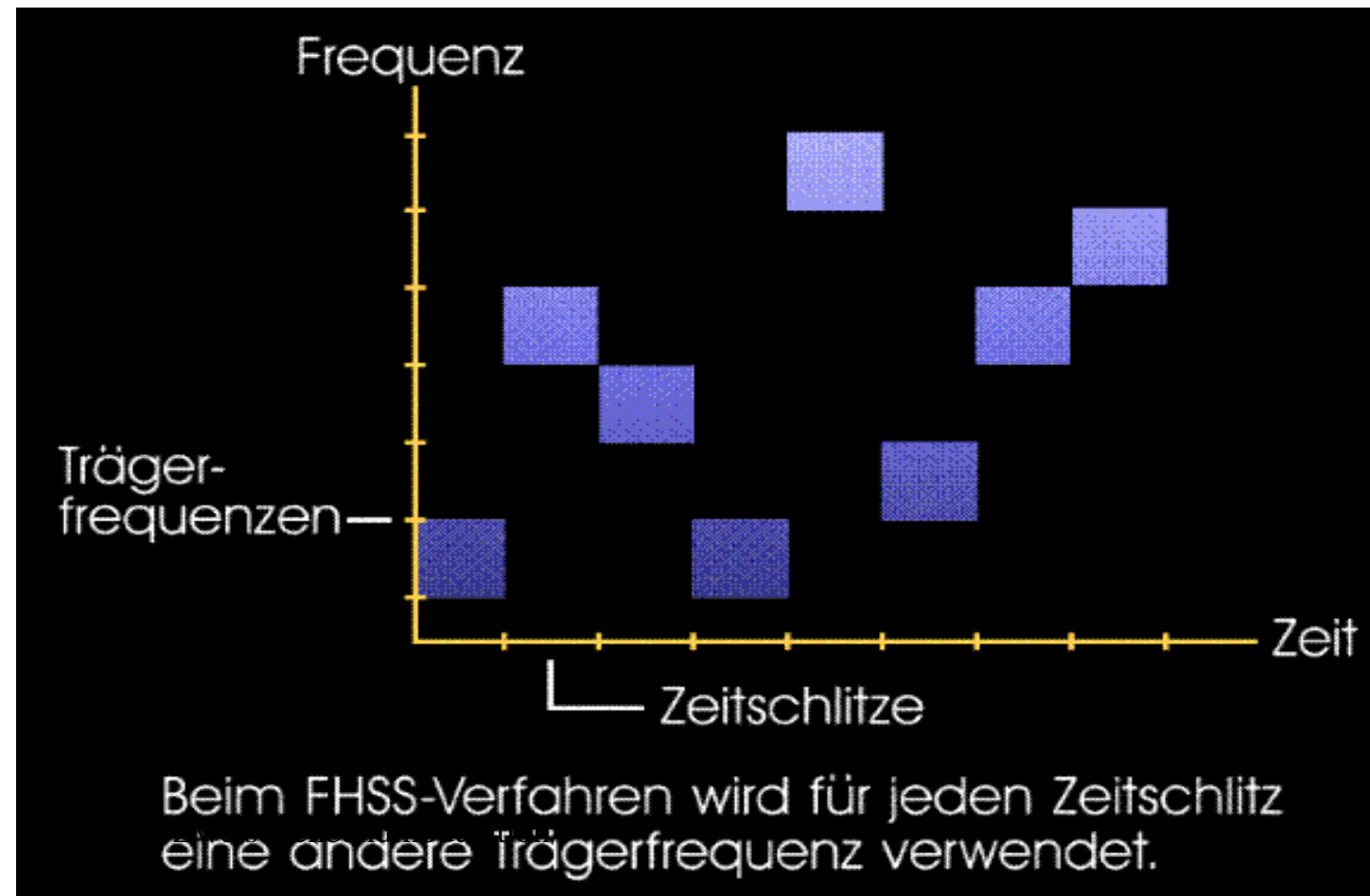
Um die begrenzten Frequenz-Ressourcen nicht unnötig zu nutzen, selektiert man einen der beiden Bänder über einen Filter. Es bleibt also nur ein Seitenband übrig. Das nennt man Einseitenbandmodulation.

FFSK Das FFSK-Verfahren ist eine Variante der *Frequenzumtastung*. Bei diesem Verfahren erfolgt die Umtastung von einer Frequenz auf die andere Frequenz immer im Nulldurchgang der Modulationsschwingung.
FFSK-Modulation
fast frequency shift keying

FFT 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.
FFT-Transformation
fast fourier transformation
In der Frequenzebene ist eine Analyse des Klangbildes möglich.

FHSS Das Frequency-Hopping-Verfahren ist ein Verfahren, das in der Mobilkommunikation eingesetzt wird und als Spread-Spectrum-Technik in WLANs. 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

Frequenz-Hopping-
Verfahren



nicht überlappende Frequenzsprungsequenzen 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) Frequenzsprung-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 Funk-LANs 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.

FMCW
FMCW-Modulation
frequency modulated
continuous wave

FMCW ist ein *Modulationsverfahren*, das in Fernbereich-Radars (LRR) in der Automotive-Technik benutzt wird. Fernbereich-Radar 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 entgegenkommende Fahrzeuge, rufen durch den Dopplereffekt Frequenzverschiebungen hervor, aus denen die Geschwindigkeit und Fahrtrichtung bestimmt werden kann.

Frequenzökonomie
frequency economy

Die Frequenzökonomie befasst sich mit der effektiven Nutzung der zur Verfügung stehenden Frequenzen für funktechnische Übertragungen. Da sich die Ressource Frequenz nicht vervielfältigen lässt, gleichzeitig aber der Nachrichteninhalt und die Anzahl der Medien, die die Funktechnik für die Nachrichtenübermittlung benutzen, rapide steigt, setzt die Frequenzökonomie auf Verfahren mit denen ein *Frequenzband* und der funktechnische Bereich besser ausgenutzt werden können.

Ein Blick zurück verdeutlicht die Problematik, mit der sich die Frequenzökonomie auseinandersetzt. In den Anfangsjahren der Funktechnik standen für die Nachrichtenübertragung Langwelle, Mittelwelle und Kurzwelle zur Verfügung. Später

erst, in den fünfziger Jahren, konnten höhere Frequenzen im *VHF-Bereich* für UKW-Rundfunk und Fernsehen genutzt werden. Aus Gründen der Frequenzökonomie überträgt man beispielsweise im Kurzwellenbereich relativ schmalbandig mit *Einseitenbandmodulation*.

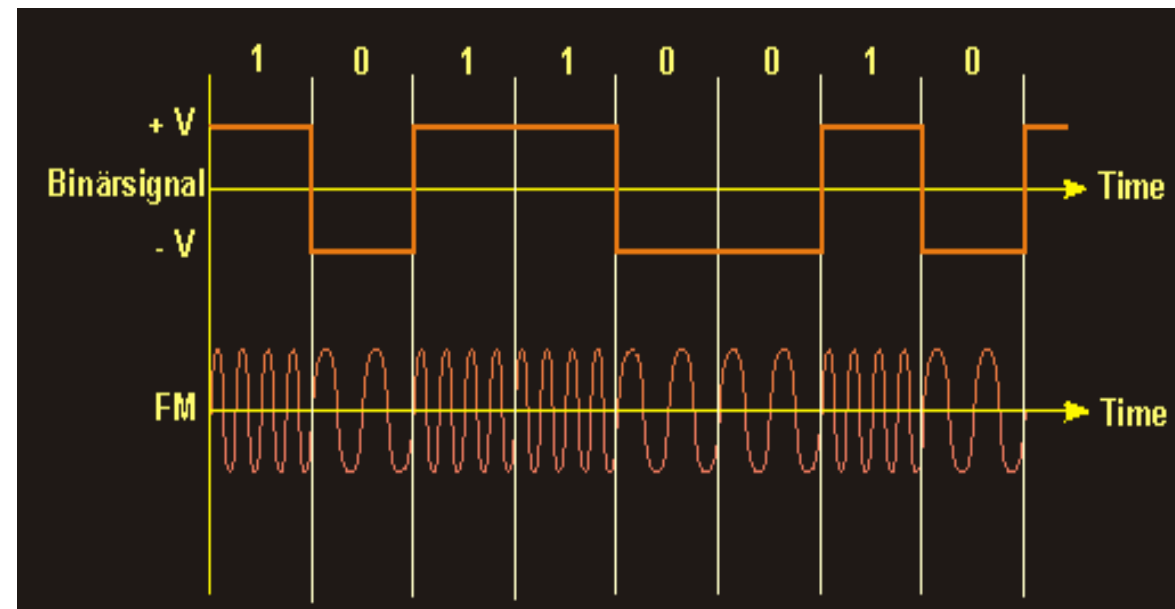
Betrachtet man dagegen ein Fernsehsignal, dann waren die Bilder in den Anfangsjahren schwarz-weiß. Würde ein Fernsehbild mit der theoretischen Auflösung übertragen, ergibt sich für das schwarz-weiße Fernsehbild ein Bandbreitenbedarf von 6,5 MHz, der sich aus 625 Zeilen x 833 Bildpunkten (3:4) x 25 Vollbilder errechnet. Bei *Amplitudenmodulation* würden sich zwei *Seitenbänder* ausbilden und das gesamte Frequenzband einen Umfang von 13 MHz annehmen. Das würde bedeuten, dass in dem Fernsehband III zwischen 174 MHz und 230 MHz nur vier Fernsehsender senden könnten. Hier setzt die Frequenzökonomie ein, indem das Fernsehsignal im oberen Seitenband mit voller Bandbreite, im unteren hingegen als *Restseitenbandmodulation* mit reduzierter Bandbreite übertragen wird. Darüber hinaus wird die Gesamtbandbreite für das Videosignal reduziert, so dass die Übertragung einen *Frequenzbereich* von 6 MHz benötigt. Der Ton, auch hier spielt die Frequenzökonomie eine wesentliche Rolle, wird innerhalb des Bildsignals frequenzmoduliert ohne dass es zu Interferenzen zwischen Bild und Ton kommt. Der Bandbreitenbedarf ist davon unbenommen. Gleiches gilt für die Einblendung der Farbdifferenzsignal und des Stereotons.

Man sieht an diesem Beispiel, dass die geschickte Wahl der *Modulationsverfahren* und die Verschachtelung der Signale zwei mögliche Ansätze für Frequenzökonomie sind. Weitere liegen in der Kompression.

FSK Die Frequenzumtastung ist eine *Frequenzmodulation* 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

Frequenzumtastung
frequency shift keying

Prinzip der
Frequenzumtastung



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*).

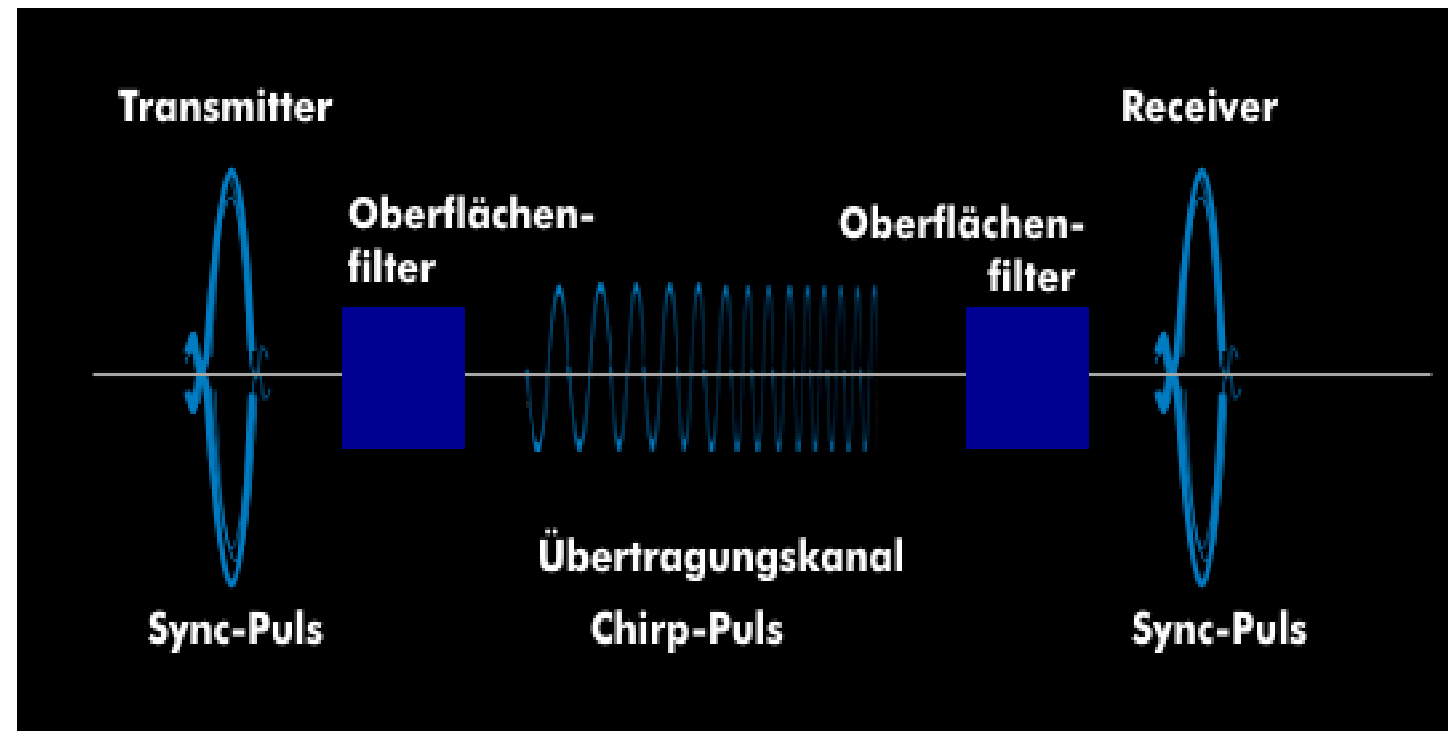
Ein weiterer Parameter für die Frequenzumtastung ist neben dem Frequenzhub der Modulationsindex. Dieser gibt das Verhältnis von Gesamthub zur Datenrate wieder. Unterschreitet der Modulationsindex einen Wert von 0,5, so spricht man von einer *MSK-Modulation*, Minimum Shift Keying. Arbeitet man mit mehreren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

GMSK *gaussian minimum shift keying* Bei dem *GMSK-Modulationsverfahren* handelt es sich um ein *Minimum Shift Keying* (MSK) das durch einen vorgeschalteten Gauß-Filter ergänzt ist. Das Verfahren wird bei GSM verwendet.

- IMD** *Intermodulationsstörung*
intermodulation distortion Als Intermodulationsstörungen werden solche Signale bezeichnet, die unerwünscht als Summen- oder Differenzfrequenzen zweier Nutzsignale auftreten, sowie Frequenzen, die sich aus der Grundwelle der einen mit einer Oberwelle der anderen gebildet haben, sowie auch Kombinationen aus Oberwellen jeder Ordnung.
- IFT** *inverse Fourier transformation* Eine inverse *Fourier-Transformation* 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.
- Kreuzmodulation**
cross modulation Eine Form der Signalbeeinträchtigung, die bei gleichzeitigem Vorhandensein mehrerer hochfrequenter *Trägerfrequenzen* aufgrund von Nichtlinearitäten im Übertragungsmedium zu gegenseitigen Störungen führt.
- MCP** *multi choice precoding* Das Multi Choice Precoding (MCP) ist ein funktechnisches Übertragungsverfahren, das Echosignale und Reflexionen von Funkwellen an Gebäuden oder Bodenerhebungen ausnutzt.
Bei einer normalen Funkübertragung gelangen viele Funkwellen direkt vom Sender zum Empfänger, andere werden an Gebäuden oder topografischen Gegebenheiten reflektiert und erreichen den Empfänger mit einer zeitlichen Verzögerung, was zu Interferenzen führt. Im Gegensatz zu Gleichwellennetzen wo empfangsseitig mit Diversity-Verfahren gearbeitet wird, werden beim Multi Choice Precoding (MCP) die frequenzmäßigen Verzerrungen senderseitig kompensiert. Das hat den Vorteil, dass die Empfangsgeräte keine speziellen Kompensationstechniken für die Bearbeitung der empfangenen Frequenzen benötigen und damit weniger Strom aufnehmen und kostengünstiger hergestellt werden können.
- MDMA** *MDMA-Modulation*
multi dimensional multiple access In der *MDMA-Modulation* 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

Prinzip der
MDMA-Modulation



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 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 kann gleichermaßen im Innenbereich und im Freibereich eingesetzt werden. 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*

Das *Modulationsverfahren differenzielle Phasenumtastung* (DPSK) zeichnet sich dadurch aus, 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 DPSK.

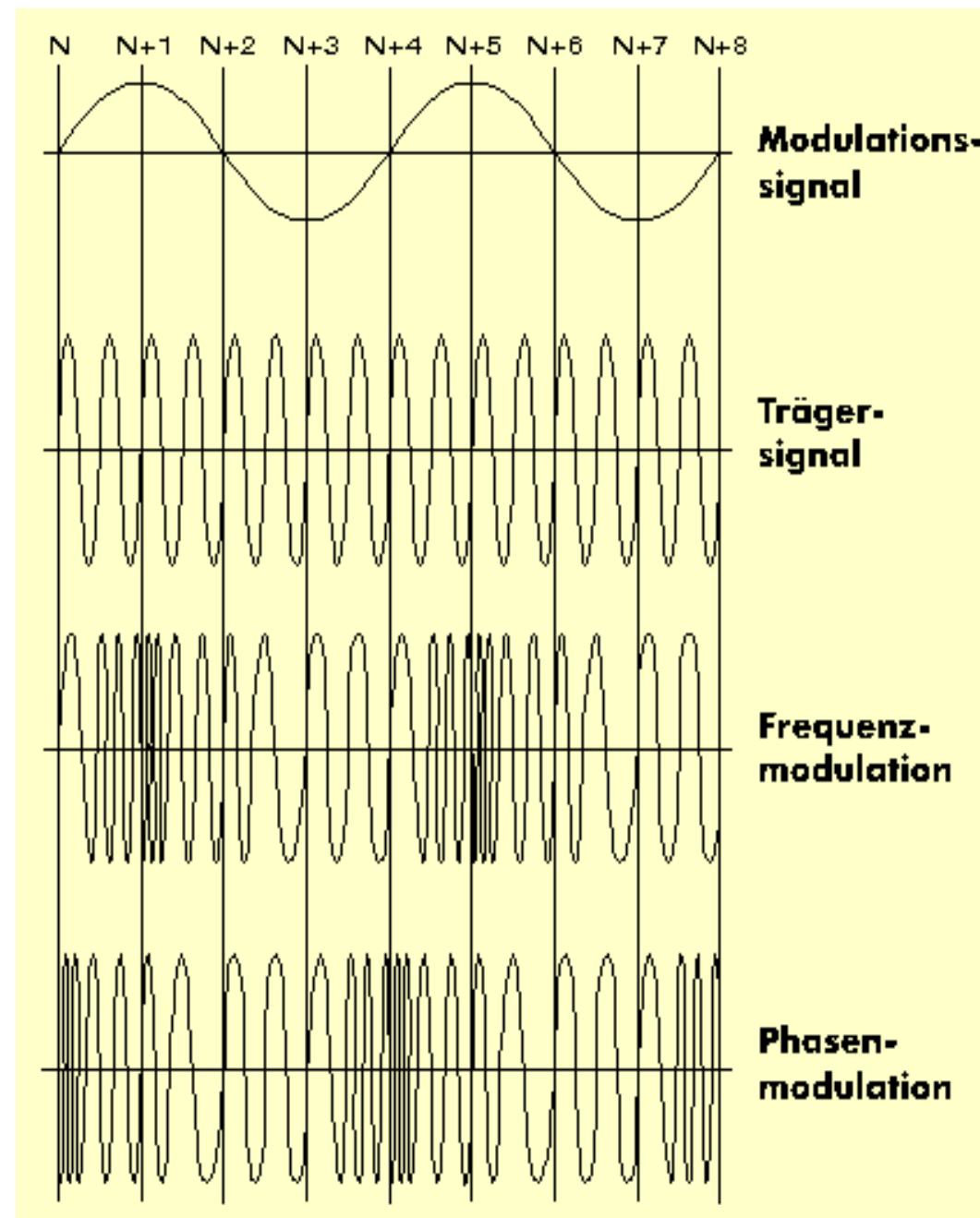
**Modulation
modulation**

Träger	Eingangssignal	Modulationsverfahren	
zeitkontinuierlich (Sinus)	analog	Amplitudenmodulation Einseitenbandmodulation (SSB) Restseitenbandmodulation (VSB) Frequenzmodulation Phasenmodulation	AM EM RM FM PM
	digital	Amplitudenumtastung Frequenzumtastung Phasenumtastung	ASK FSK PSK
zeitdiskret (Puls)	analog	Ausgangssignal uncodiert Pulsamplitudenmodulation Pulsdauermodulation Pulsfrequenzmodulation Pulsphasenmodulation	PAM PDM PFM PPM
		Ausgangssignal codiert Pulscodemodulation Differenz-Pulscodemodulation Deltamodulation Adaptive Differenz-PCM Adaptive Deltamodulation	PCM DPCM DM ADPCM ADM
	digital	Gleichstromtastung	GT

Modulationsverfahren

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 Pulschette, 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 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 Modulation mit unterdrücktem Träger, 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 Phasemodulation, die diesen Nachteil behebt, hat dagegen mit Verzerrungen und Änderungen der Trägerfrequenz zu kämpfen.

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*.

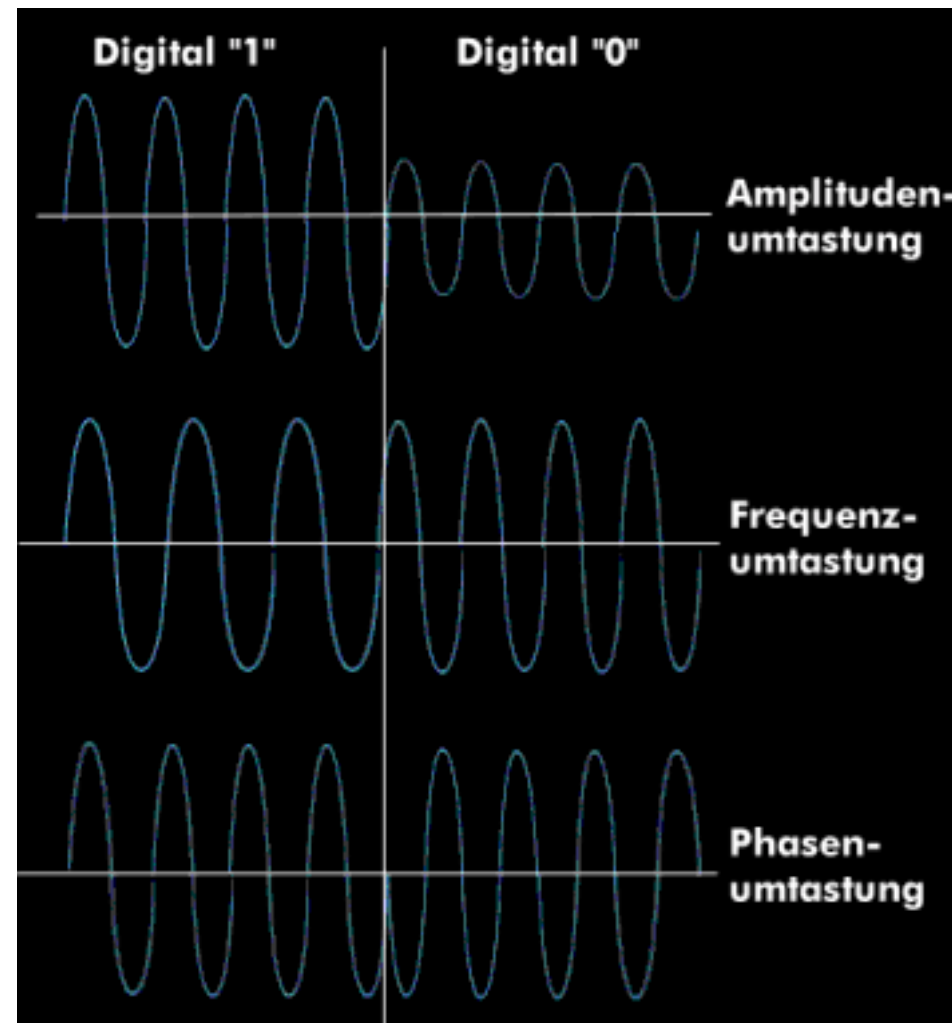
Ist das Trägersignal unmoduliert, ist der Modulationsgrad "0". Ist die Amplitude des Modulationssignals halb so groß wie die der Trägerfrequenz, beträgt der Modulationsgrad 0,5. Wenn beide Amplituden gleich groß sind, wird das Trägersignal voll durchmoduliert, der Modulationsgrad ist dann "1".

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. Ein Sonderfall der Amplitudenumtastung tastet bei einem Digitalwert das Trägersignal auf und schaltet den Träger bei dem anderen Digitalwert ab.

Umtastverfahren
ASK, FSK und PSK



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.

Phasenumtastung (PSK): Bei der Phasenumtastung werden den beiden digitalen Zuständen »0« und »1« zwei Phasenlagen der Trägerfrequenz

zugeordnet, beispielsweise 0° für das Signal mit dem Zustand »0« und 180° 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 Ein Modulator ist eine elektronische Baugruppe, die eine *Trägerfrequenz* mit einer *MOD, modulator* 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 Das Minimum Shift Keying ist ein Sonderfall der *Frequenzumtastung* (FSK) bei der der *minimum shift keying* Modulationsindex einen Wert von 0,5 hat.

OFDM Bei der orthogonalen Frequenzmultiplex-Technik handelt es sich um eine Mehr-
OFDM-Modulation Träger-Modulation; die Daten werden innerhalb eines Funkkanals auf mehrere
orthogonal frequency Unterträger moduliert. Die einzelnen Unterträgerfrequenzen arbeiten mit einer relativ
division multiplex geringen Datenrate, übertragen die Daten allerdings parallel, additiv überlagert. Der Vorteil dieser Technik liegt in darin, dass eine hohe Bitdichte erreicht und Laufzeitunterschiede und die dadurch entstehenden Verzerrungen und Reflektionen vermieden werden.
Dem Verfahren nach wird bei der *OFDM-Modulation* das zur Verfügung stehende *Frequenzband* in mehrere Trägerbänder unterteilt. Der Abstand der *Trägerfrequenzen* richtet sich nach den Übertragungsraten. Da bei einer Modulation *Seitenbänder* entstehen, die - nach der *Fourier-Transformation* - im Abstand der Übertragungsrate zu Null werden, wählt man diesen Frequenzabstand für die Trägersignale. Der Abstand der Trägerfrequenzen entspricht bei OFDM der Übertragungsgeschwindigkeit

des modulierten Signals.

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.

Das OFDM-Verfahren ist unempfindlicher gegen Störungen und Echos als andere *Modulationsverfahren* und hat besondere Vorteile bei stark beeinträchtigter terrestrischer Übertragung.

OFDM wird u.a. für Digital-TV (DVB) und in WLANs eingesetzt, ebenso bei IEEE 802.11 und bei HiperLAN.

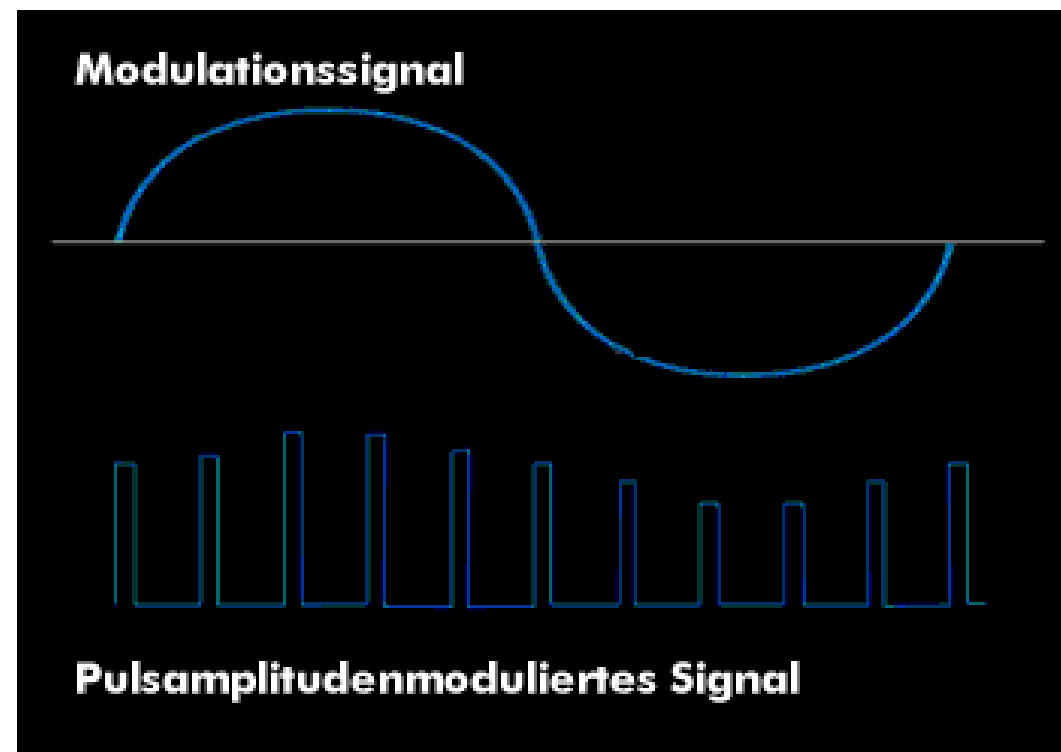
OQPSK
*offset quadrature phase
shift keying*

Sonderform der Quadraturphasenmodulation, bei der zwischen der Bezugsphase und dem Quadraturbitstrom ein Versatz von einem Bit besteht.

PAM
*Pulsamplitudenmodulation
pulse amplitude
modulation*

Modulationsart, bei der bei Abtastung eines kontinuierlichen Signals mit Impulsen deren Amplitude gemäß der Amplitude der primären Zeichenschwingung 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



Prinzip der
Pulsamplitudenmodulation

1000M Symbolen, PAM12 mit 825 M. Da PAM8 das zu sampelnde Signal mit acht verschiedenen Pegelwerten überträgt, ist der Unterschied zwischen den Pegelwerten höher.

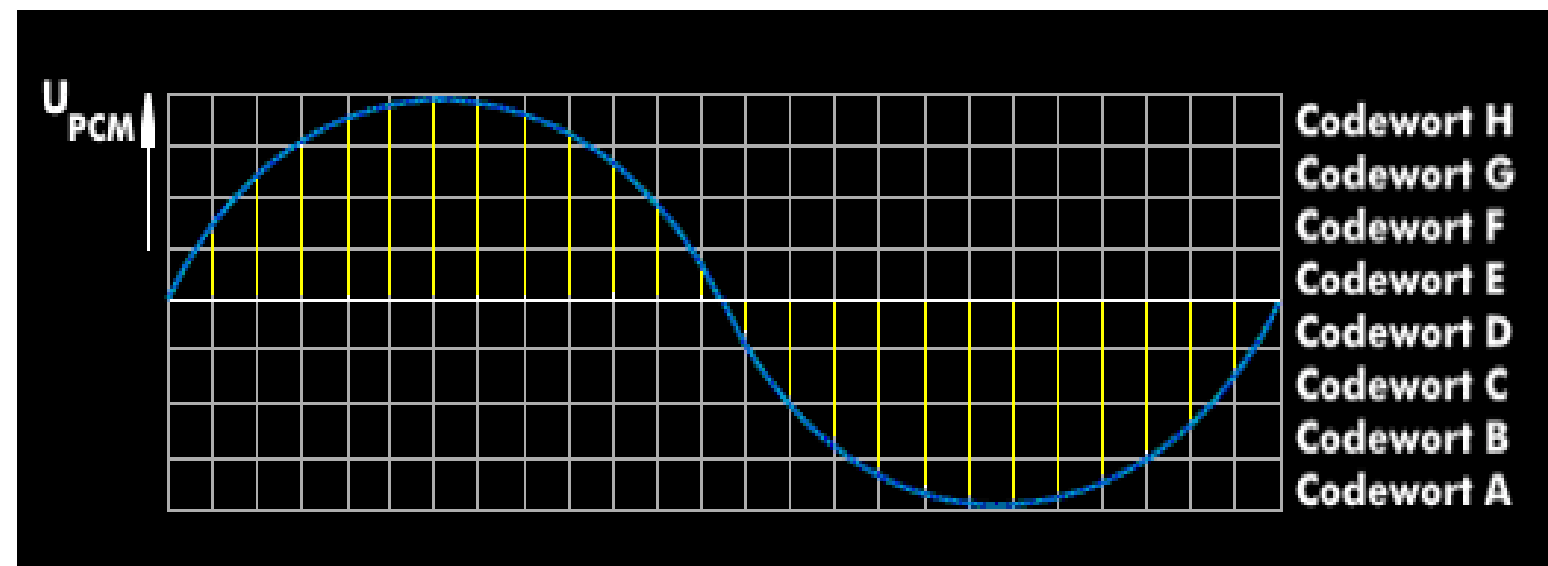
**Panda-Wegener-
Verfahren**
Panda-Wegener

Um bei der Satellitenübertragung von analogem Fernsehen und Digital-TV möglichst wenig Bandbreite für die Tonübertragung zu benutzen, muss der in *Frequenzmodulation* modulierte Ton in seinem Frequenzhub komprimiert werden. Für diese senderseitige Komprimierung des Tonsignals und für die empfängerseitige Dekomprimierung benutzt man das Panda-Wegener-Verfahren. Das Verfahren komprimiert den Frequenzhub und hat den Vorteil, dass sich die Tonunterträger nicht gegenseitig beeinträchtigen, wodurch *Intermodulationsstörungen* weitestgehend vermieden werden.

PCM
Pulscodemodulation
pulse code modulation

Die Pulscodemodulation (PCM) ist ein ITU-Standard für die Digitalisierung von Sprache, beschrieben in G.711. Bei dieser Modulationsart werden zeitdiskrete analoge Signale durch Quantisierung in zeit- und wertdiskrete Binärsignale umgewandelt und den quantisierten Werten Codewörter definierter Länge zugeordnet. 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

PCM-Codierung mit
Codeworten



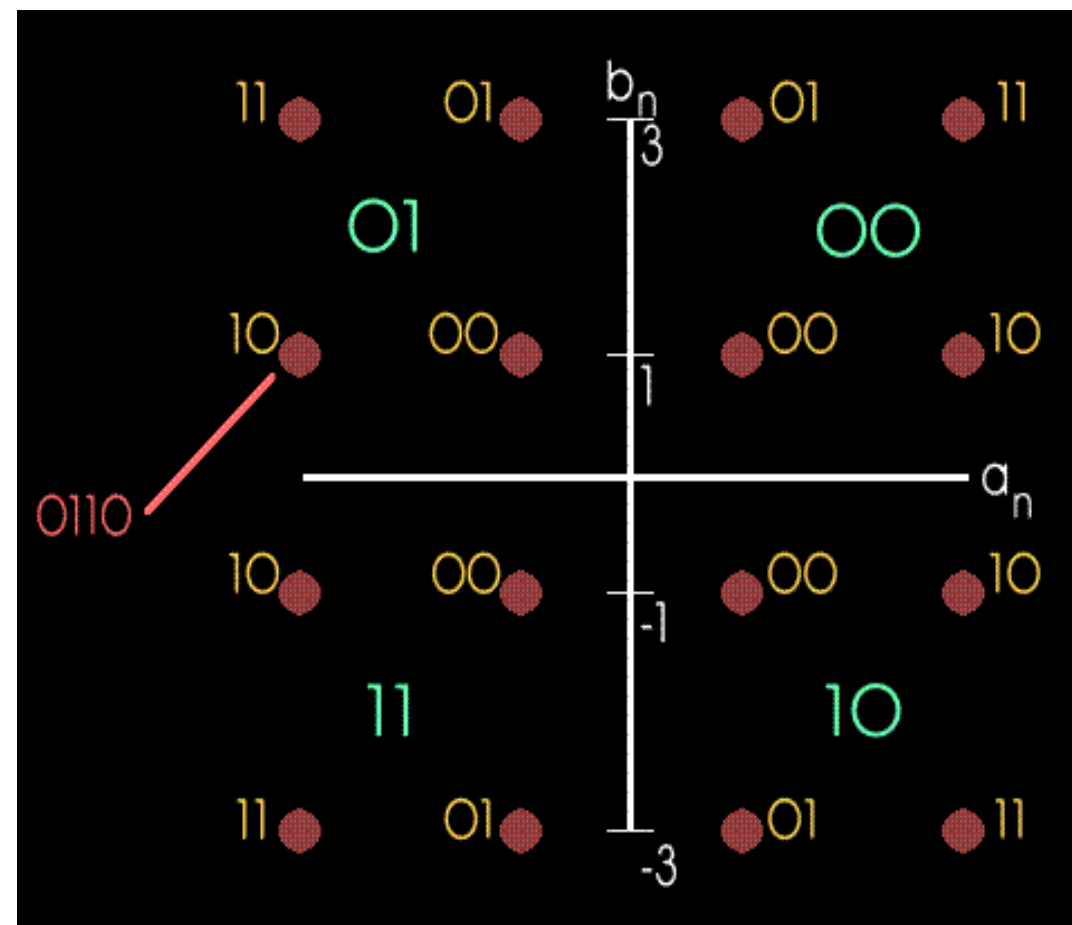
eine 8-Bit-Wertigkeit gewandelt, sodass alle 125 μ s ein Abtastwert entsteht. Die resultierende Übertragungsgeschwindigkeit beträgt 64 kbit/s, die übertragbare Sprachfrequenz 4 kHz.

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

PDM
Phasendifferenzmodulation
phase difference
modulation

Besondere Form der *Phasenmodulation*, 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.



PM
Phasenmodulation
phase modulation

Phasenstern bei der PDM-Modulation mit Dibits

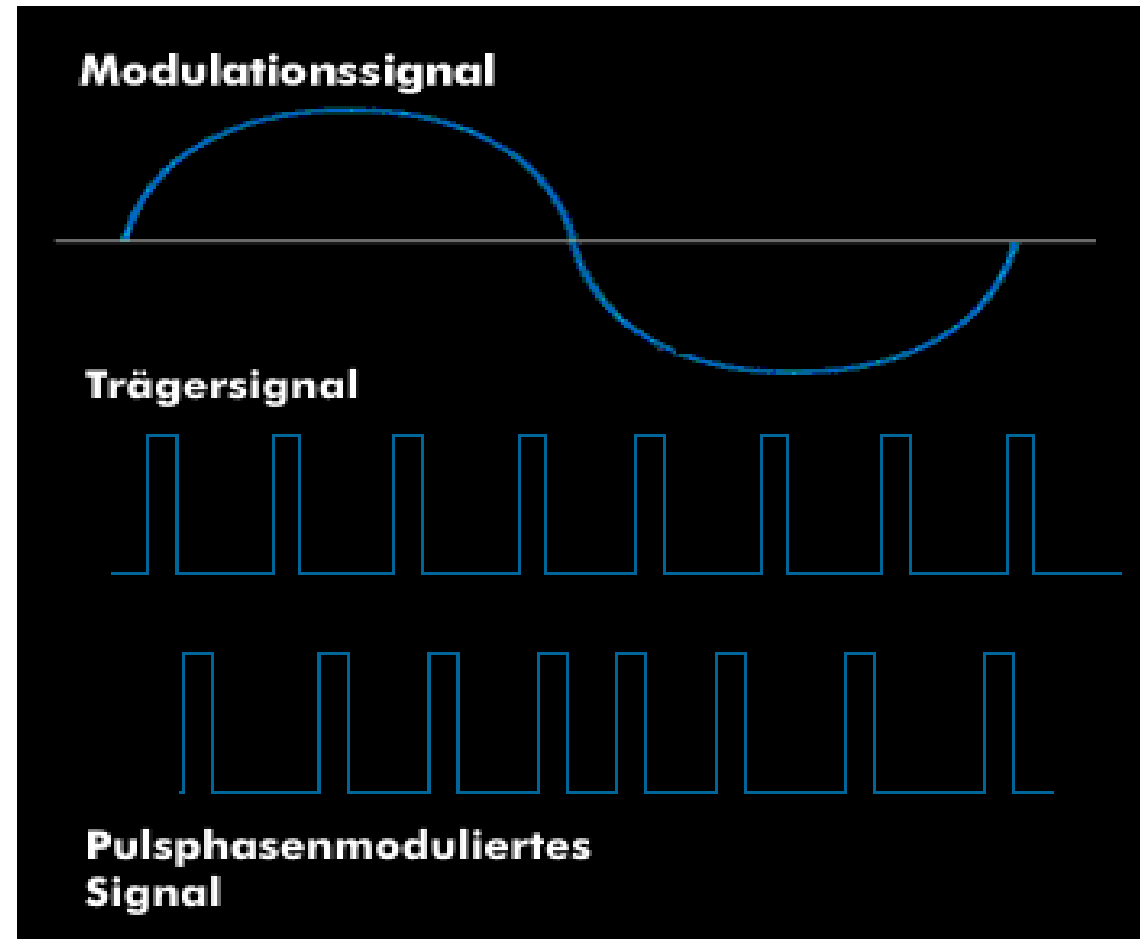
Bei V.27 werden 3 Bits zu den Tribits 000, 001, 010, 011, 111, 110, 100 und 101 zusammengefasst und in oktonären Signalen übertragen, die sich in den Gradzahlen 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 und 315 unterscheiden.

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 Phasenhub bezeichnet.

PPM
Pulsphasenmodulation
pulse phase modulation

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.



Prinzip der
Pulsphasenmodulation

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

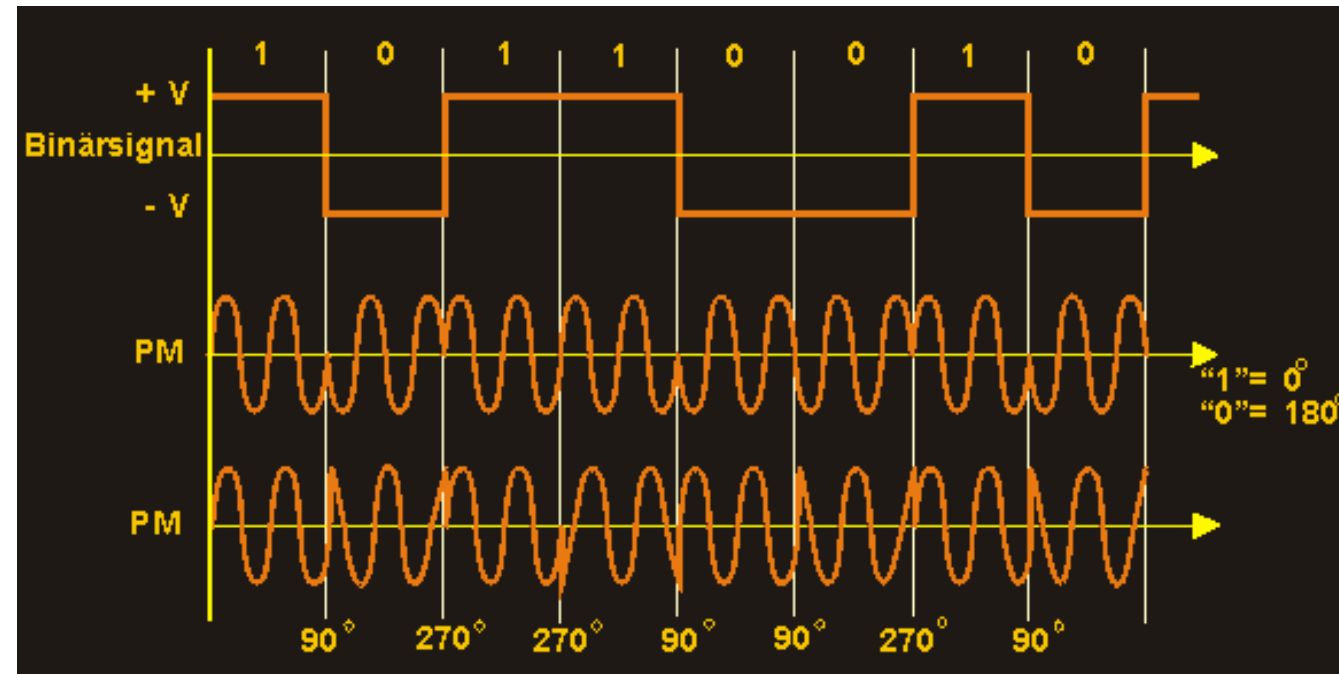
einem Wechselstromsignal zusammengefasst und übertragen.

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

PSK
Phasenumtastung
phase shift keying

Die Pulsphasenmodulation ist eine weitere Variante der Pulsmodulation. Bei dieser *Modulation* 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

Phasenumtastung mit
fester Phasenlage



Trägersignal nach.
Bei der
Phasenumtastung
handelt es sich um
eine *Phasen-*
modulation 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 2, 4, 8 (2-PSK, 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.

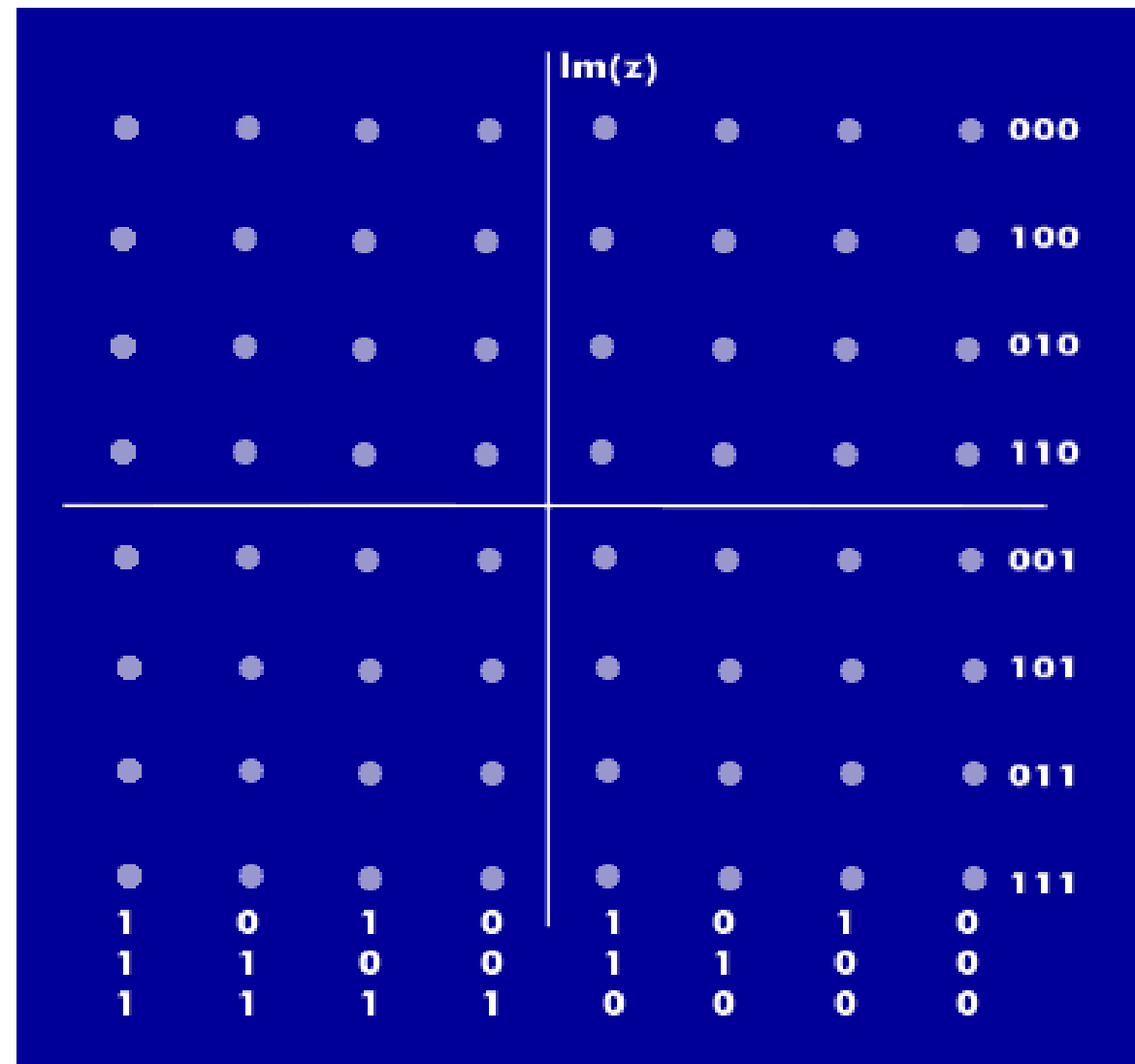
PWM *Pulsweitenmodulation*
pulse width modulation Bei der Pulsweitenmodulation (PWM) werden die Informationen durch unterschiedlich breite Trägerimpulse moduliert. Bei dem unmodulierten Signal sind die Pulsbreite, die Pulsdauer und die Pulsamplitude gleich bleibend konstant. Wird ein solches

Trägersignal moduliert, verändert sich ausschließlich die Pulsbreite, die beiden anderen Parameter bleiben unverändert.

Diese Modulationsart wird auch als Pulslängenmodulation bezeichnet und u.a. auch in optischen Sendern eingesetzt. Dabei repräsentiert beispielsweise ein breiter Lichtimpuls eine logische "1", ein schmaler Lichtimpuls eine logische "0". Der Lichtpegel ist bei beiden logische Zuständen gleich.

QAM
quadrature amplitude modulation

Modulationsart für hohe Übertragungsdichte, bei der die *Phasenumtastung* und die *Amplitudenumtastung* miteinander kombiniert werden. Bei diesem Verfahren werden der Phasenwinkel und die Amplitude der Trägerschwingung mit den zu übertragenden Digitalwerten umgetastet, wobei die Frequenz konstant bleibt.



Phasensterne für 64QAM

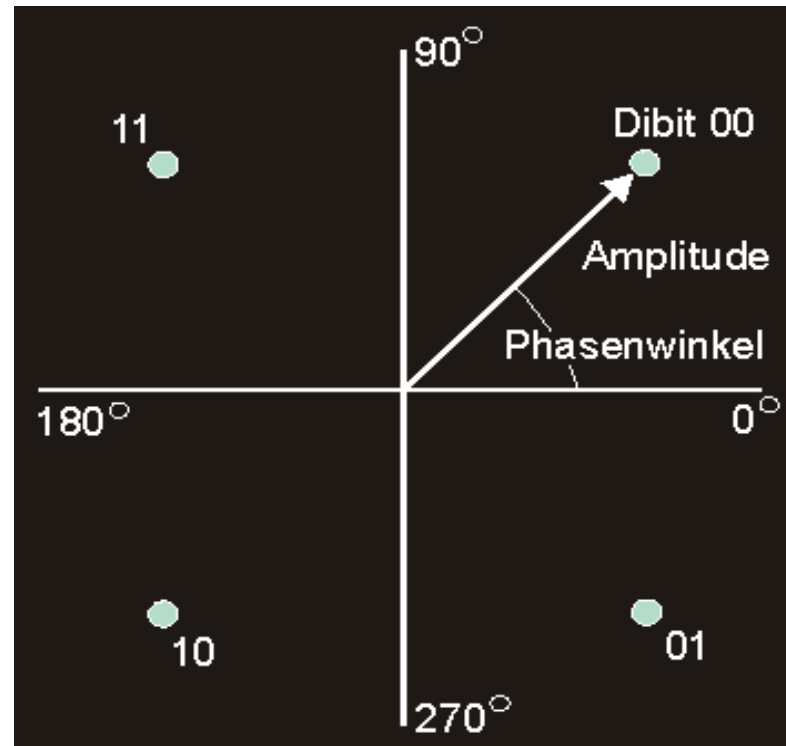
Bei dem QAM-Verfahren werden Bits in Gruppen zu 4, 8, 16, 32 oder 64 zusammengefasst und mit vier verschiedenen Amplituden in zwölf Phasenlagen moduliert. Alle ITU-TS-Empfehlungen für Hochgeschwindigkeitsmodems wie V.32, V.terbo oder V.34 verwenden QAM in verschiedenen Varianten, beginnend bei 8QAM über 16QAM und 64QAM bis zu 256QAM. Bei 8QAM werden beispielsweise zwei unterschiedliche Amplituden in vier Phasenlage moduliert.

MODULATION UMTASTUNG

QPSK

Quadratur-
Phasenumtastung
*quadrature phase shift
keying*

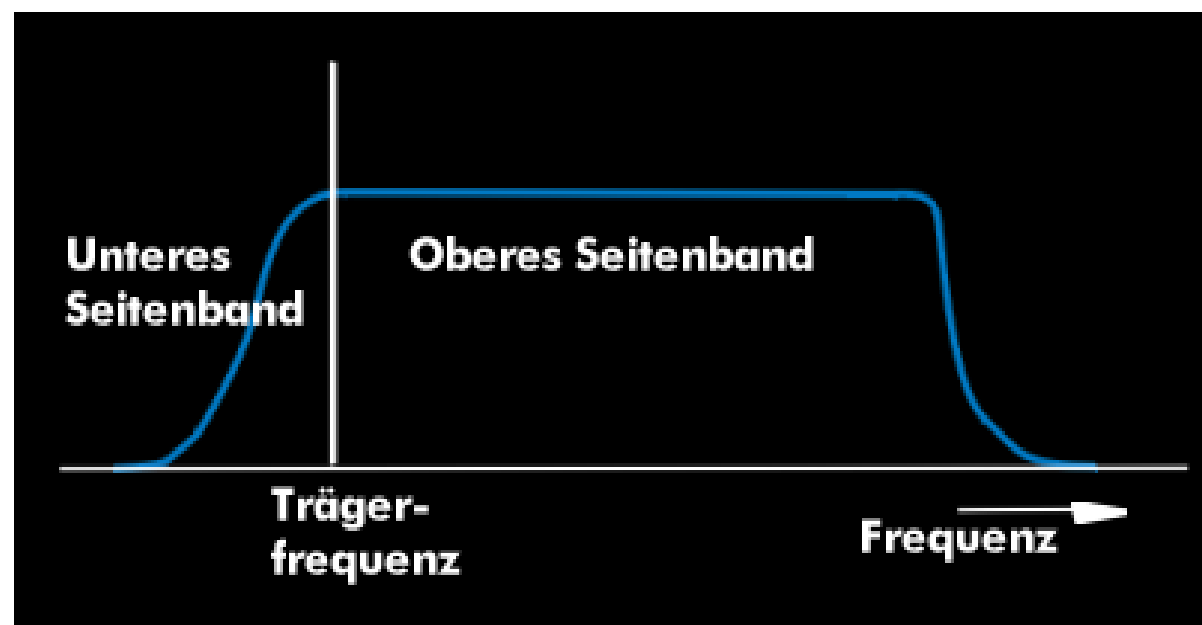
Phasenstern für QPSK



Bei der Quadratur-*Phasenumtastung* 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 Übertragungsfrequenzen



VSB-Modulation mit
reduziertem Seitenband

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

Die ATSC hat für digitale, terrestrische Broadcast-Übertragungen, 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.

Seitenband *side band* Seitenbänder entstehen bei der *Modulation* von *Trägerfrequenzen* mit einem *Frequenzband*. Bei der Mischung einer Trägerfrequenz mit einem Frequenzband an nichtlinearen Kennlinien entstehen mehrere Frequenzen bzw. Frequenzbänder. Als Mischprodukte entstehen neben der Trägerfrequenz Frequenzbänder, die sich aus der Addition und der Subtraktion der Trägerfrequenz mit der Modulationsfrequenz, respektive dem Modulations-Frequenzband ergeben und damit oberhalb und unterhalb der Trägerfrequenz liegen. Diese Frequenzbänder, die identische Informationen enthalten nennt man Seitenbänder. Für die Bearbeitung kann eines der beiden Seitenbänder ausgefiltert werden.

Seitenbandcodierung *sub band coding* Bei dieser Technik wird Sprache in zwei oder mehrere *Frequenzbänder* geteilt und jedes einzeln behandelt. Dieses Verfahren wird normalerweise als Hybrid-Verfahren mit anderen Codierungen und *Modulationen* benutzt (wie *ADPCM*, *APC* oder *ACIT* von GTE).

Trägerfrequenz, TF *CW, carrier wave* Die Trägerfrequenz ist die Grundfrequenz, die mit der Modulationsfrequenz moduliert wird. Wie der Name sagt trägt diese Frequenz das modulierte Signal. Die Trägerfrequenz ist eine Festfrequenz, die je nach *Modulation* in ihrer Amplitude, Phasenlage oder Frequenz im Rhythmus der Modulationsfrequenz geändert wird.

XGM, cross gain modulation Bei der Cross Gain Modulation (XGM), einem Verfahren für die Wellenlängenkonvertierung von Lasersignalen, wird die Konvertierung durch

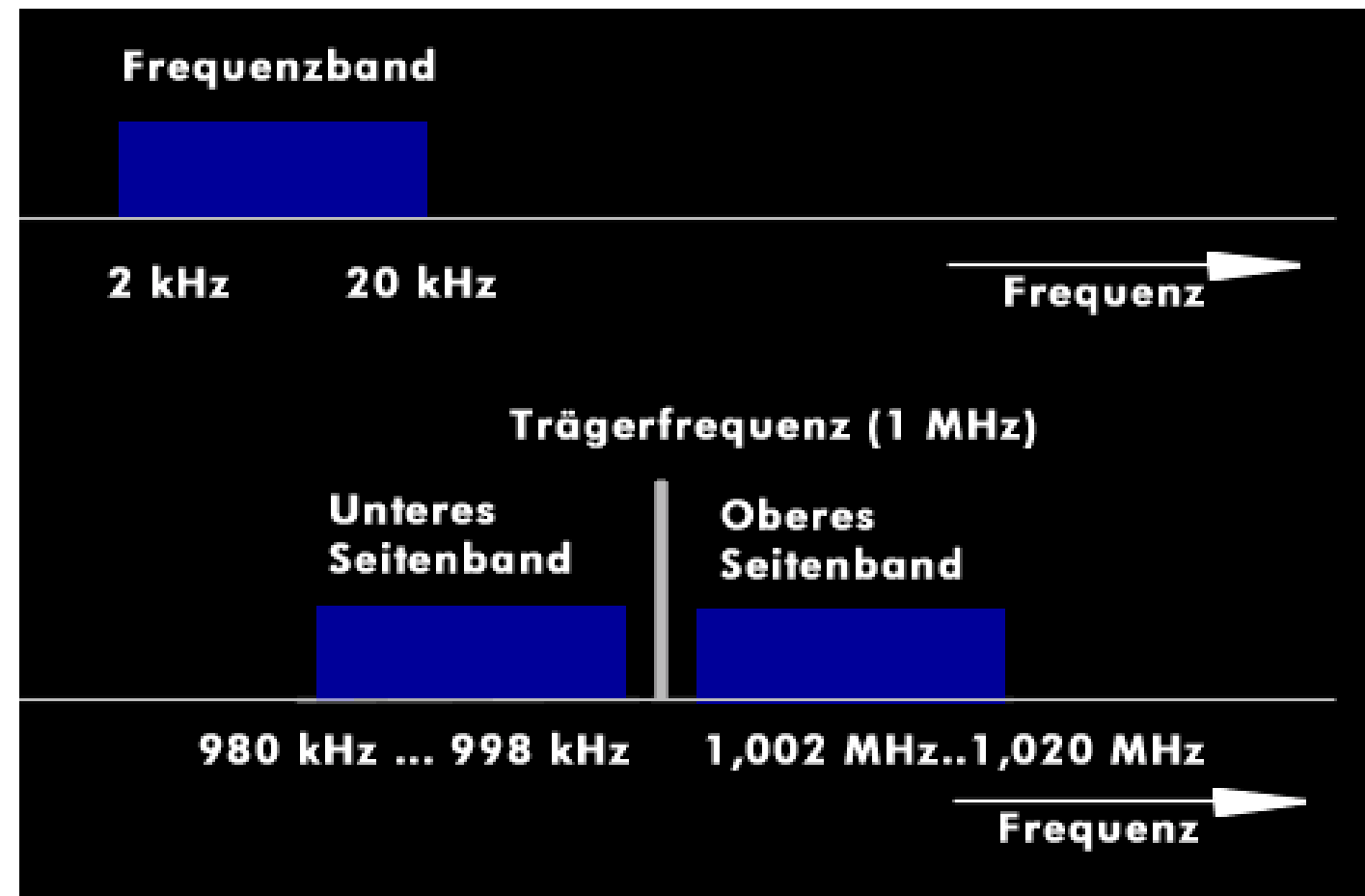
Kreuzverstärkungen erzielt, wobei der Wellenlängenversatz bei der so genannten CSS-Modulation von der Qualität des Mischungssignals abhängt.

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.

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*.



Prinzip der
Zweiseitenbandmodulation