

5. Modulation

Für die Uebertragung eines Nutzsymbols über Leitungen oder durch die Luft muss das informationstragende Signal, das **Nutzsignal**, an die Eigenschaften des Uebertragungswegs angepasst werden.

Ziele:

- Möglichst verlustfreie Uebertragung
- Störungssicherheit
- Mehrfache Ausnützung eines Uebertragungskanal

Dazu werden so genannte Modulationstechniken verschiedenster Art angewandt.

Modulation ist definiert als Beeinflussung von Signaleigenschaften eines so genannten **Trägersignals** im Takt des zu übermittelnden **Nutzsignals**.

Modulation geschieht also beim **Sender** von Information.

Der gegenteilige Vorgang heist **Demodulation**, dabei wird aus dem modulierten Signal das Nutzsignal zurückgewonnen.

Dies geschieht beim **Empfänger** der Information.

Bei den Modulationsverfahren gibt es grundsätzlich zwei Methoden zu unterscheiden:

- Bei der *analogen Modulation* hat das übertragene Signal einen *kontinuierlichen Verlauf* (z.B. Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation)
- Bei der *digitalen Modulation* kann das modulierte Signal nur *diskrete Werte* annehmen (z.B. Pulscodemodulation)

Analoge Modulationsmethoden:

Eine Möglichkeit der analogen Modulation besteht darin, das zu übertragende Signal aus dem ursprünglichen Frequenzband (Basisband) in ein anderes, höheres Frequenzband (Trägersignal) umzusetzen.

Bei der analogen Modulation beeinflusst ein niederfrequentes **Nutzsignal** eine hochfrequente **Trägerschwingung**. Dabei kann

- die Amplitude
- oder die Frequenz
- oder die Phase

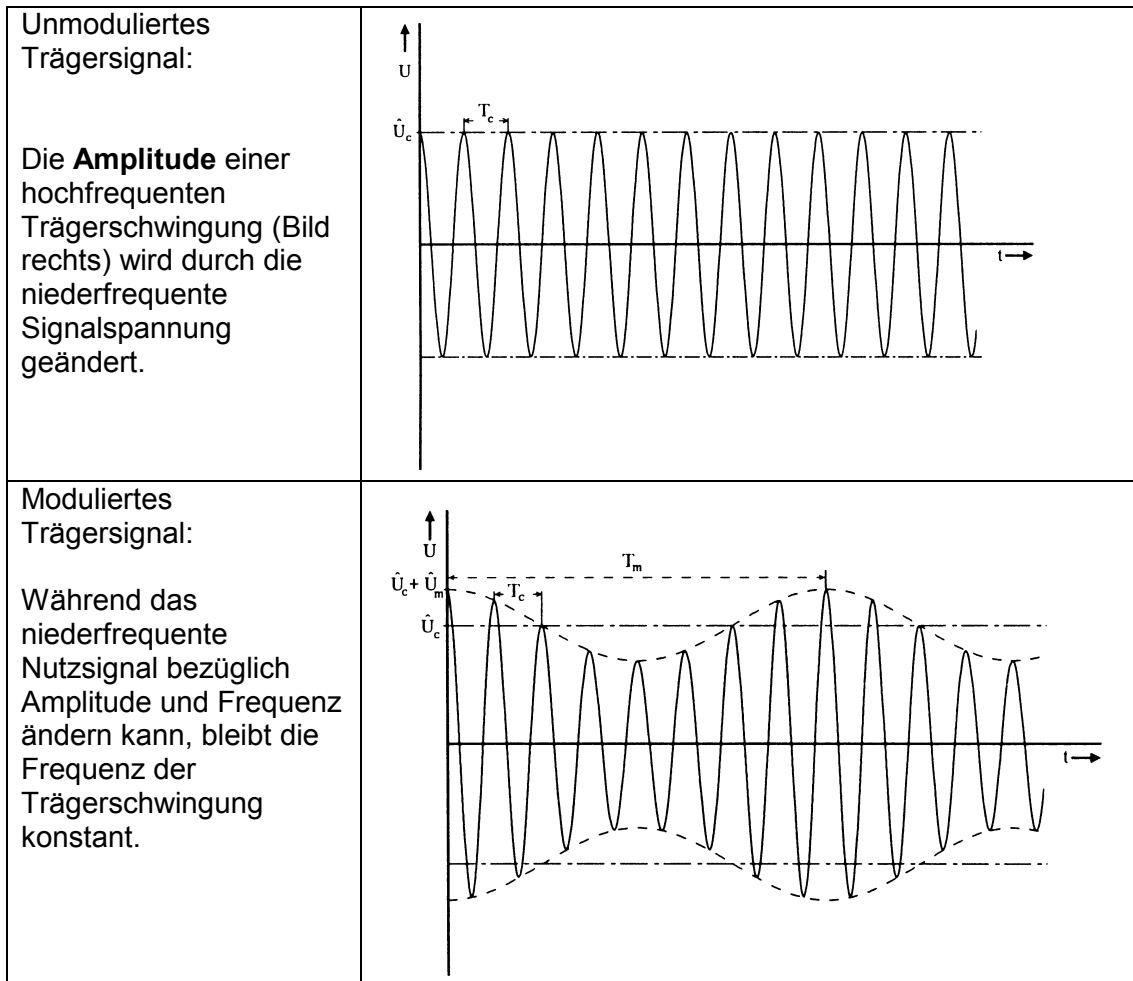
verändert werden.

Die jeweilige Änderung der Amplitude bzw. Frequenz bzw. Phase ist **proportional** zum Nutzsignal.

Die eigentliche Information ist also in den **Schwankungen** des Trägersignals versteckt.

5.1 Amplitudenmodulation AM (eine analoge Modulationsart)

Bei der Amplitudenmodulation wird die **Amplitude** des Trägersignals im Rhythmus der Signalfrequenz verändert:



Eine wichtige Grösse ist der Modulationsgrad m .

Der Modulationsgrad m ist das Verhältnis der Amplitude der Signalschwingung U_m zur Amplitude der unmodulierten Trägerschwingung U_c .

$$m = \frac{U_m}{U_c}$$

m ist immer kleiner als 100%. Es wird maximal bis ca. 80% moduliert (maximale Lautstärke bei einem Audio-Signal).

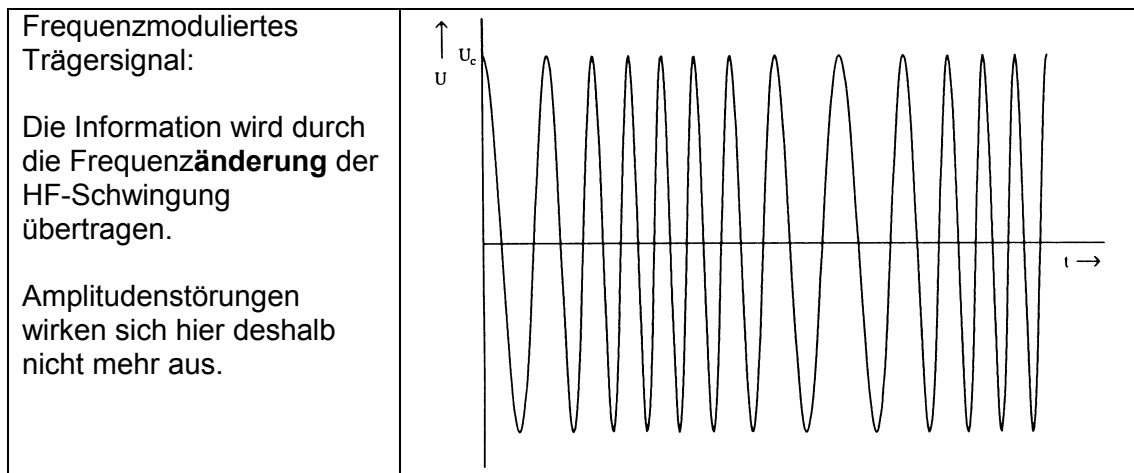
AM-Schwingungen sind sehr anfällig auf Störungen, da das Signal und die Amplitude der HF-Schwingung einen direkten Zusammenhang haben. Dies merkt man beim Radioempfang Lang-, Mittel- oder Kurzwellenstationen, wo man jedes Ein- und Ausschalten von Geräten in der Umgebung sowie Gewitterblitze hören kann.

Anwendung: Langwellen- bis Kurzwellenradiosender

Im Empfänger muss ein Demodulator das Nutzsignal wieder aus der modulierten Trägerschwingung zurückgewinnen.

5.2 Frequenzmodulation FM (eine analoge Modulationsart)

Bei der Frequenzmodulation wird die **Frequenz** des Trägersignals im Rhythmus der Signalfrequenz verändert:



Der grösste Frequenzunterschied zwischen unmodulierter und modulierter Trägerfrequenz heisst **Frequenzhub Δf_c** .

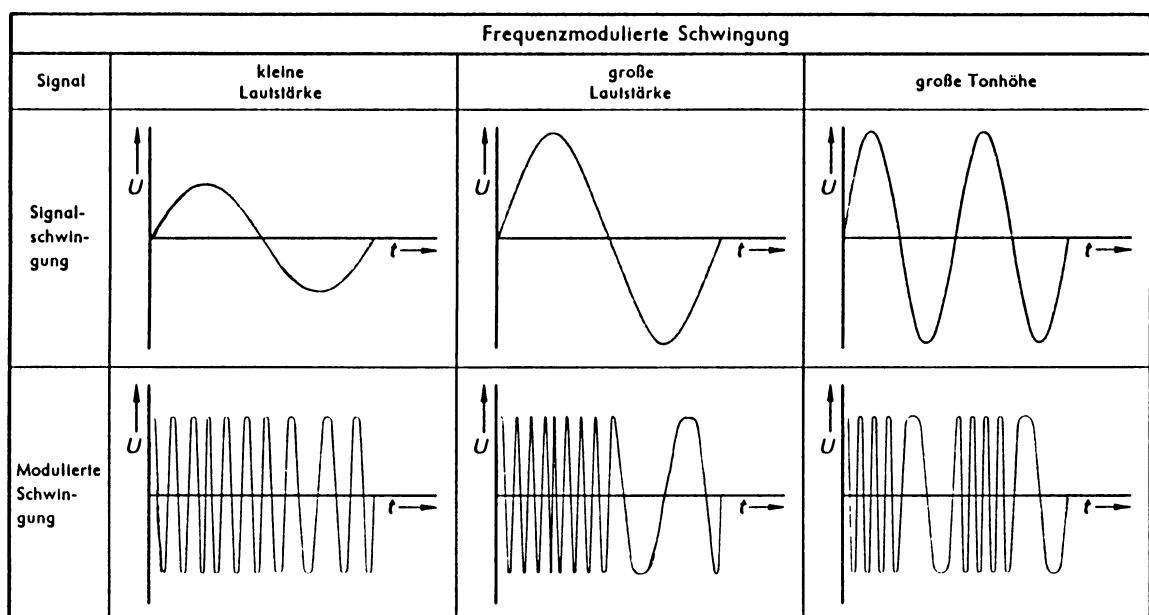
Er ist proportional zur Amplitude der Nutzsignalschwingung.

Dem Modulationsgrad bei der Amplitudenmodulation entspricht bei einer Frequenzmodulation der sogenannte *Modulationsindex* m :

$$m = \frac{\Delta f_c}{f_m}$$

m	Modulationsindex
Δf_c	Frequenzhub
f_m	Modulationsfrequenz (Signalfrequenz)

Modulationsergebnis bei verschiedenen Nutzsignalen (Signalschwingung):



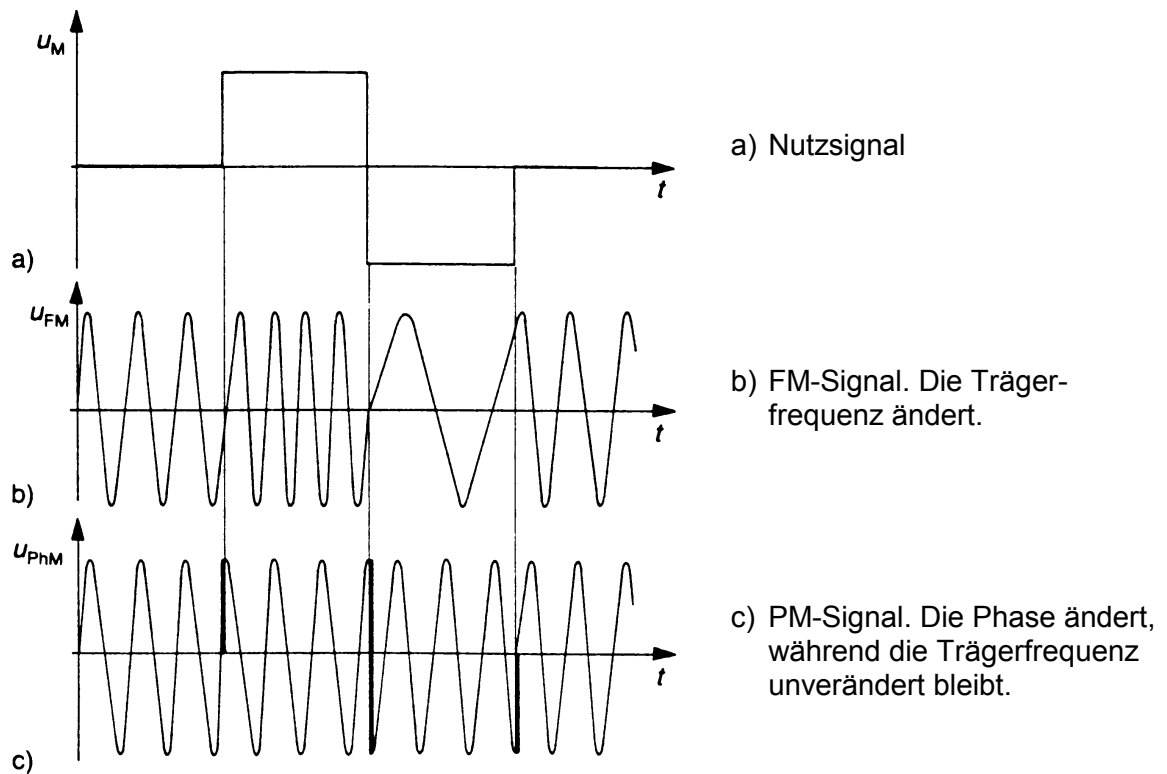
Anwendung: UKW-Radio, Fernsehen, Natel-C

Auch hier muss der FM-Demodulator das Nutzsignal im Empfänger zurückgewinnen.

5.3 Phasenmodulation PM (eine analoge Modulationsart)

Bei der Phasenmodulation wird die **Phase (der Phasenwinkel)** des Trägersignals im Rhythmus der Signalfrequenz verändert.

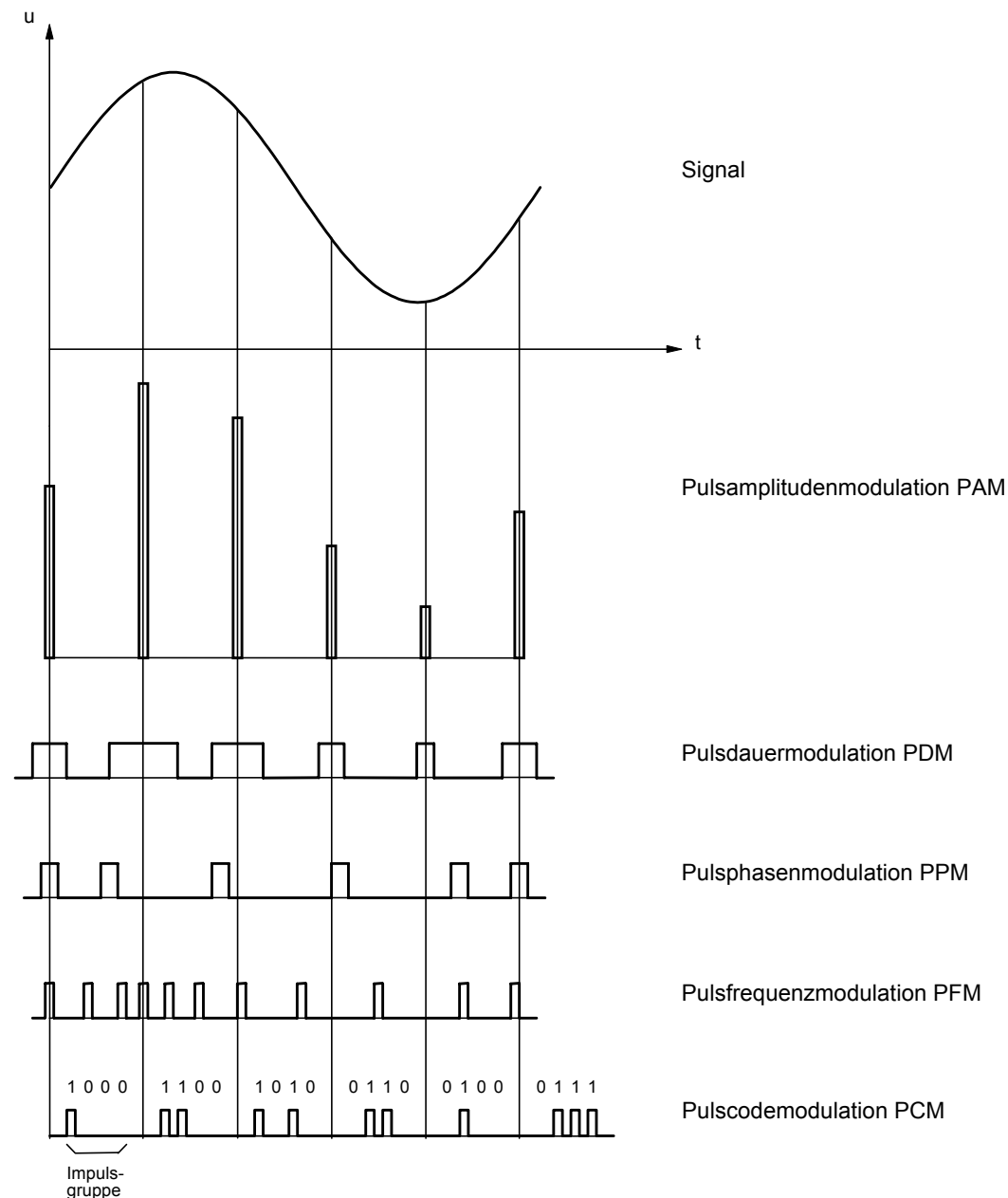
Wir vergleichen ein FM- mit einem PM-Signal:



Anwendung: Natel-D, die ersten Standbildtelefone für analoge Telefonleitungen

5.4 Pulsmodulationsarten (digitale Modulationsarten)

Mit verschiedenen Pulsmodulationsverfahren kann die Information über die Amplitude des Nutzsignals auf verschiedene Arten im modulierten Signal "versteckt" werden: In der Puls**höhe**, in der Puls**dauer**, in der Puls**phase**, in der Puls**frequenz**, oder in einem Puls**code**:



Pulsmodulation PCM

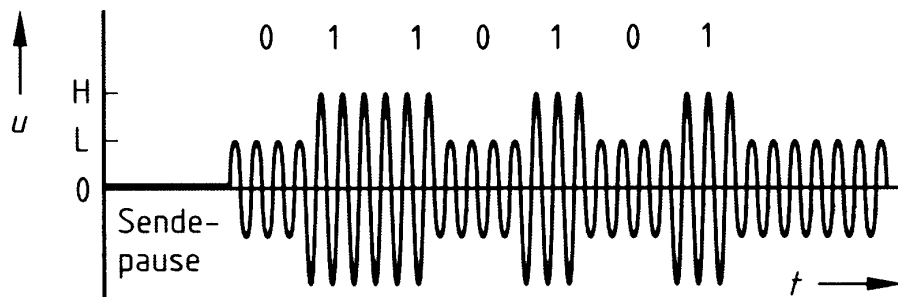
Die Pulsmodulation wurde zur digitalen Übertragung von Analogsignalen entwickelt.

Eine .WAV-Datei ist im Prinzip auch das Ergebnis einer PCM des Analogsignals.

5.5 Umtastverfahren: Datenübertragung mit Modems

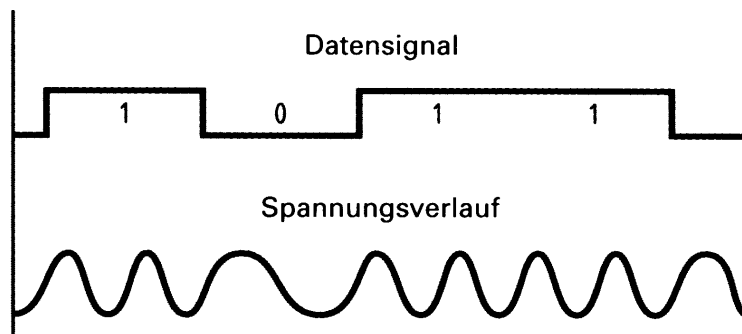
Binärsignale werden in Modems in eine geeignete Form zur Übertragung gewandelt und schliesslich im Empfänger wieder zurückgewandelt. Anstelle von *Modulation* spricht man auch von *Umtastung*.

Amplitudenumtastung ASK (Amplitude Shift Keying)



Eine HF-Trägerschwingung wird getastet. Ist keine HF-Spannung vorhanden, bedeutet dies einen Unterbruch in der Übertragung. Bei der Signalübertragung mit Glasfasern (LWL) wird ASK auch als *Intensitätsmodulation* bezeichnet.

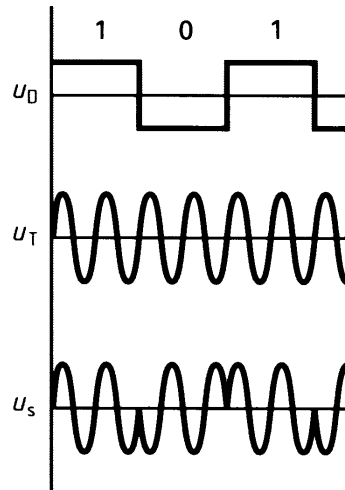
Frequenzumtastung FSK (Frequency Shift Keying)



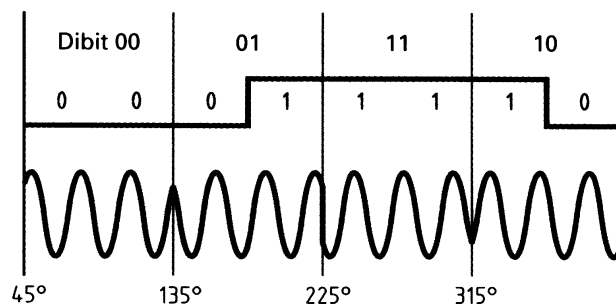
Einfache, aber langsame Modulationstechnik (maximal ca. 1200 Bit/s).

Phasenumtastung PSK (Phase Shift Keying)

Die zu übertragende Information ist in einem Phasenwechsel einer HF-Schwingung enthalten.



Bei der **Zweiphasenumtastung** (2-PSK) entspricht dem 1-Signal eine nicht phasenverschobene Spannung und dem 0-Signal eine um 180° phasenverschobene Spannung.

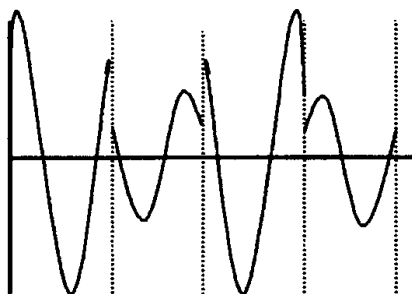
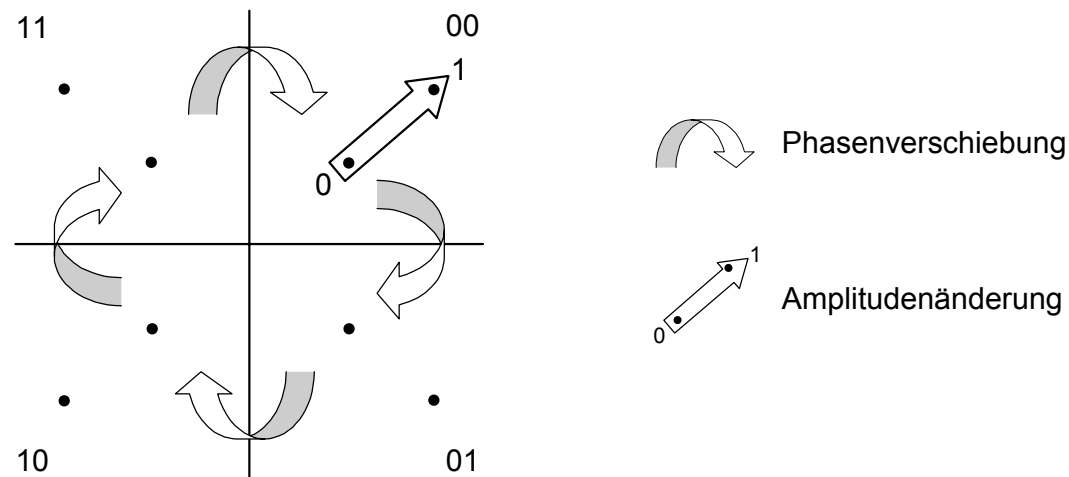


Bei der **Vierphasenumtastung** (4-PSK) treten vier Phasenverschiebungen auf. Es lassen sich dadurch bereits vier verschiedene Bitkombinationen darstellen. Jeder Winkel entspricht einem bestimmten Wort der Länge 2-Bit, welches mit *Dibit* bezeichnet wird.

Mit der PSK-Modulationstechnik sind bereits höhere Bitraten möglich (ca. 4800 Bit/s).

Quadrature Amplitude Modulation QAM

Eine erweiterte Modulationstechnik heisst QAM (Quadrature Amplitude Modulation) und basiert auf der PSK-Technik. Zum Phasensprung kommt noch ein Amplitudensprung hinzu. Mit dieser komplexen Modulation lassen sich Bitraten von einigen 10 kBit/s erreichen.

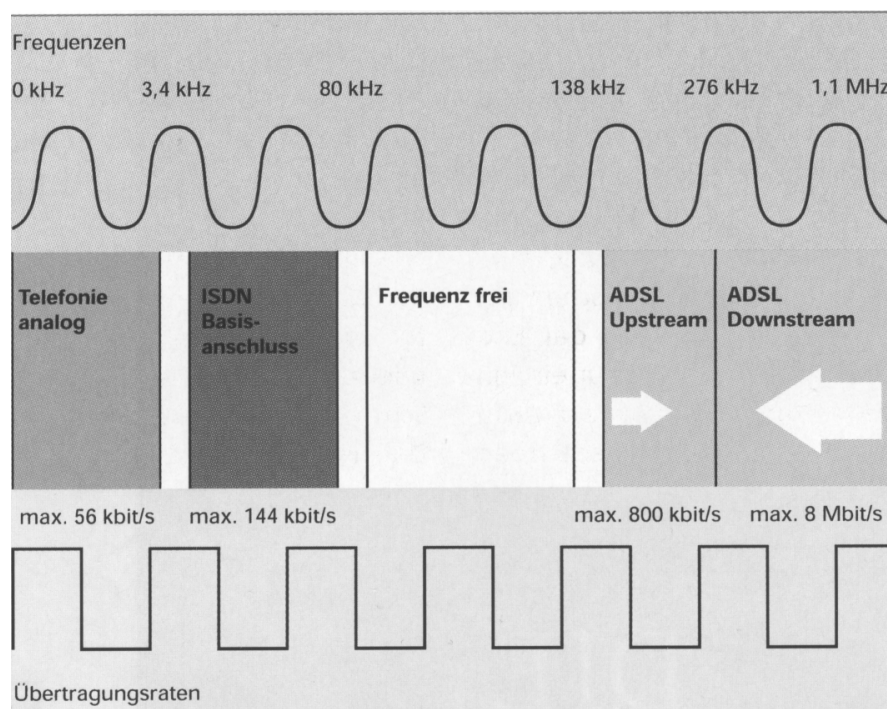


Zusätzlich zum Phasensprung (PSK-Verfahren) ist ein Amplitudensprung möglich. Dadurch können bereits Informationen mit 3-Bits pro Zyklus codiert werden.

QAM dient als Codiervorgang für analoge Modems und wird als Basis für ADSL-Technologien eingesetzt (Bis zu 8 MBit/s !)

ADSL-Prinzip (Asymmetric Digital Subscriber Line)

ADSL arbeitet mit einem sogenannten Frequenzgetrenntlageverfahren. Die Übertragung der Breitbanddaten erfolgt bei Frequenzen oberhalb des vom Telefon genutzten Bereichs. Frequenzen bis 3,4 kHz stehen wie gewohnt dem analogen Telefonanschluss zur Verfügung. Das Frequenzband darüber bis ca. 80 kHz ist für ISDN und zwischen 138 kHz und 1,1 MHz kommt ADSL zum Einsatz. Um die Übertragung zu beschleunigen, wird ein asymmetrisches Übertragungsverfahren eingesetzt. Dabei steht für die Datenübertragung vom Internet zum Benutzer (downstream) eine wesentlich höhere Bandbreite zur Verfügung als beim umgekehrten Datenfluss (upstream).



Um bei analogen ADSL-Anschlüssen gleichzeitig den Internet- und den Telefonkanal benutzen zu können, werden die Frequenzbänder durch Mikrofilter (passive Filter) getrennt.

Als Basis für das hier verwendete Modulationsverfahren diente QAM, das Verfahren heisst *discrete multitone* DMT.

5.6 Multiplexverfahren

In der Informationstechnik ist man bestrebt, mit möglichst wenigen Übertragungsstrecken möglichst viele Informationen zu übertragen. Dies kann durch *Multiplexverfahren* erfolgen; dazu dienen *Multiplexer*- und *Demultiplexerschaltungen*.

Allgemeines Prinzip des Multiplexverfahrens:



5.6.1 Frequenzmultiplexverfahren (FDM: Frequency Division Multiplex)

Man bedient sich auch hier der **Trägerfrequenztechnik**.

Verschiedene Kanäle, z.B. Sprachfrequenzbänder, werden aus ihrer Frequenzlage durch Modulation in voneinander verschiedene höhere Frequenzbereiche umgesetzt. Im Multiplexer wird die Amplitude der höherfrequenten Trägerschwingung durch die Information des Eingangssignals geändert (Amplitudenmodulation).

Nach der Übertragung können die einzelnen Informationen im Demultiplexer durch Bandfilter wieder voneinander getrennt und demoduliert werden.

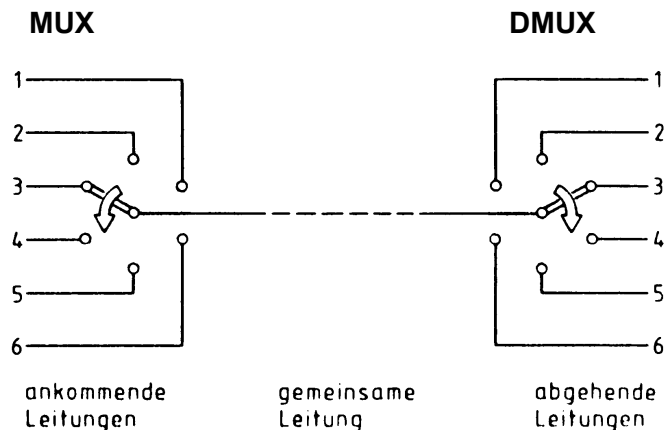
Bsp: TV-Kabel, alle Stationen auf dem gleichen Kabel, auf verschiedenen Frequenzen.

Nachteile des FDM

Die erforderlichen Zwischenverstärker erzeugen ein Rauschen. Je länger die Übertragungsstrecke, um so schlechter wird der Rauschspannungsabstand (Unterschied zwischen Nutzsignal und Rauschen). Ferner sind zur Trennung der einzelnen Kanäle aufwendige Filter nötig.

5.6.2 Zeitmultiplexverfahren (TDM: Time Division Multiplex)

Die Eingangssignale verschiedener Kanäle werden *zeitlich nacheinander* abgetastet und übertragen. Dies lässt sich mit einer Pulsmodulation realisieren. Im Beispiel werden den 6 Kanälen kurze Signalausschnitte entnommen, über die Leitung geschickt und den entsprechenden Empfängern zugeteilt. Der Empfänger erhält nur eine Folge kurzer Impulse und muss daraus das Signal zurückgewinnen.



MUX und DMUX müssen synchron arbeiten. Bei der Abtastung von analogen Signalen muss das **Abtasttheorem** eingehalten werden, das heisst es braucht mehr als zwei Abtastungen (Samples) pro Periode einer Signalschwingung.

$$\text{Samplingfrequenz} \quad f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$$

$$\text{Abtastperiodendauer} \quad T_s = \frac{1}{f_s}$$

$$\text{Grösstzulässige Abtastzeit} \quad \tau < \frac{T_s}{n}$$

$f_{\max}$ maximal auftretende Signalfrequenz
 n Anzahl Kanäle

ENDE HF