2 Bitübertragungsschicht (Physical Layer)

2.1. Definition

2.2. Mechanische, elektrische und funktionale Spezifikation

2.3. Übertragungstechniken, Modulation, Multiplexing

2.4. Physikalische Medien

2.5. Beispiele: V.24, ADSL

2.1 Bitübertragungsschicht, Definition

ISO-Definition

Die Bitübertragungsschicht (physical layer) definiert die mechanischen, elektrischen, funktionalen und prozeduralen Eigenschaften, um physikalische Verbindungen zwischen Datenendeinrichtungen (DEE; englisch: DTE) und Datenübertragungseinrichtungen (DÜE; englisch: DCE, "Poststeckdose") aufzubauen, aufrecht zu erhalten und abzubauen.

Die Bitübertragungsschicht sorgt für die Übertragung eines transparenten Bitstroms zwischen Sicherungsschicht-Entities über physikalische Verbindungen. Eine physikalische Verbindung kann die Übertragung eines Bitstroms im Duplex-Mode oder im Halbduplex-Mode erlauben.

Eigenschaften der Bitübertragungsschicht

mechanisch: Abmessungen der Stecker, Anordnung der Pins, etc. z.B. ISO 4903: Data Communication – 15 pin DTE/DCE interface connector and pin assignment

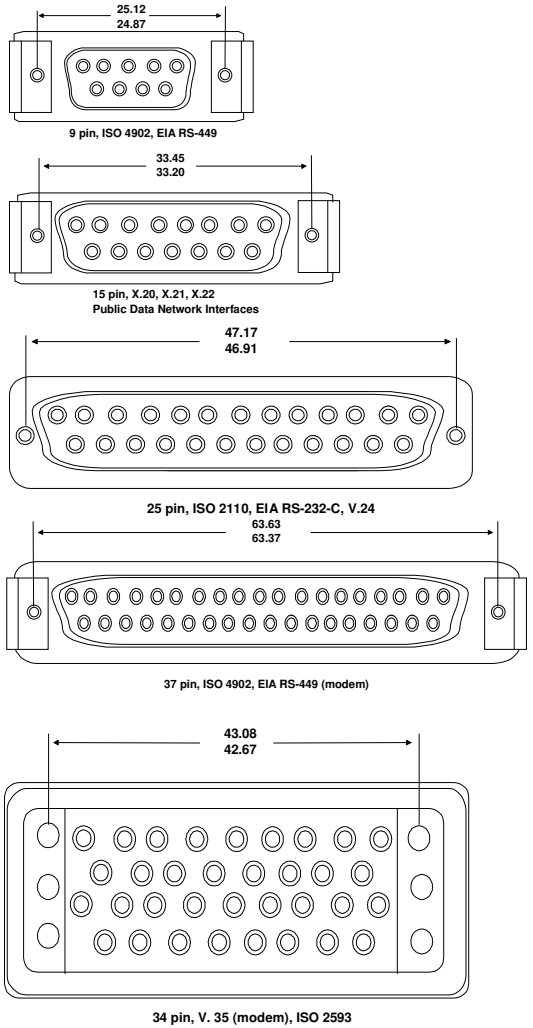
elektrisch: Spannungspegel auf Leitungen, etc. z.B. CCITT X.27/V.11: Electrical characteristics for balanced double-current interchange for general use with integrated circuit equipment in the field of data communication

funktional: Klassifikation von Schnittstellenleitungsfunktionen (welcher Pin hat welche Funktion: data, control, timing, ground) z.B. CCITT X.24: List of definitions for interchange circuits between DTE and DCE on public data networks

prozedural: Regeln (Prozeduren) für die Benutzung der Schnittstellenleitungen, z.B. CCITT **X.21**: Interface between DTE and DCE for synchronous operation on public data networks

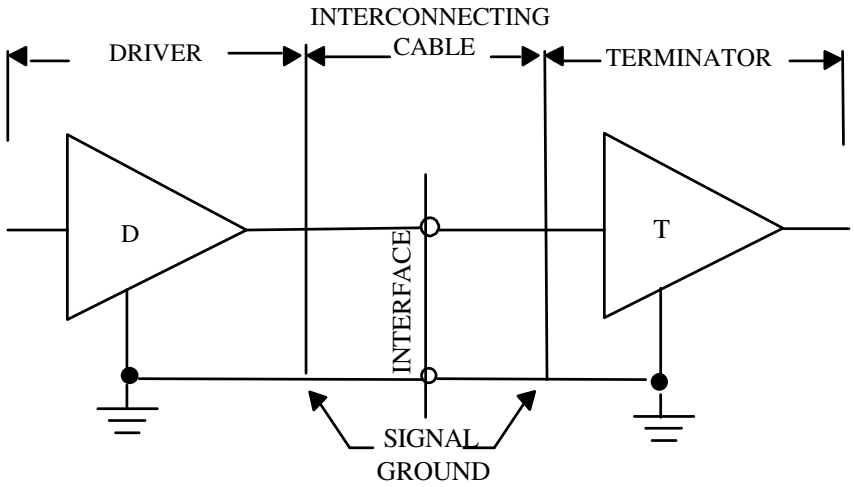
2.2 Mechanische, elektrische und funktionale Spezifikation

Mechanische Eigenschaften



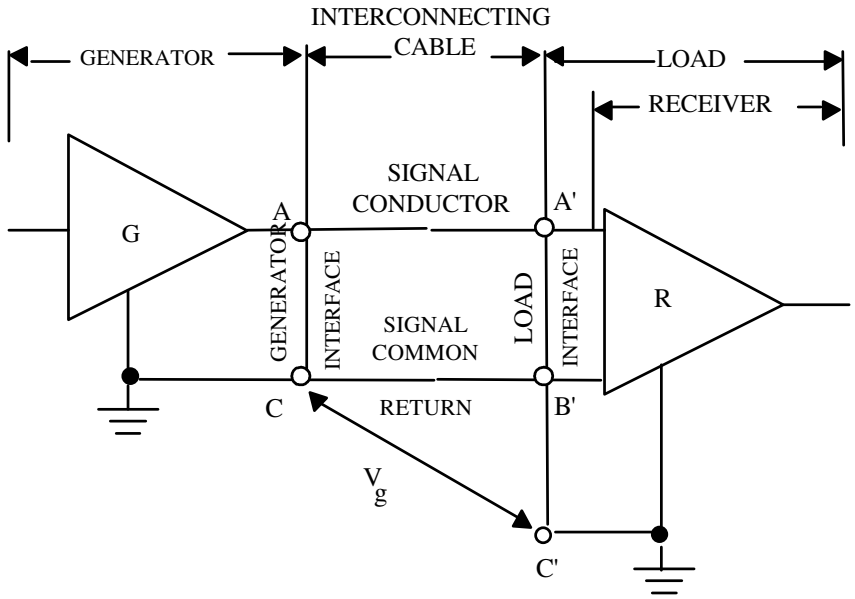
Elektrische Eigenschaften

CCITT V.28 (EIA RS-232-C)



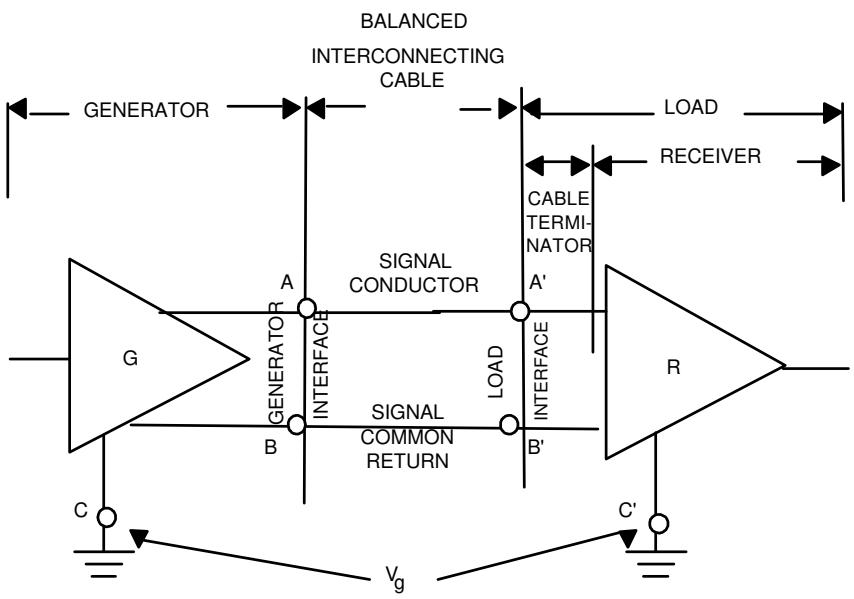
- Für **diskrete** elektronische Bauelemente
- Ein Leiter pro Stromkreis, mit einer gemeinsamen Erdung für beide Richtungen
- Bitrate begrenzt auf 20 kbit/s
- Entfernung begrenzt auf 15 m
- Erzeugt erhebliches "Übersprechen"

CCITT V.10/X.26 (EIA RS-423-A)



- Für IC-Bauelemente (integrierte Schaltkreise)
- Ein Leiter pro Stromkreis, mit je einer Erdungsleitung pro Richtung
- Bitrate bis zu 300 kbit/s
- Entfernung bis zu 1000 m bei 3 kbit/s oder bis zu 10 m bei 300 kbit/s
- Reduziertes "Übersprechen"

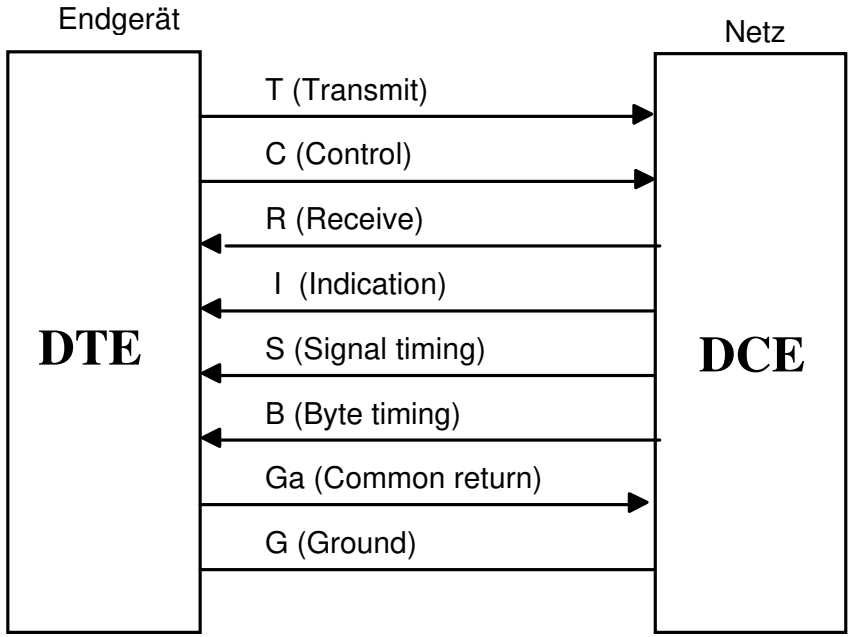
CCITT V.11/X.27 (EIA RS-422-A)



- Für IC-Bauelemente (integrierte Schaltkreise)
- Zwei Leiter pro Stromkreis
- Bitrate bis zu 10 Mbit/s
- Entfernung bis zu 1000 m bei 100 kbit/s oder bis zu 10 m bei 10 Mbit/s
- Minimales "Übersprechen"

Funktionale und prozedurale Eigenschaften

Signalleitungen bei X.21

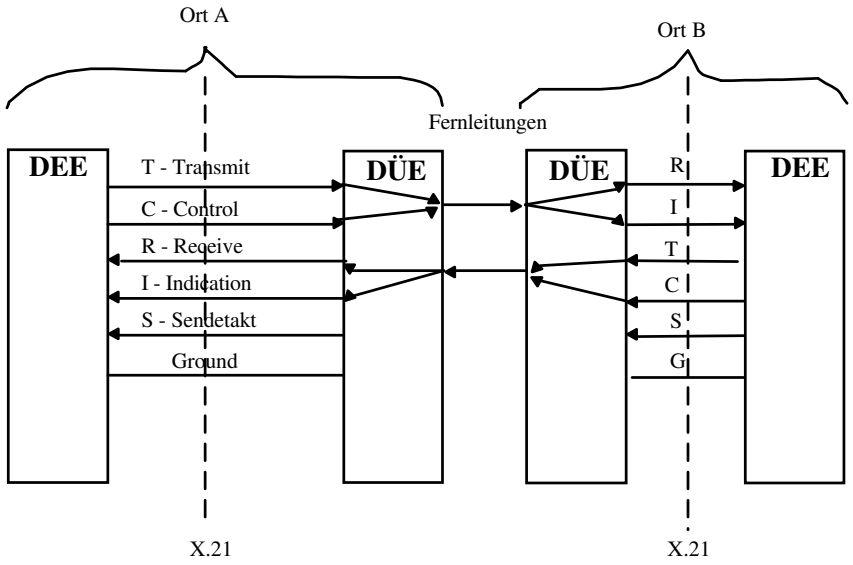


Funktionale/prozedurale Spezifikation in X.21

Erläutert in Analogie zum Telefon

Schritt	C	I	Ereignis analog zum Telefon	DTE sendet auf T	DCE sendet auf R
0	Aus	Aus	idle (Ruhezustand)	T=1	R=1
1	Ein	Aus	DTE nimmt Hörer ab	T=0	
2	Ein	Aus	DCE sendet Wähl-ton		R="+++..+"
3	Ein	Aus	DTE wählt Telefon-nummer	T=Adresse	
4	Ein	Aus	Entferntes Telefon klingelt		R=Dienst
5	Ein	Ein	Entferntes Telefon abgehoben		R=1
6	Ein	Ein	Gespräch (Daten-austausch)	T=Daten	R=Daten
7	Aus	Ein	DTE verabschiedet sich	T=0	
8	Aus	Aus	DCE verabschiedet sich		R=0
9	Aus	Aus	DCE legt auf		R=1
10	Aus	Aus	DTE legt auf; -> idle	T=1	

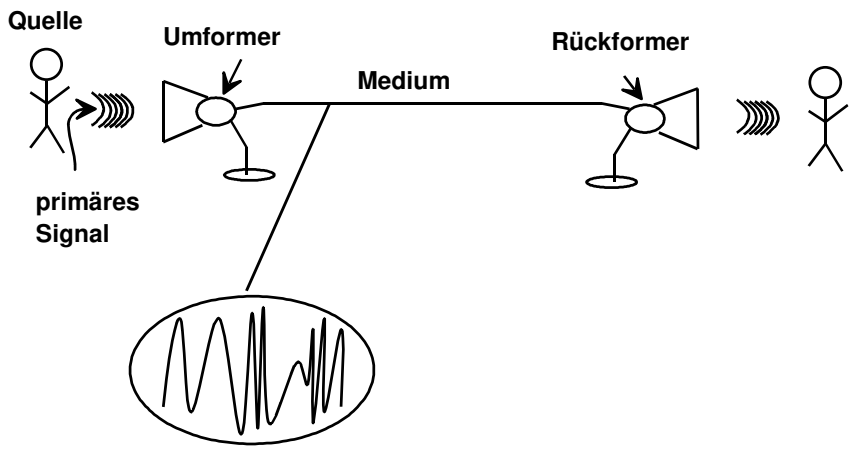
Lokale Schnittstelle vs. Fernleitung



Die Anzahl der Leitungen auf der Fernstrecke muss nicht gleich der Anzahl der Leitungen an der Endgeräte-Schnittstelle sein!

2.3 Übertragungstechniken, Modulation, Multiplexing

Signalübertragung



Beispiel: Telefon, analoge Signale

Das Primärsignal (hier akustisch) wird durch Umformer in ein elektrisches (hier analoges) Signal umgewandelt und durch Rückformer zurückgewandelt. Im weiteren gehen wir jedoch davon aus, dass bereits das quellenseitige Primärsignal in elektrischer Form vorliegt und das senkenseitige Primärsignal wieder ein elektrisches Signal ist. Das Übertragungssignal kann ebenfalls elektrisch sein, mit gleichem oder anderem Verlauf als das Primärsignal, aber auch beispielsweise optisch.

Signale

Ein **Signal** ist eine physikalische Repräsentation von Daten.

Signalparameter sind diejenigen physikalischen Kenngrößen eines Signals, deren Wert oder Werteverlauf die Daten repräsentieren.

Bei räumlichen Signalen sind die Werte des Signalparameters S Funktionen des Ortes:

$$S = S(x, y)$$

Bei zeitabhängigen Signalen sind die Werte des Signalparameters S Funktionen der Zeit:

$$S = S(t)$$

Einteilung zeitabhängiger Signale in Klassen:

1. zeitkontinuierliche, wertkontinuierliche Signale
2. zeitdiskrete, wertkontinuierliche Signale
3. zeitkontinuierliche, wertdiskrete Signale
4. zeitdiskrete, wertdiskrete Signale

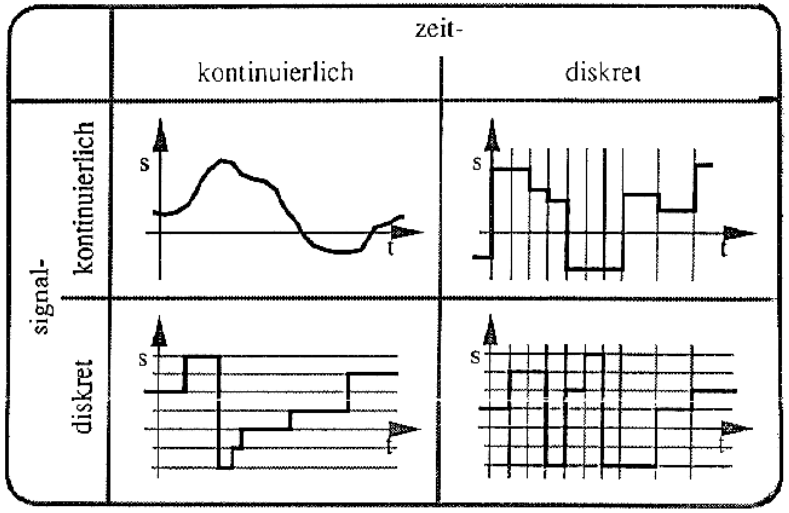
Ist zu jedem Zeitpunkt ein Signalwert vorhanden?

ja: zeitkontinuierlich
nein: zeitdiskret

Sind alle Signalwerte im Wertebereich zulässig?

ja: wertkontinuierlich
nein: wertdiskret

Signalklassen

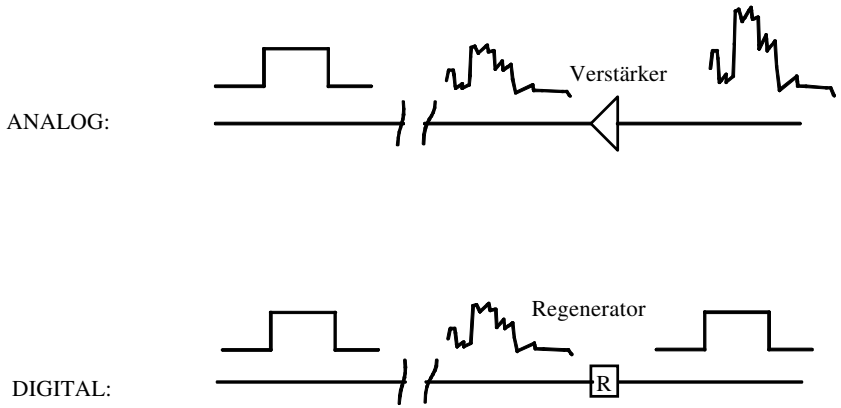


- wert- und zeitkontinuierlich: analoges Telefon
- wertkontinuierlich, zeitdiskret: Prozesssteuerung mit periodischen Messzeitpunkten
- wertdiskret, zeitkontinuierlich: digitale Übertragung mit beliebigen Signalwechseln
- wert- und zeitdiskret: digitale Übertragung mit isochronem Taktmuster

Grundlegende Übertragungstechniken

- Digitale Eingabe, digitale Übertragung:
  Digitale Leitungscodierung
- Digitale oder analoge Eingabe, analoge Übertragung:
  Modulationstechniken
- Analoge Eingabe, digitale Übertragung:
  Digitalisierung (Abtastung)

Analoge und digitale Übertragung



Moderne Basisbandverfahren

Moderne digitale Übertragungstechnik verwendet Basisbandverfahren bis zu sehr hohen Bitraten im Multi-Mega-bit/s-Bereich (PCM-Technik, lokale Netze, ISDN usw.). Dabei erwünscht bzw. erforderlich:

- kein Gleichstromanteil
- Wiedergewinnung des Takts aus der ankommenden Signalfolge (selbsttaktende Signalcodes)
- Erkennen von Übertragungsfehlern bereits auf der Signalebene

Signalcodierung, Leitungscodierung, Übertragungscode

Die Zuordnungsvorschrift

digitales Datenelement - digitales Signalelement

wird als **Signal- oder Leitungscodierung** bezeichnet.

Die sich ergebenden zeit- und wertdiskreten Signalverläufe heißen Leitungscodes oder Übertragungscodes.

Wichtige Leitungscodierungen (1)

- Nonreturn to zero-level (NRZ-L)
  1 = high level
  0 = low level

- Nonreturn to zero-mark (NRZ-M)
  1 = transition at beginning of interval
  0 = no transition

- Nonreturn to zero-space (NRZ-S)
  1 = no transition
  0 = transition at beginning of interval

- Return to zero (RZ)
  1 = pulse in first half of bit interval
  0 = no pulse

- Biphase-level (Manchester)
  1 = transition from high to low in middle of interval
  0 = transition from low to high in middle of interval

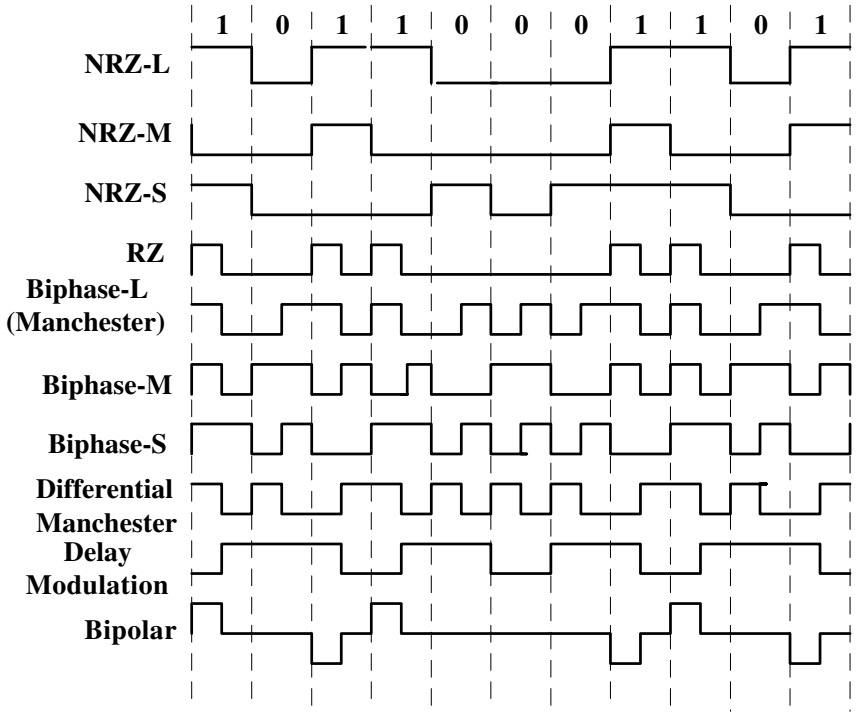
- Biphase-mark
  Always a transition at beginning of interval
  1 = transition at middle of interval
  0 = no transition at middle of interval

Wichtige Leitungscodierungen (2)

- Biphase-space
  - Always a transition at beginning of interval
  - 1 = no transition at middle of interval
  - 0 = transition at middle of interval
- Differenzial Manchester
  - Always a transition at middle of interval
  - 1 = no transition at beginning of interval
  - 0 = transition at beginning of interval
- Delay modulation (Miller)
  - transition at end of interval if followed by 0
  - 1 = transition in middle of interval
  - 0 = no transition if followed by 1
- Bipolar
  - 1 = pulse in first half of bit interval, alternating polarity from pulse to pulse
  - 0 = no pulse

Leitungscodes

Beispiel



Leitungscodierung digitaler Signale (1)

NRZ (Non Return to Zero)
Das gemeinsame Kennzeichen der NRZ-Leitungscodes ist ein fester Pegel während eines Bitintervalls. Signalübergänge (Signalwechsel) erfolgen an den Intervallgrenzen. NRZ ist sehr einfach zu implementieren.

NRZ-L (Level)
Zuordnung eines festen Pegels zu einem binären Datenelement:

„1“ = hoher Pegel
„0“ = niedriger Pegel

NRZ-L ist Standard innerhalb von Digitalgeräten (Rechnern, usw.)

Leitungscodierung digitaler Signale (2)

NRZ-M (Mark), NRZ-S (Space)
Differenzielle Codierung: Es wird nicht der absolute Signalwert eines Signalelements in der Zuordnungsvorschrift verwendet, sondern der Signalwert in Abhängigkeit von der Polarität des vorhergehenden Signalelements.

NRZ-M: Signalwechsel (Übergang in den entgegengesetzten Signalwert) zur Darstellung des Datenelements „1“.

NRZ-S: Signalwechsel bei Datenelement „0“.

Vorteile gegenüber NRZ-L: Unter Einfluss von Störungen (Rauschen) sind Signal*wechsel* leichter zu detektieren als Signal*pegel*, die mit einem Schwellwert verglichen werden müssen.

Nachteile aller NRZ-Codes: die Gleichstromkomponente und Synchronisierungsprobleme zwischen Sender und Empfänger (z.B. bei langen „0“-Folgen bei NRZ-L und NRZ-M)

Leitungscodierung digitaler Signale (3)

Return to Zero

Gekennzeichnet durch einen Rechteckimpuls in der ersten Hälfte des Bitintervalls für das Datenelement „1“. Danach Rückkehr in einen Grundzustand (Zero). Die Baudrate (Rate der Rechteckimpulse) ist im Extremfall (Folge von Einsen) doppelt so hoch wie die Bitrate. Keine Vorteile gegenüber NRZ, aber höhere Bandbreite und alle anderen NRZ-Nachteile.

Biphase

Alle Biphase-Leitungscodierungen haben mindestens einen Signalwechsel pro Bitintervall und höchstens zwei Signalwechsel pro Bitintervall.

Vorteile:

- Leichte Synchronisierung, da stets mindestens ein Signalwechsel pro Bitintervall (eine "Impulsflanke" zum Triggern des Empfängers)
- Keine Gleichstromkomponente
- Fehlererkennung auf Signalebene möglich: Fehlen eines erwarteten Übergangs leicht erkennbar

Leitungscodierung digitaler Signale (4)

Biphase-L (Level)

Wird auch als Manchester-Code bezeichnet. Signalwechsel in der Mitte des Intervalls. Je nach Bitfolge (Datenelemente) Hilfswechsel an den Intervallgrenzen erforderlich (verdoppelte Baudrate).

Biphase-M (Mark), Biphase-S (Space)

Grundsätzlich immer ein Signalwechsel am Beginn des Intervalls.
Biphase-M: bei „1“ zusätzlicher Signalwechsel in der Intervallmitte
Biphase-S: bei „0“ zusätzlicher Signalwechsel in der Intervallmitte
Richtung des Wechsels abhängig vom „Grenzwechsel“.

Differenzial Manchester

Grundsätzlich ein Signalwechsel in der Intervallmitte. Bei „0“ zusätzlich ein Signalswechsel am Intervallbeginn.

Leitungscodierung digitaler Signale (5)

Bipolar
Beispiel einer Leitungscodierung mit mehr als zwei Signalwerten (hier tertiäres Signal).
„1“ wird abwechselnd durch positiven oder negativen Impuls in der 1. Hälfte des Bitintervalls dargestellt, dadurch keine Gleichstromkomponente.
Auch AMI (Alternate Mark Inversion) genannt.

Digitale/analoge Daten, analoge Signale

Modulation: verschlüsselt Quelldaten auf ein Trägersignal

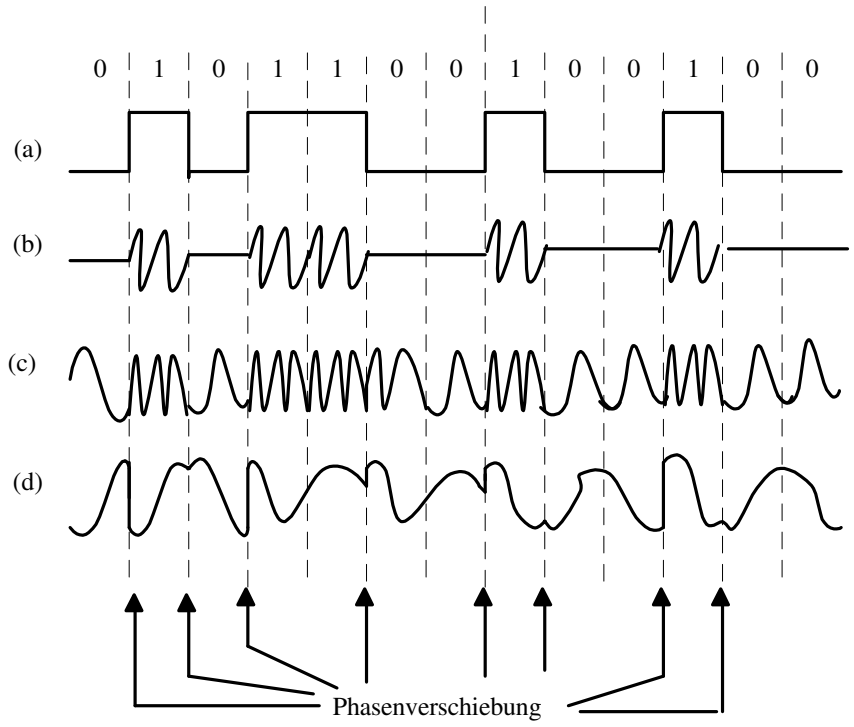
Modem: Modulator - Demodulator

Beispiel: Übertragung von digitalen Daten über das Telefonnetz

Modulationstechniken

- Amplitude Modulation (AM), Amplitude Shift Keying (ASK)
- Frequency Modulation (FM), Frequency Shift Keying (FSK)
- Basis für Frequency Division Multiplexing (FDM)
- Phase Modulation (PM), Phase Shift Keying (PSK)

Modulationstechniken



(a) Binärsignal
(b) Amplitudenmodulation (AM)
(c) Frequenzmodulation (FM)
(d) Phasenmodulation (PM)

Multiplexing: Mehrfachnutzung von Übertragungswegen

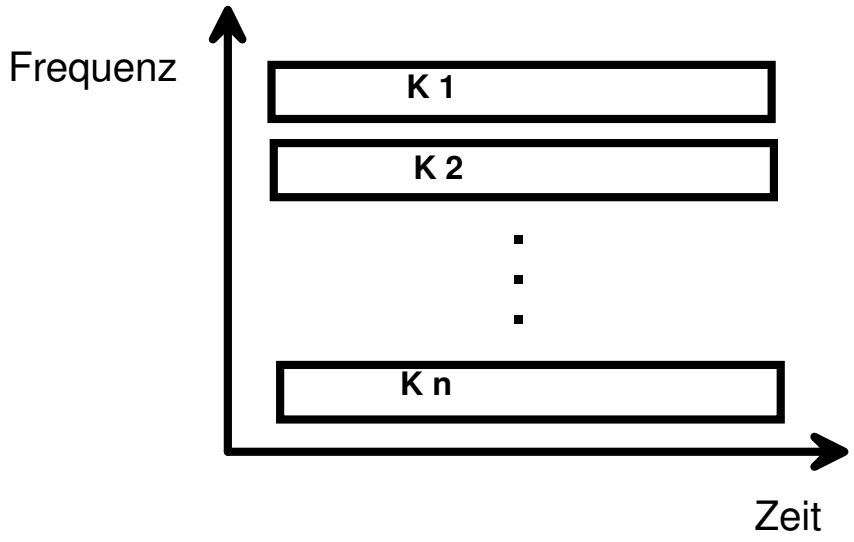
Übertragungsweg
physikalisch-technisches Transportsystem für Signale (z.B. Kabel)

Übertragungskanal
Abstraktion eines Übertragungsweges für einen Signalstrom

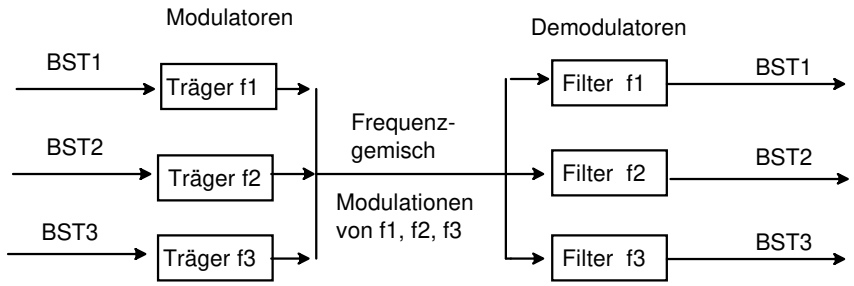
Auf einem Übertragungsweg können oft mehrere Übertragungskanäle parallel betrieben werden. So ist beispielsweise eine Aufspaltung der gesamten Übertragungskapazität eines Übertragungsweges auf verschiedene Sender-Empfänger-Paare möglich. Die Zusammenfassung von mehreren Übertragungskanälen auf einem Übertragungsweg heißt **Bündelung** oder **Multiplexing.**

Frequenzmultiplexing (Frequency Division Multiplexing)

Breitbandige Übertragungswege ermöglichen die Unterbringung vieler Übertragungskanäle in unterschiedlichen Frequenzbereichen (Frequenzbändern), d.h. man teilt die verfügbare Bandbreite in eine Reihe von - nicht notwendigerweise gleich breite - Frequenzbänder auf und ordnet jedem Frequenzband einen Übertragungskanal zu.

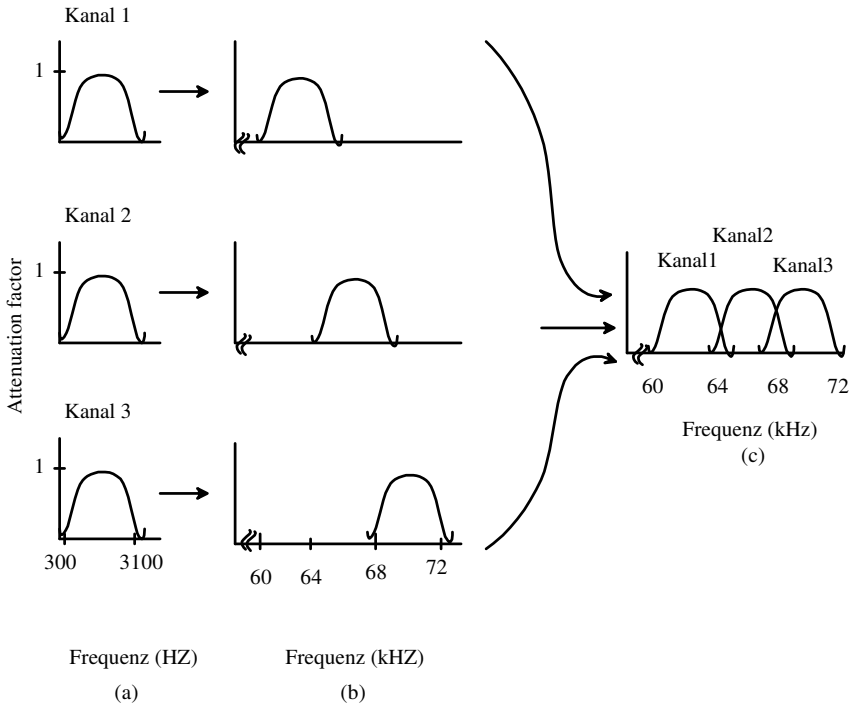


Schema der technischen Realisierung eines Frequenzmultiplex-Systems



BST i = Bitstrom i, entspricht Kanal i

Frequenzmultiplexing

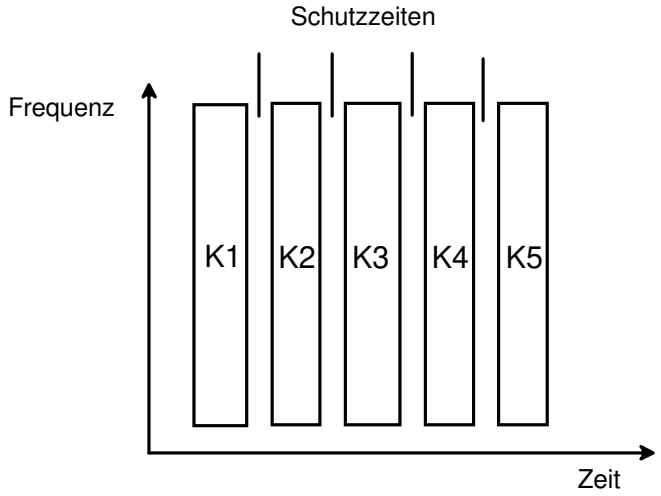


(a) Die ursprünglichen Bandbreiten
(b) Die Bandbreiten mit verschobener Frequenz
(c) Auf dem Übertragungsweg (Kabel)

Synchrones oder starres Zeitmultiplexing (Time Division Multiplexing)

Die gesamte Übertragungskapazität (die ganze verfügbare Bandbreite) wird einer Sender-Empfänger-Kombination zur Verfügung gestellt. Nach einer Schutzzeit wird dann die gesamte Kapazität des Übertragungsweges dem nächsten Kanal zugeteilt. Pro Periode erhält also jeder Kanal einen **Zeitschlitz** (time slot).

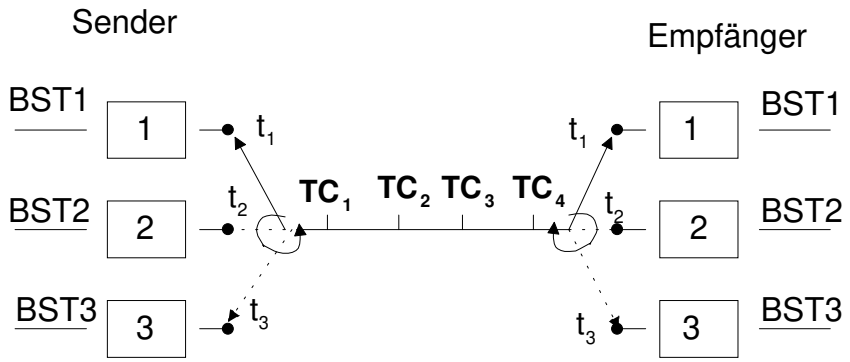
Diese zeitlich gestaffelte Übertragung mehrerer Signalströme wird als Zeitmultiplexing (TDM = time division multiplexing) bezeichnet.



Synchrones Zeitmultiplexing (2)

Zeitmultiplexing ist nur für zeitdiskrete Signale einsetzbar (bevorzugt zeit- und wertdiskrete Signale = Digitalsignale)

Festes Zeitmultiplex mit starrer Zeitscheibenzuteilung



Jedem der n Sender wird periodisch eine Zeitscheibe (time slot, time slice) TC1, TC2 .... TCn zugeteilt. Sender, Abtaster und Detektionsmechanismus beim Empfänger laufen im gleichen Takt. Deshalb auch als *synchrones Zeitmultiplexing* bezeichnet.

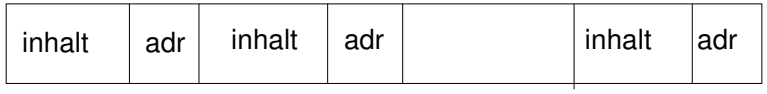
Zeittakt-Stabilität ist wichtig!

Asynchrones Zeitmultiplexing

Der Übertragungsweg wird dem Sender nicht fest, sondern nach Bedarf zugeteilt. Der Empfänger kann aus der Zeitlage der Zeitscheiben nicht mehr die Herkunft identifizieren! Es wird eine Kennung pro Datenblock (Paket, Zelle) erforderlich (Empfängeradresse, Kanalkennzahl, o.Ä.)

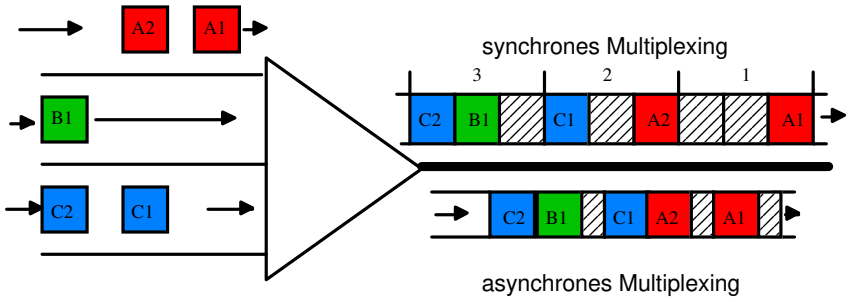
Schematischer Aufbau eines Übertragungsblocks mit Kennung

Übertragungsrichtung ->



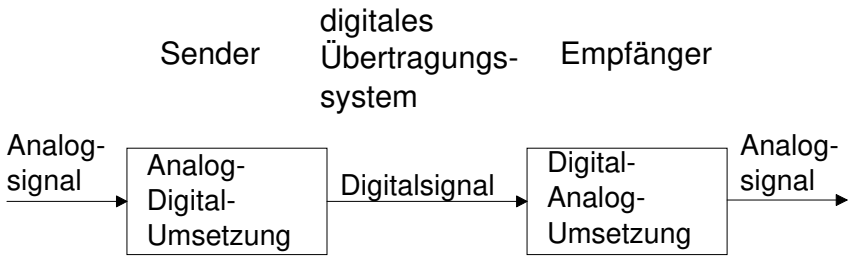
Das anforderungsgesteuerte Zeitmultiplexing (demand multiplexing) wird auch als **statistisches Zeitmultiplexing** (STDM = statistical time division multiplexing) bezeichnet.

Multiplexing-Techniken im Vergleich



Digitale Übertragung analoger Daten

Die Übertragung analoger über digitale Übertragungswege erfordert eine *Digitalisierung* der analogen Daten.



A/D- und D/A-Umsetzung zur Übertragung analoger Signale auf digitalen Übertragungssystemen

analog		**digital**
wertkontinuierlich	Quantisierung →	wertdiskret
zeitkontinuierlich	Abtastung →	zeitdiskret

Vorteile der digitalen Übertragung

- Niedrige Fehlerrate
  - kein durch Verstärker induziertes Rauschen
  - keine Akkumulation des Rauschens über lange Distanzen
- Time Division Multiplexing (TDM) leichter
- Digitale Schaltungen sind billiger

Als Folge setzt sich heute die digitale Speicherung und Übertragung von eigentlich analogen Signalen immer mehr durch:

- Audio-CD
- DAB (Digital Audio Broadcast)
- Digitales Fernsehen mit MPEG-Codierung

Abtastung

Für die Zeitdiskretisierung muss eine Abtastung der Analogverläufe erfolgen. Praktisch wichtig ist vor allem die periodische Abtastung.

Der zum Abtastzeitpunkt vorliegende Momentan-Wert des Analogsignals wird der Analog-Digital-Umsetzung unterworfen.

Abtasttheorem von Shannon und Raabe (1939)

Zur fehlerfreien Rekonstruktion des Signalverlaufs des Analogsignals ist eine Mindestabtastfrequenz f_A erforderlich (bei periodischem Abtastzyklus). Diese hängt von der höchsten im analogen Signal vorkommenden Frequenz ab. Für rauschfreie Kanäle gilt das Folgende

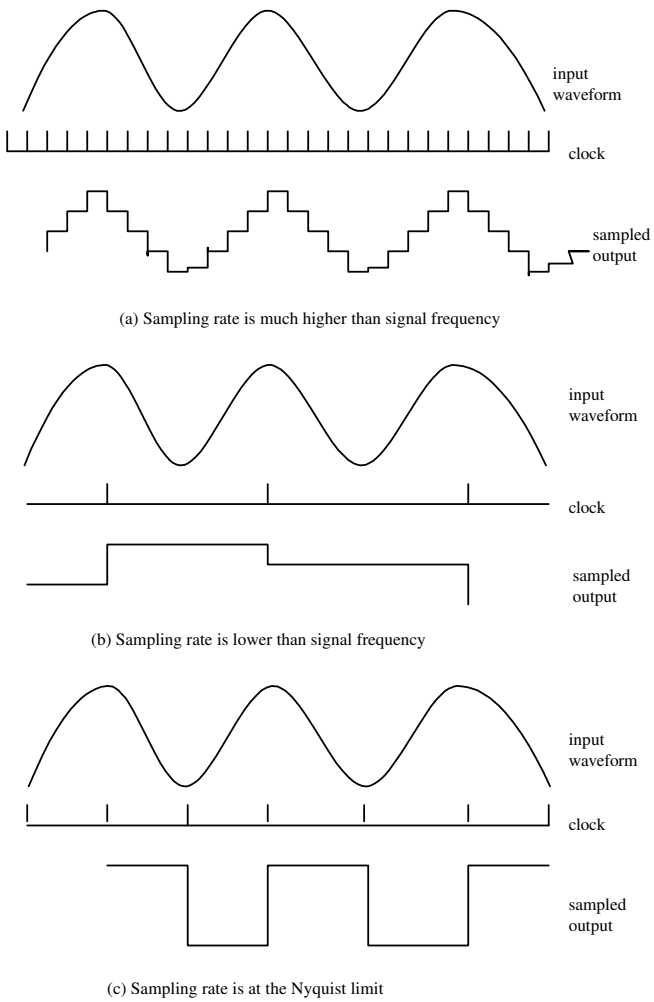
Abtasttheorem

Die Abtastfrequenz f_A muss doppelt so hoch sein wie die höchste im abzutastenden Signal vorkommende Frequenz f_S:

$$f_A = 2\, f_S$$

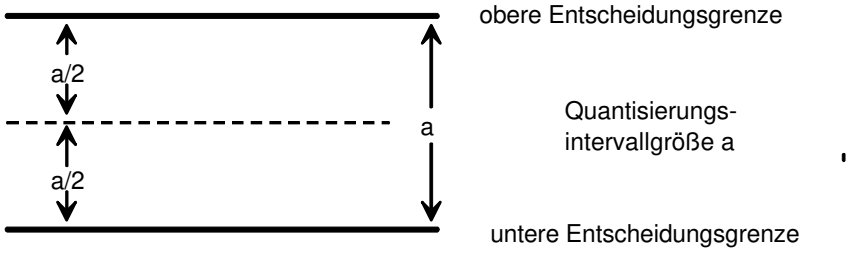
Abtastung und Quantisierung sind voneinander unabhängig zu betrachten. Eine exakte Rekonstruktion des Zeitverlaufs (bzw. des Frequenzspektrums) sagt nichts über den Fehlergrad bei der Signalwertdiskretisierung (Quantisierung) aus.

Beispiel: Abtasten bei verschiedenen Taktraten



Quantisierung

Der gesamte Wertebereich des Analogsignals wird in eine endliche Anzahl von Intervallen (Quantisierungsintervalle) eingeteilt, denen jeweils ein fester diskreter Wert zugeordnet wird. Da alle in ein Quantisierungsintervall fallenden Analogwerte demselben diskreten Wert zugeordnet werden, entsteht ein Quantisierungsfehler.



Rückwandlung

Beim Empfänger wird ein Analogwert rückgewonnen (Digital-Analog-Umsetzung), der dem in der Mitte des Quantisierungsintervalls liegenden Analogwert entspricht.

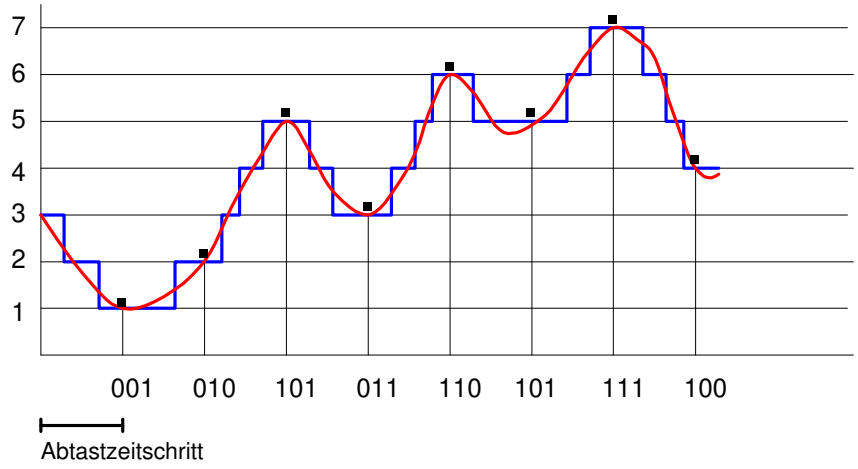
Maximaler Quantisierungsfehler: **a/2**

Codierung

Die quantisierten Werte werden durch die Zuordnung eines - frei wählbaren - (Binär-) Codes gekennzeichnet. Anstelle des ursprünglichen Analogsignals wird der digitale Codewert übertragen.

Im einfachsten Fall wird ein reiner Binärcode als Codierung des diskreten Digitalwertes gewählt (Darstellung als Binärzahl).

Zusammenfassende Darstellung



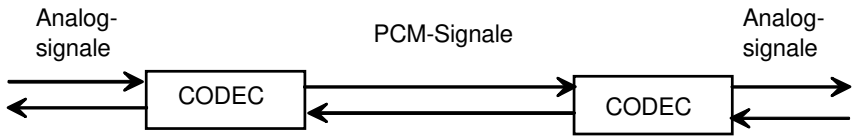
Pulse-Code-Modulation

Die Zusammenfassung der Schritte

Abtastung
Quantisierung
Codierung

und die Darstellung der gewonnenen Codewörter als digitale Basisbandsignale am Ausgang des PCM-A/D-Umsetzers ist Grundlage der in großem Umfang eingesetzen **PCM-Technik**.

Die A/D-Umsetzung (Abtastung/Quantisierung) und Codierung sowie die Rückkonvertierung erfolgt im so genannten CODEC (Codierer/Decodierer).



PCM-Systeme

Die praktische Gestaltung technischer PCM-Systeme wurden insbesondere durch die Telefonie beeinflusst, obwohl grundsätzlich jede Art analoger - nach Digitalisierung - und digitaler Daten unter Verwendung digitaler PCM-Systeme übertragbar ist.

Praktisch eingesetzte PCM-Systeme kombinieren sehr häufig eine PCM-Codierung der Einzelkanäle mit einem Zeitmultiplexing auf dem Übertragungsweg. Beispiel: Telefonkanäle auf Glasfaserkabeln.

Inzwischen spielt PCM auch im Bereich der digitalen Heimelektronik (Radio, CD, Video-Camcorder) eine zunehmende Rolle.

PCM-Fernspechkanal

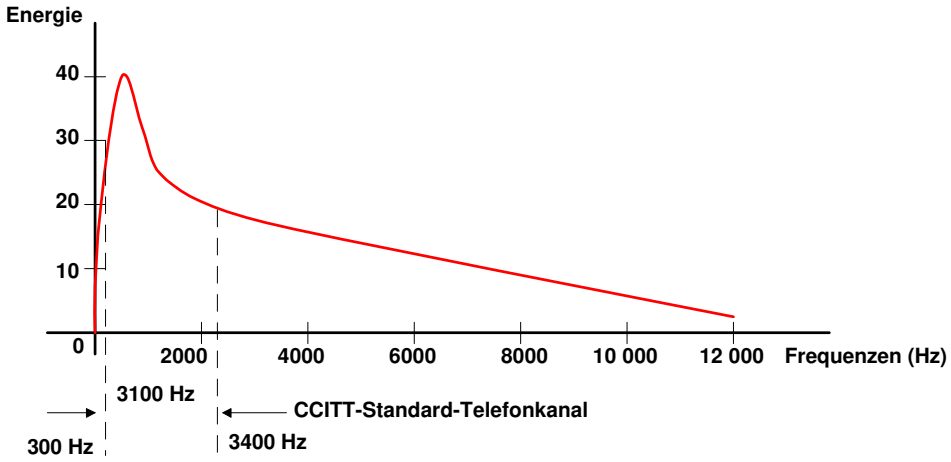
Schon vor vielen Jahren hat die ITU (vormals CCITT) zwei PCM-Übertragungssysteme genormt.

Ausgangspunkt:	Analoger CCITT-Fernsprechkanal
Frequenzlage:	300-3400 Hz
Bandbreite:	3100 Hz
Abtastfrequenz:	**f_A = 8 kHz**
Abtastperiode:	**$T_A = 1/ f_A = 1/8000$ Hz = 125µs**

Die vom CCITT gewählte Abtastfrequenz ist etwas höher als nach Shannon-Abtasttheorem erforderlich: 3400Hz obere Bandgrenze ergibt 6800 Hz Abtastfrequenz. Für diese höhere Abtastfrequenz gibt es technische Gründe (Filtereinfluss, Kanaltrennung usw.).

Fequenzspektrum eines Signals

Bandbegrenztes Signal
Signale können ein „natürlich“ begrenztes - kontinuierliches - Frequenzspektrum umfassen oder durch technische Mittel auf einen Ausschnitt ihres Spektrums begrenzt werden (Filter).



Kontinuierliches Frequenzspektrum der menschlichen Stimme und Bandbreite des CCITT-Standardtelefonkanals.

Amplitudenquantisierung

Die Zahl der benötigten Quantisierungsintervalle wird bei der akustischen Sprachkommunikation (Fernsprechen) durch den Grad der Silbenverständlichkeit beim Empfänger bestimmt. Mit „Sicherheitszuschlag“ wurden vom CCITT 256 Quantisierungsintervalle genormt (empirisch ermittelt).

Bei binärer Codierung werden die 256 Intervalle mit 8 Bits dargestellt.

Die Übertragungsgeschwindigkeit (Bitrate) für einen digitalisierten Fensprechkanal ist demnach

Bitrate = Abtastfrequenz x Codewortlänge

kbit/s = 8000/s x 8 bit

= 64kbit/s

Ungleichförmige Quantisierung (1)

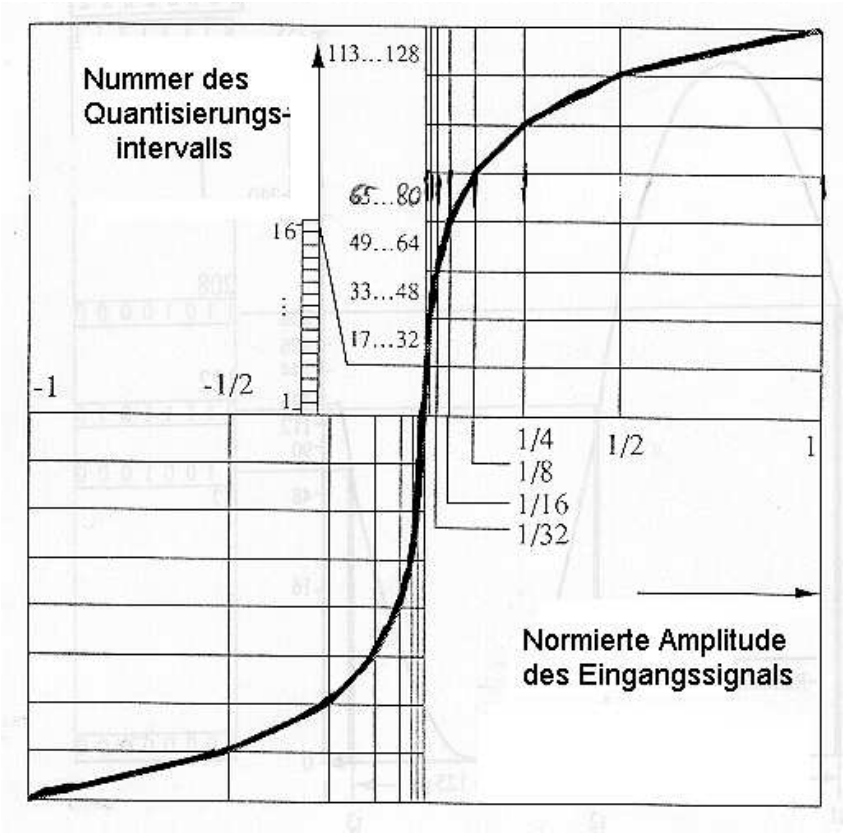
Bei gleichförmiger Quantisierung sind alle Intervalle gleich groß und vom Momentanwert des Signals unabhängig. Quantisierungsfehler machen sich bei gleichförmiger Quantisierung bei kleinen Signalwerten sehr stark bemerkbar (Quantisierungsrauschen).

Bei ungleichförmiger Quantisierung sind die Quantisierungsintervalle bei großer Signalamplitude größer und bei kleiner Amplitude kleiner.

Die ungleichförmige Intervallgröße wird durch einen dem Quantisierer vorgeschalteten (Signal-) *Kompressor* erzielt. Auf der Empfangsseite wird in inverser Funktion ein *Expander* eingesetzt. Er dient zur Wiederherstellung der ursprünglichen Größenverteilung der Signale (Dynamik der Signale).

Als Kompressionskennlinien werden logarithmische Kennlinien verwendet, die schaltungstechnisch durch lineare Teilstücke approximiert werden.

Ungleichförmige Quantisierung (2)



13 Segment-Kompressorkennlinie

PCM-Multiplexsysteme (1)

Für jedes Zeitmultiplex-System sind Systemparameter festzulegen, z.B.:

- die kleinste Übertragungseinheit pro Zeitabschnitt (Bit, Byte, n-bit-Wort, Block)
- die Häufigkeit der Zeitscheibenzuteilung an einen Übertragungskanal
- Synchronisierhilfen
- Melde- und Signalisierdaten

Struktur des genormten PCM in der Telefonie:

- pro Zeitscheibe: 8 Bits
- Übertragungszeit pro Kanal: ca. 3,9 µs
- Verschachtelungsgrad (die Periode): 32 Kanäle

PCM-Multiplexsysteme (2)

Die 32 Zeitabschnitte sind mit 0 bis 31 nummeriert. Ein Abschnitt ist ca. 3,9 µs lang. Die gesamte Rahmendauer ist bei PCM30 mit 125 Mikrosekunden genormt.

Im Zeitabschnitt 0 werden abwechselnd *Rahmenkennworte* (u.a. zur Rahmenidentifizierung, Synchronisierung) und *Meldeworte* (u.a. zur Überwachung der Digitalsignalleitung) übertragen.

Der *Kennzeichenabschnitt* dient zur Übertragung vermittlungstechnischer Daten, wie Wählzeichen usw.

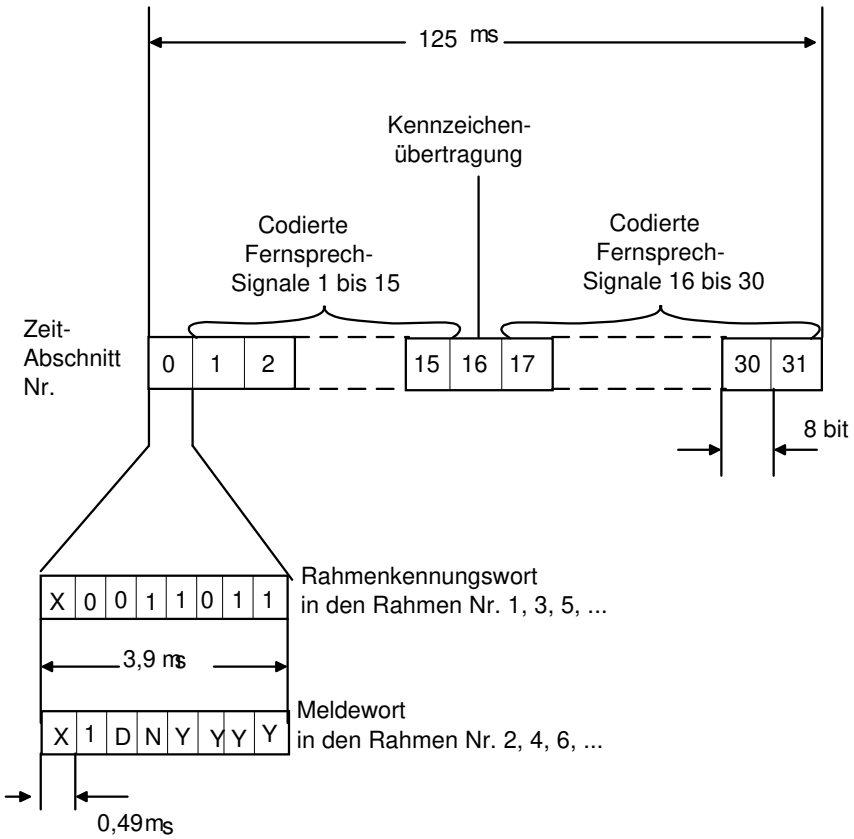
Die 30 übrigen Zeitabschnitte nehmen jeweils 8 Bits (einen Abtastwert) eines digitalen Fernsprechkanals von 64kbit/s auf.

Anstelle von Fernsprechsignalen können auch beliebige andere digitalisierte Daten in Einheiten von 8 Bits über ein digitales PCM-System übertragen werden.

PCM - Hierarchie

PCM	30 =	2,048 Mbit/s
PCM	120 =	8.448 Mbit/s
PCM	480 =	34,368 Mbit/s
PCM	1920 =	139,294 Mbit/s
PCM	7680 =	564,992 Mbit/s

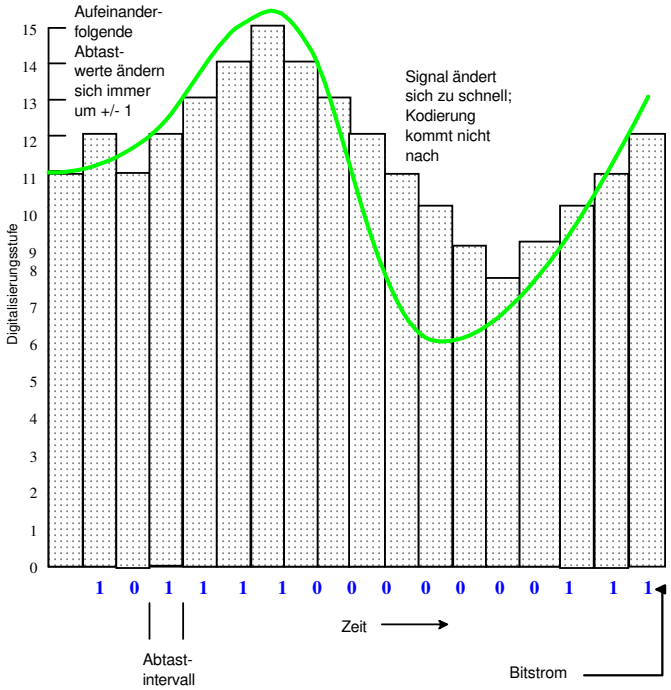
Pulsrahmen des Systems PCM 30



D Meldebit für dringenden Alarm
N Meldebit für nicht dringenden Alarm
X für internationale Verwendung reservierte Bits
Y für nationale Verwendung reservierte Bits

Delta-Modulation

In der Regel ist die *Änderung* des Signals zwischen zwei Abtastzeitpunkten geringer als der *Absolutwert* des Signals. Die Delta-Modulation codiert Änderungen von +/- einer Quantisierungsstufe:



1 = steigendes Signal

0 = fallendes Signal

Asynchrone vs. synchrone Übertragung

Asynchron:

Kein explizites Taktsignal zwischen Sender und Empfänger

Synchron:

Taktsignal wird über die Leitung übertragen. Wird für die genaue Abstimmung der Bitimpulse (Synchronisation) auf beiden Seiten der Leitung benutzt.

Asynchrone Übertragung (1)

- Sender und Empfänger besitzen voneinander unabhängige (lokale) Taktgeber
- "Freie Leitung" entspricht einem kontinuierlich gesendeten 1-Bit
- Das Start-Bit setzt die Leitung auf 0 und startet den Taktgeber des Empfängers
- Ein Rahmen mit 5 bis 8 Bits (= ein Zeichen) wird übertragen
- Das “Stop-Bit“ setzt die Leitung wieder auf 1. Dieses Signal muss 1, 1.5 oder 2 Bit-Intervalle andauern.

Asynchrone Übertragung (2)

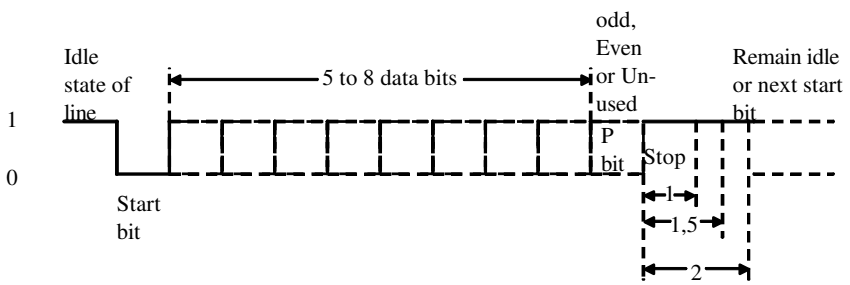
Vorteile

- Es wird keine Synchronisierung der Taktgeber in den Endsystemen benötigt
- Leicht zu implementieren

Nachteile

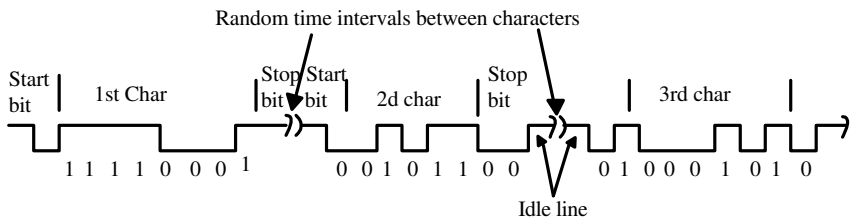
- Die Taktgeber können voneinander abweichen. Daher
  - ist die Rahmengröße sehr beschränkt (typischerweise ein Zeichen = 7-8 Bits)
  - nur anwendbar bei niedrigen Datenraten.
- Die Start- und Stop-Bits stellen einen Mehraufwand (overhead) dar.
  Beispiel:
  7-Bit ASCII,
  1 Paritätsbit,
  1 Start-Bit,
  1 Stop-Bit:
  Nur 70% der Leitungskapazität stehen für echte Benutzerdaten zur Verfügung.

Asynchrone Übertragung (3)



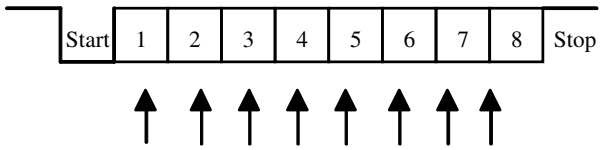
(a) Data character format

(a) Leitungscode für ein Zeichen



(b) 8-bit asynchronous bit stream

(b) Asynchroner Bitstrom



(c) Effect of timing error

c) Effekt der auseinander laufenden Uhren

Synchrone Übertragung (1)

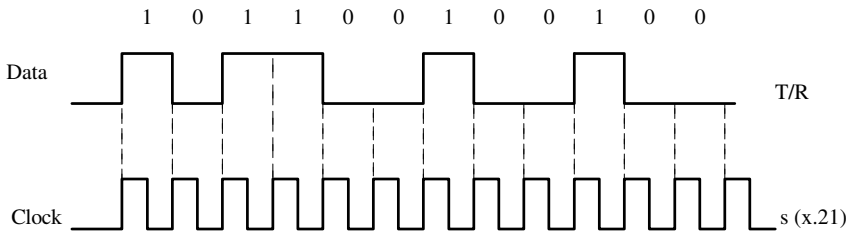
Sende- und Empfangstakt laufen über einen längeren Zeitraum (beliebig lange) synchron.

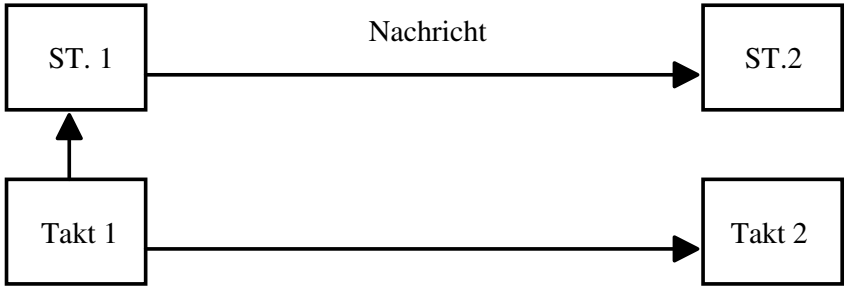
Eine Neusynchronisation nach jedem Zeichen (5-8 Bits) ist nicht erforderlich.

Taktsignal

Wird entweder auf einer separaten Leitung übertragen (z.B. bei X.21 vom Dienstanbieter) oder aus dem Leitungssignal gewonnen (z.B. in den Modems, die an Zweidrahtleitungen angeschlossen sind).

Synchrone Übertragung (2)



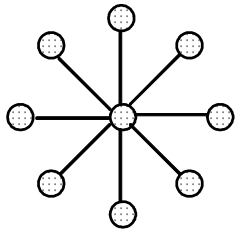


Auslesen des Datenbits bei abfallender Flanke des Taktsignals

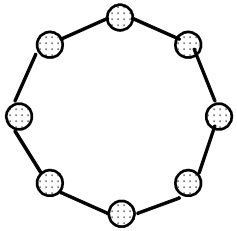
2.4 Physikalische Medien

- Netztopologien
- Kupferkabel
  - als verdrillte Adern (Twisted Pair)
  - als Koaxialkabel
- Glasfaserkabel
- Funk
  - Satellitenkommunikation
  - Mobilfunk

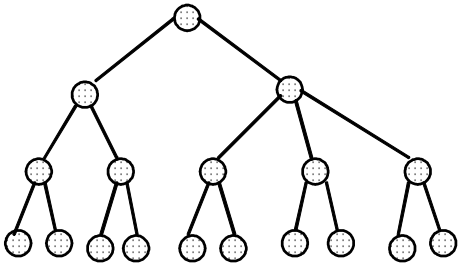
Netztopologien



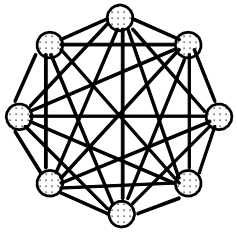
Stern



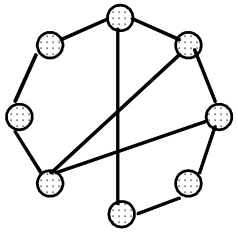
Ring



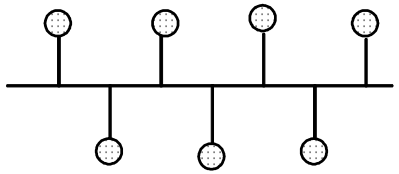
Baum



vollständig vermaschtes Netz



teilweise vermaschtes Netz



Bus

Situation in der Gebäudeverkabelung

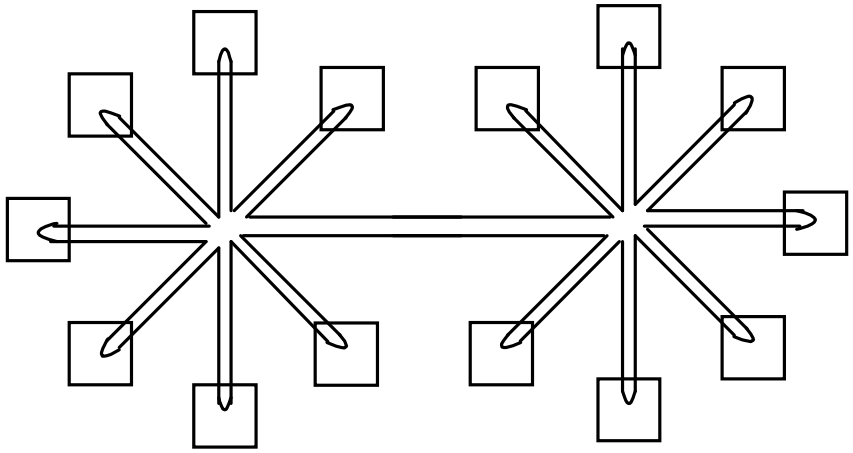
- Unterschiedliche Kabeltypen
  - Koaxialkabel
  - Twinaxialkabel
  - Verdrillte Leiter
  - Mehrfach verdrillte Leiter
    $\Rightarrow$ **Geringe Flexibilität**
- Unterschiedliche Verkabelungstechniken
  $\Rightarrow$ **Hoher Verkabelungsaufwand**
- Hohe Zuwachsraten
  $\Rightarrow$ **Großer Änderungsaufwand**

Allgemeine Ziele

- Vereinheitlichung
- Weniger Kabel
- Flexibilität
- Einsatz bekannter Techniken
- Vorverkabelung (Versorgungsdichte à la Telefon)
- Zukunftssicherheit
- Erweiterungsmöglichkeiten
- Störungssicherheit (elektromagnetische Impulse)
- Übertragung mit höheren Geschwindigkeiten

Strukturierte Verkabelung

- Möglichkeiten einer Ringverkabelung



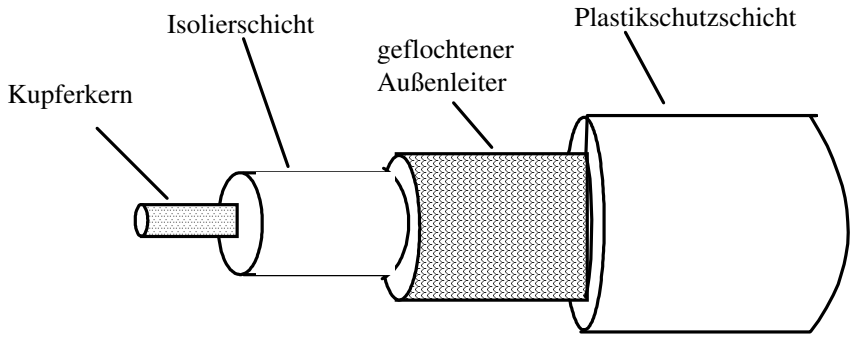
Logischer Ring Physischer Stern

Physikalische Medien

- Adernpaar (verdrillt zur Verminderung von Störeinflüssen, deshalb “twisted pair“). Dies ist die klassische Telefonverkabelung. Trägt wenig auf, enge Biegungsradien, sehr preiswert.
- Adernpaar, abgeschirmt (“shielded twisted pair“). Weniger anfällig bzgl. der Einkoppelung von Störfrequenzen/Störströmen von außen. Trägt stärker auf als “unshielded twisted pair“, teurer.
- Koaxialkabel: sehr störsicher, ermöglicht sehr hohe Übertragungsraten. Teuer. Weit verbreitet zum Beispiel für die Ethernet-Verkabelung.
- Lichtwellenleiter (Glasfaser): sehr hohe Übertragungsraten, geringe Dämpfungen und Störeinkopplungen, aber aufwendige Anschlusstechnik, teuer.

Koaxialkabel für Ethernet

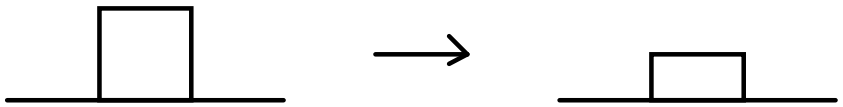
- 50 Ohm Koaxialkabel
- Maximale Kabellänge 500m
- Maximal 100 Transceiver (Anschlüsse von Stationen) pro Segment
- Maximal vier Repeater zwischen Sender und Empfänger
- Abstand zwischen den Anschlüssen muss ein Vielfaches von 2.5 m sein
- Datenrate 10 Mbit/s



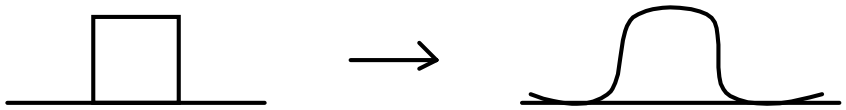
Glasfaserkabel

- Sehr hohe Datenraten:
  - Theoretisches Limit: 300 TeraHz
  - Praktisches Limit: ≈ 10 GigaHz
- Transmitter und Receiver: Halbleiterelemente
- Beschränkende Faktoren

Absorption



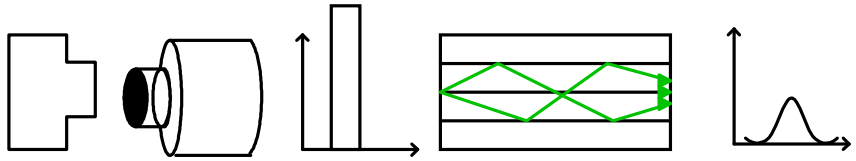
Dispersion



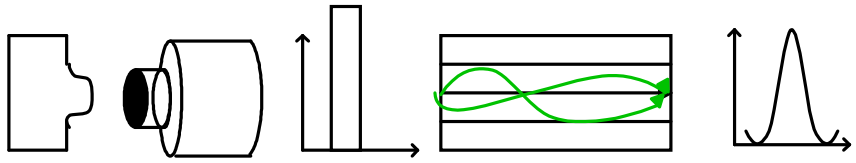
- Verbindungstechnik schwierig
  Nur 5µm - 50µm Durchmesser

Technologie der Lichtwellenleiter

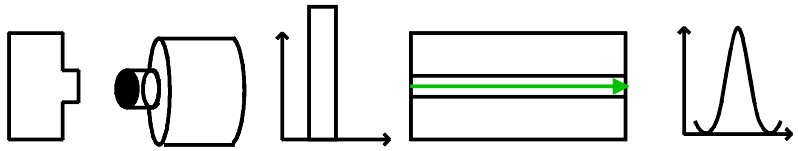
- Stufenindex-Faser



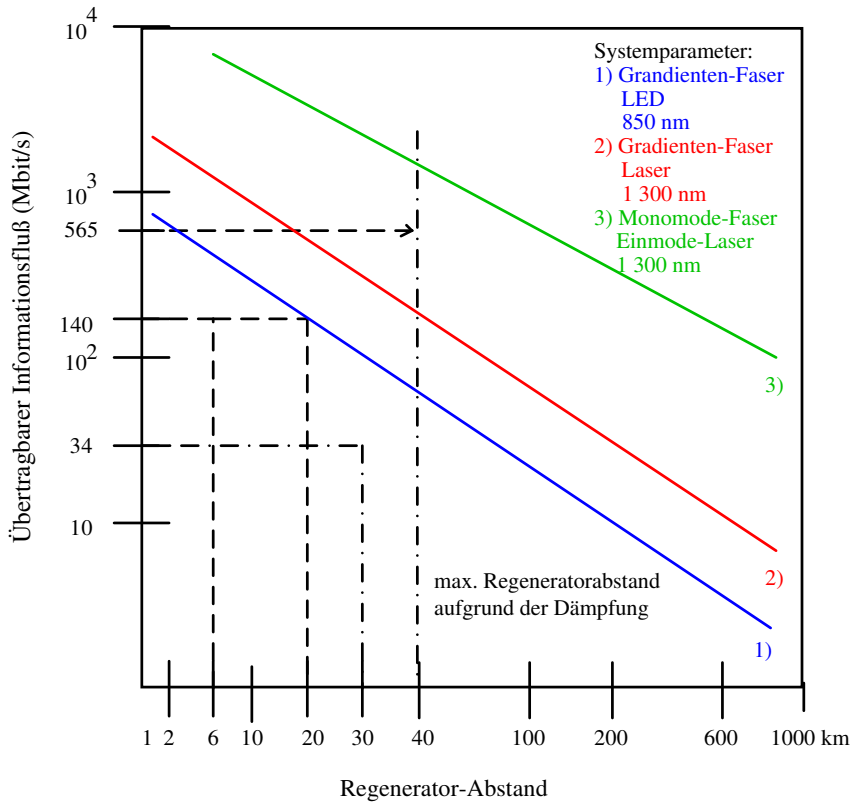
- Gradientenindex-Faser



- Monomode-Faser



Glasfaser



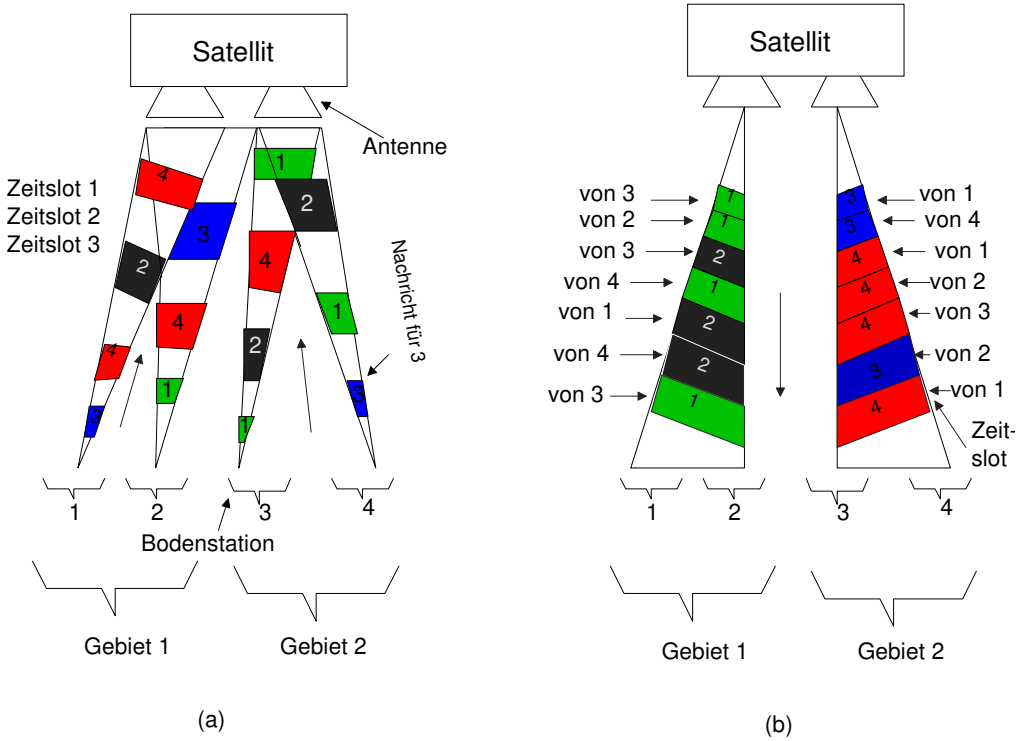
Satellitenkommunikation

- Hohe Bandbreite
- Rundspruchnetz (Sicherheitsprobleme)
- Lange Verzögerung
  - Für die festen Erdstationen ist ein geosynchroner Orbit notwendig
  - Dieser liegt auf einer Höhe von 36,000 km
  - Dies ergibt eine Verzögerung von 270 ms (hin zum Satelliten und zurück)
  - Die lange Verzögerung beeinflusst die Protokolle der höheren Schichten
- Beispiel INTELSAT:
  - 794 PCM Simplexkanäle, jeder 64 KBit/s, plus 128 KBit/s Signalisierungskanal
  - Multiplexing mit FDM
  - Je ein Paar Simplexkanäle formt einen Duplexkanal

Satellitennetze

- Satellitennetze sind wie Bus- und Ringnetze Rundspruchnetze.
- Der Satellit ist dabei eine logisch passive Verstärkerstation (die Signale von der beteiligten Erdstation werden dabei in eine andere Frequenz umgesetzt und wieder ausgesendet).
- Eine sendende Erdstation kann durch die verschiedenen Sende- und Empfangsfrequenzen des Satelliten sofort feststellen, ob ein Datenpaket gestört wird.
- Bei Satellitennetzen wird das Problem der Kanalzuweisung durch die hohen Signallaufzeiten erschwert (bei einem Tokenmechanismus wäre der Kanal jeweils für 270 ms unbenutzt).

Satellitenkommunikation



Innerhalb eines Sendegebietes wird Zeitmultiplexing (TDM) benutzt.

Mobilfunknetze

- Internationale Standards für den digitalen Zellfunk sind verabschiedet (z.B. GSM in Europa)
- Starke Verbreitung für die Telefonie (D1, D2)
- Bandbreite sehr niedrig
  - abhängig von der Breite eines Trägerkanals
  - Dieser muss wegen des Frequenzmuliplexings innerhalb einer Zelle sehr schmalbandig sein
- Datenanwendungen in Mobilfunknetzen entwickeln sich rasant
- Zunehmend wird auch Mobilfunktechnik innerhalb von Gebäuden verwendet, z.B. für den Anschluss von autonomen Robotern an ein LAN oder für die Bürokommunikation von einem Meeting aus.

2.5 Beispiele: V.24, ADSL

2.5.1 V.24 (die "serielle Schnittstelle")

Geltungsbereich (aus CCITT Recommendation V.24)
“Diese Empfehlung bezieht sich auf die als *Schnittstellenleitungen* bezeichneten Verbindungsleitungen zwischen Datenendeinrichtung (DEE) und Datenübertragungseinrichtung (DÜE) zur Übertragung von binären Daten, Steuer- und Schrittaktsignalen. Diese Empfehlung erstreckt sich auch auf beide Seiten getrennter Zwischeneinrichtungen, die zwischen die Einrichtungen dieser beiden Kategorien eingefügt werden können.“

Mechanische Eigenschaften
Die mechanischen Eigenschaften der Schnittstelle sind in den Standards ISO 2110 (25-polige Steckverbindung) oder ISO 4902 (37-polige und 9-polige Steckverbindung) festgelegt.

Elektrische Eigenschaften
Die elektrischen Eigenschaften der Schnittstellenleitungen werden in den entsprechenden eigenen Empfehlungen oder - in besonderen Fällen - in den Empfehlungen für die Datenübertragungseinrichtungen (Modems) behandelt.

Funktionale Eigenschaften

1	2	3	4	5	6	7	8	9
102	Erdleitung	x						
102a	DEE-Rückleiter	x						
102b	DÜE-Rückleiter	x						
102c	GemeinsamerRückleiter							
103	Sendedaten			x				
104	Empfangsdaten		x					
105	Sendeteil einschalten					x		
106	Sendebereitschaft				x			
107	Betriebsbereitschaft				x			
108/1	Übertragungsleitung anschalten					x		
108/2	DEE* betriebsbereit					x		
109	Empfangssignalpegel				x			
110	Empfangsgüte				x			
111	Hohe Übertragungsgeschwindigkeit einschalten (DEE*)					x		
112	hohe Übertragungsgeschwindigkeit einschalten (DÜE*)				x			
113	Sendeschrittakt (DEE*)							x
114	Sendeschrittakt (DÜE*)						x	

1= Nr. der Schnittstellenleitung
2= Bezeichnung der Schnittstellenleitung
3= Erde
4= Daten von der DÜE**
5= Daten zur DÜE**
6= Steuerung von der DÜE**
7= Steuerung zur DÜE**
8= Schrittakt von der DÜE**
9= Schrittakt zur DÜE**

2.5.2 ADSL*

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) und die verwandten Techniken HDSL, SDSL und VDSL übertragen sehr hohe Bitraten (bis zu 8 Mbit/s) über unabgeschirmte Kupferdrähte (Telefondrähte).

Warum ist die ADSL-Technik wirtschaftlich interessant?

- Über 700 Millionen installierte Telefonanschlüsse weltweit
- 96% Kupferkabel
- >50% der gesamten Investition
- Glasfaserkabel nach Hause werden noch viele Jahre dauern (hohe Installationskosten; weniger für das Kabel als für die Verlegung)

⇒ ADSL ist eine sehr kosteneffektive Lösung, bereits installierte Kupferkapazität wird ausgenutzt

---

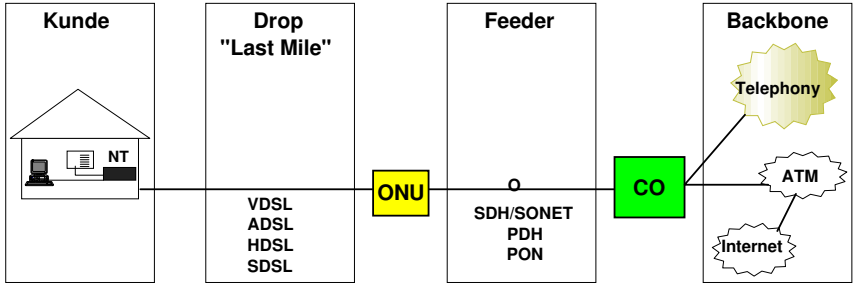
* Für die Überlassung seines Foliensatzes über ADSL danke ich Herrn Mathias Gabrysch, NEC C&C Research Labs, Heidelberg

xDSL - hohe Datenraten auf Kupferkabeln

Wie sind derart hohe Datenraten möglich?

- Das Signal eines klassischen Modems muss das Telefonnetz Ende-zu-Ende durchqueren, es muss sich also bei der Modulation auf den **Sprachfrequenzbereich** von 0 bis ca. 3,4 kHz beschränken.
- Dem xDSL-Signal steht ein durchgehender Kupferdraht zur Verfügung, dessen Länge und Störsicherheit allerdings stark variieren kann. Es wird ein Frequenzbereich von 0 bis ca. 1,1 MHz zur Modulation ausgenutzt, wobei modernste Modulationstechniken zum Einsatz kommen.

Breitbandige Zugangsnetze

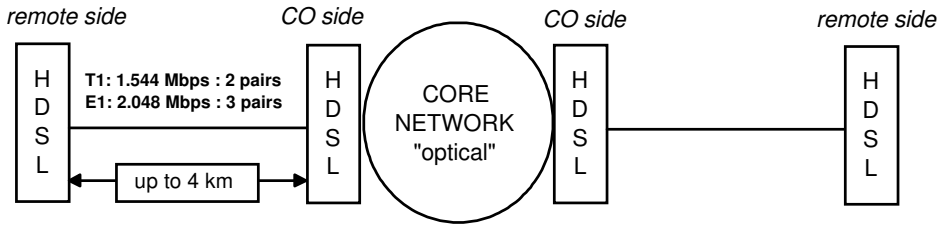


Feeder-Szenarien

- Fibre to the Building (FttB)
- Fibre to the Cab/Curb (FttC)
- Fibre to the eXchange (FttX)

ONU = Optional Network Unit
CO = Vermittlungsstelle („central office“)

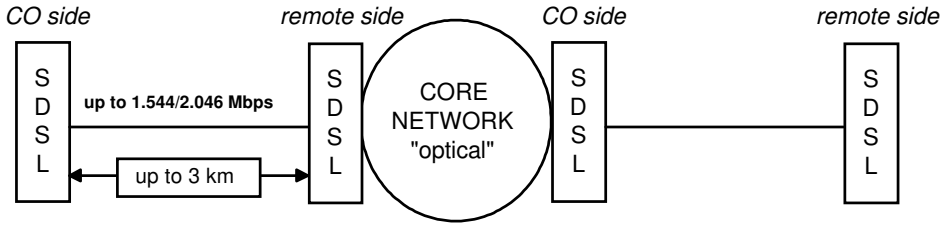
HDSL – High Data Rate Digital Subscriber Line



Hohe, symmetrische Bitraten über parallele Kupferdrähte

- Entstanden als kostengünstige Technik für die Telecoms zur Realisierung von T1 oder E1 (1,5 Mbit/s oder 2 Mbit/s) über zwei bis drei Zweidrahtleitungen
- Basiert auf 2B1Q (Quadrature Amplitude Modulation, 2 Bits pro Baud) oder CAP-Modulationstechniken (einer digitalen Variante von QAM)
- Kein simultaner Telefondienst auf dem Kabel
- Typische Anwendungen: T1 oder E1 in Gebäude, die keinen Glasfaseranschluss haben

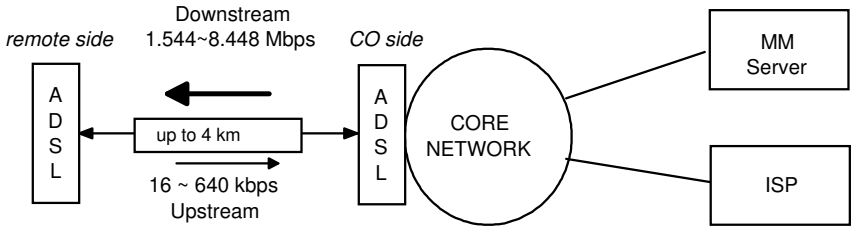
SDSL – Symmetric Digital Subscriber Line



„SINGLE LINE“-Version von HDSL (nur **eine** Zweidrahtleitung)

- Symmetrische Bitraten
- Basiert auf 2B1Q (QAM), CAP oder DMT-Modulationstechniken
- Telefondienst und T1/E1 simultan
- Typische Anwendungen: wie HDSL

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line



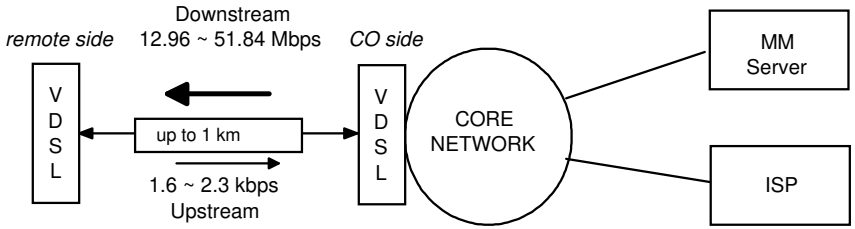
- Duplexübertragung mit fixen, asymmetrischen Datenraten über eine Kupfer-Zweidrahtleitung
- Die erreichten Übertragungsraten sind von der Entfernung und von der Leitungsqualität abhängig. Die Adaption erfolgt **automatisch**.
- Basiert auf CAP- oder DMT-Modulationstechniken
- Telefondienst und ADSL-Datendienst simultan
- Typische Anwendungen: schnelle Datenleitungen in Privathaushalte, Internet-Zugang, Fernzugang zu LANs, Multimedia-Zugang, Video-on-Demand, ...

ADSL: Warum asymmetrisch?

Die "upstream"-Signale laufen bei der Vermittlungsstelle in großer Zahl zusammen, was signifikante Störungen durch Übersprechen verursacht, wenn die Signale schon stark gedämpft sind. Dagegen laufen die "downstream"-Signale auseinander, zu getrennten Teilnehmer-Modems, wobei das Übersprechen sich wesentlich weniger auswirkt. Deshalb kann man in der "downstream"-Richtung höhere Bitraten realisieren.

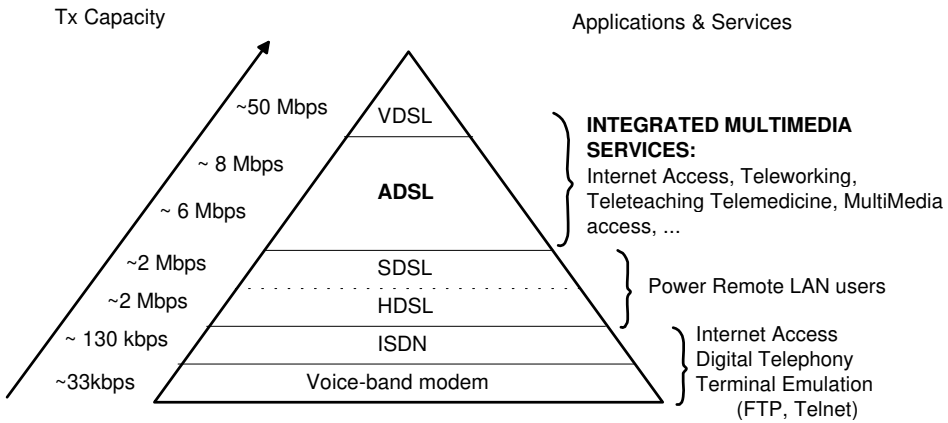
Zugleich können viele breitbandige Anwendungen mit asymmetrischen Bitraten gut leben, zum Beispiel das Browsen im Internet, Video-on-Demand usw.

VDSL – Very High Data Rate Digital Subscriber Line

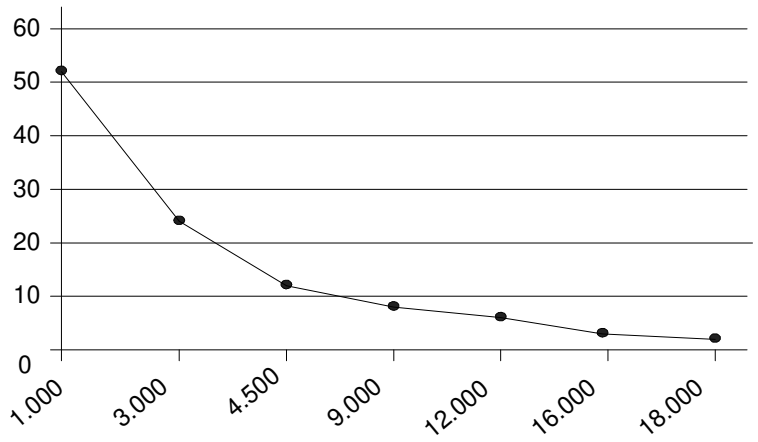


- Duplexübertragung mit fixen, asymmetrischen oder symmetrischen Datenraten über eine Zweidrahtleitung
- Höhere Datenraten als ADSL, aber kürzere Kabellängen
- Telefondienst, ISDN und Datenübertragung simultan
- Typische Anwendungen: nächste Generation der über ADSL zur Verfügung gestellten Dienste
- Noch keine Standards, zurzeit in der Diskussion/Erprobung

Übersicht über die xDSL-Techniken



Geschwindigkeit versus Entfernung bei xDSL



Kupfer-Parameter

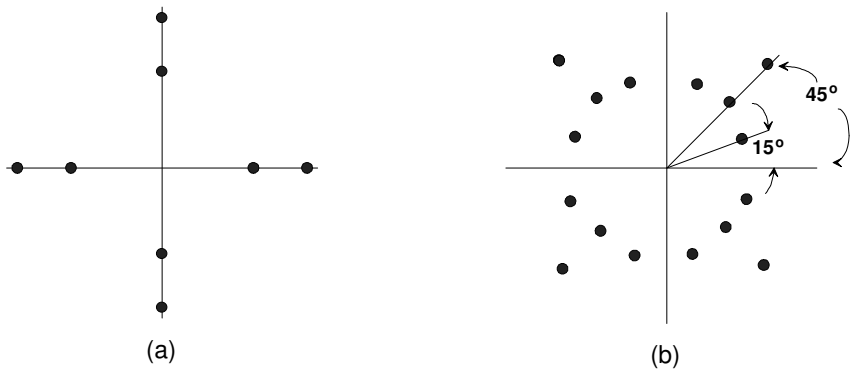
- Dämpfung frequenzabhängig
- Phasenverschiebung frequenzabhängig
- Übersprechen

Externe Faktoren

- Impulsrauschen
- Eingekoppelte Radiofrequenzen
- Weißes Rauschen

Modulationstechniken für ADSL

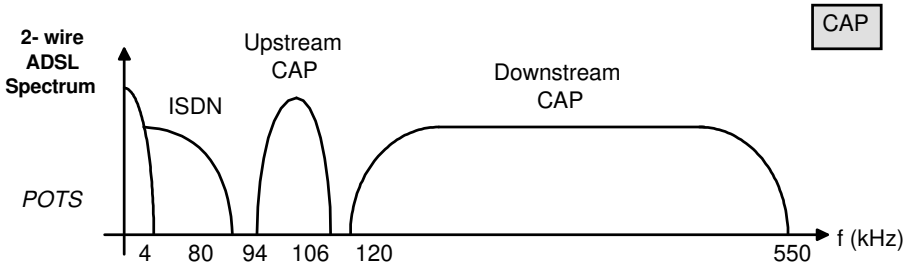
Basis: QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Dies ist eine Kombination von Amplituden- und Phasenmodulation. Jeder "Datenpunkt" im Diagramm entspricht einer Bitkombination.



(a) 2 Amplituden, 4 Phasensprungwinkel,8 Datenpunkte, also 3 Bits pro Baud

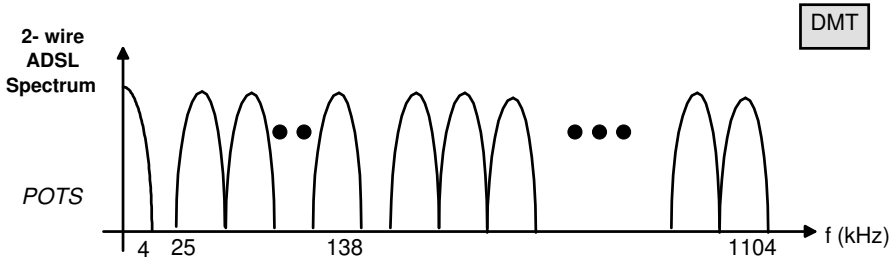
(b) 16 Datenpunkte, also 4 Bits pro Baud (verwendet im V.32-Modem für 9600 bit/s bei 2400 Baud)

CAP - Carrierless Amplitude/Phase Modulation



- Eine Variante der Quadrature Amplitude Modulation
- Berechnung des kombinierten Signals durch einen digitalen Signalprozessor
- Benutzung einer einzigen Trägerfrequenz
- Telefondienst und ISDN liegen unterhalb des CAP-Frequenzspektrums

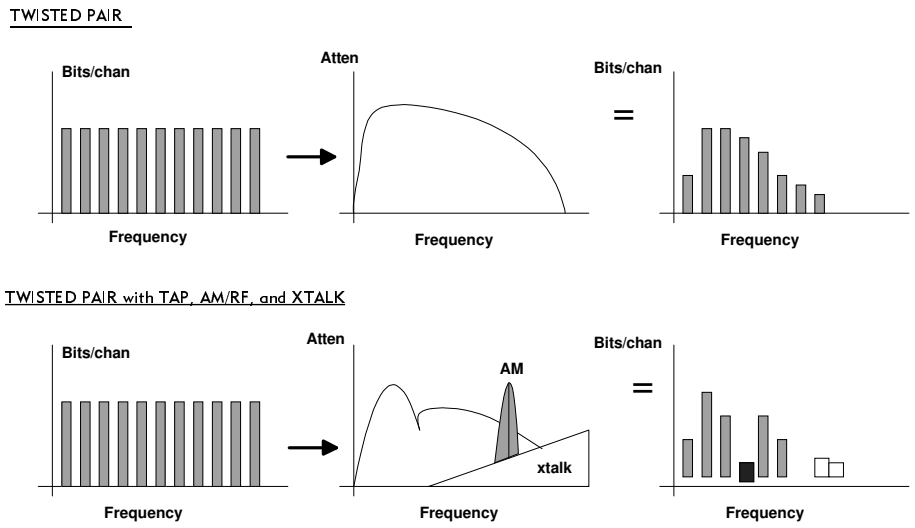
DMT - Discrete Multitone Modulation



- Im Prinzip Freqenzmultiplexing (FDM) mit separater Bitraten-Adaption pro Trägerfrequenz
- Frequenzspektrum: 26 kHz bis 1.1 MHz
- Ist in 256 individuelle Sub-Trägerfrequenzen unterteilt, je 4 kHz breit
- Jeder Kanal übermittelt bis zu 60 kbit/s
- Der Telefondienst liegt unterhalb der DMT-Frequenzen für Datendienste und wird separat geführt (splitter an beiden Enden der Leitung)
- ANSI T1.413 Standard (ADSL), auch ein europäischer ETSI-Standard

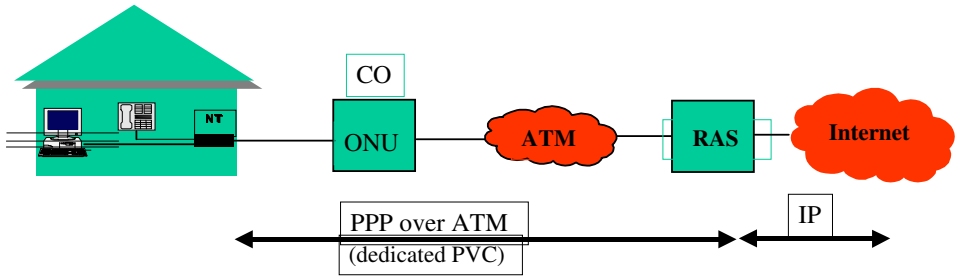
Automatische Bitraten-Adaption bei DMT

DMT adapts to every line condition



Bei ADSL wird die Bitrate dynamisch an die Länge und die Qualität der Übertragungsstrecke angepasst. Bei der DMT-Modulation messen die Modems ständig die Übertragungsgüte **jedes einzelnen Kanals** (jeder Trägerfrequenz) und adaptieren die Bitrate gemäß den aktuellen Eigenschaften.

Protokolle in den höheren Schichten



ONU = Optical Networking Unit

CO = Central Office (Knotenvermittlungsgstelle)

RAS = Remote Access Server

Internet-bezogener Verkehr wird die Geschäftsgrundlage für breitbandige Zugangsnetze bilden (zumindest in der nahen Zukunft). Zugang über ADSL zum Internet wird durch ähnliche Mechanismen möglich sein wie beim Zugang über ein Telefonmodem, also insbesondere über PPP zu einem Remote Access Server (RAS). PPP erfüllt dabei verschiedene Aufgaben, z.B. dynamische Vergabe von IP-Adressen, Authorisierung usw.

Standardisierung von ADSL

- **ANSI**
  - Arbeitsgruppe T1E1.4
  - Standard T1.413
- **ETSI**
  - Anhang zu T1.413 für europäische Bedürfnisse
- **ATM-Forum** und **DAVIC**
  - ADSL anerkanntes Übertragungsprotokoll der physikalischen Schicht für UTP
- **ADSL-Forum**, im Dezember 1994 gegründet (über 200 Mitglieder im Mai 1998)
  - Allgemeine Förderung von ADSL, bezieht keine Stellung zu einer bestimmten Implementierung
- **ITU-T** (SG-13 Zugangsnetze)
  - 1993: Access digital section for ISDN (G.960 ~ 963)
  - 1997: G.96X geplant, Access digital section for B-ISDN