


## 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


	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-1
---	---	-----------------------------------	------

## 2.1 Bitübertragungsschicht, Definition

### ISO-Definition

Die Bitübertragungsschicht (physical layer) definiert die **mechanischen, elektrischen, funktionalen und prozeduralen** Eigenschaften, um physikalische Verbindungen zwischen Dateneinrichtungen (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-Entitäten über physikalische Verbindungen. Eine physikalische Verbindung kann die Übertragung eines Bitstroms im Duplex-Mode oder im Halbduplex-Mode erlauben.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-2
---	---	-----------------------------------	------

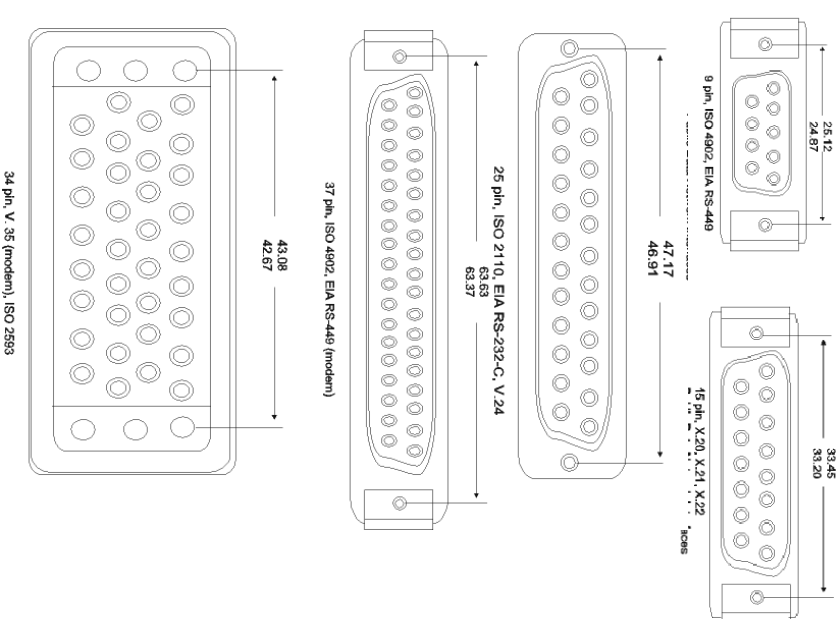
## Eigenschaften der Bitübertragungsschicht


- 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 Leitungsfunktionen (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

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-3
---	---	-----------------------------------	------

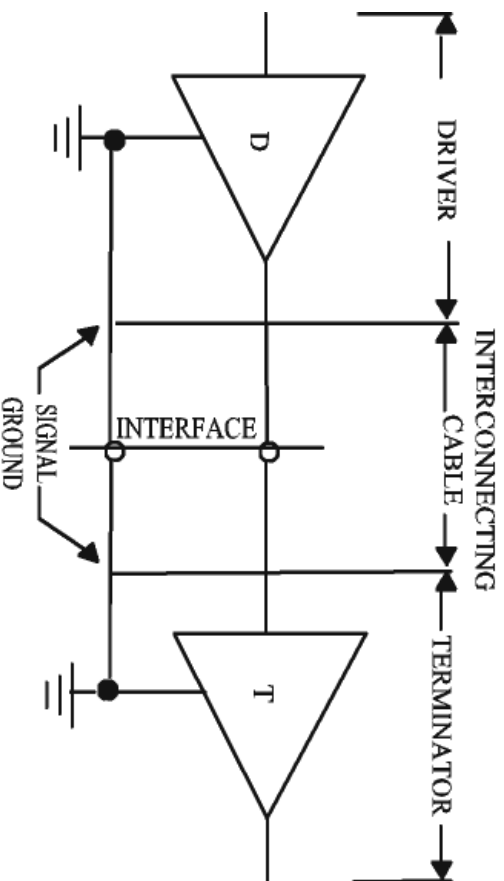
## 2.2 Mechanische, elektrische und funktionale Spezifikation

### Mechanische Eigenschaften



	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-4
---	---	-----------------------------------	------

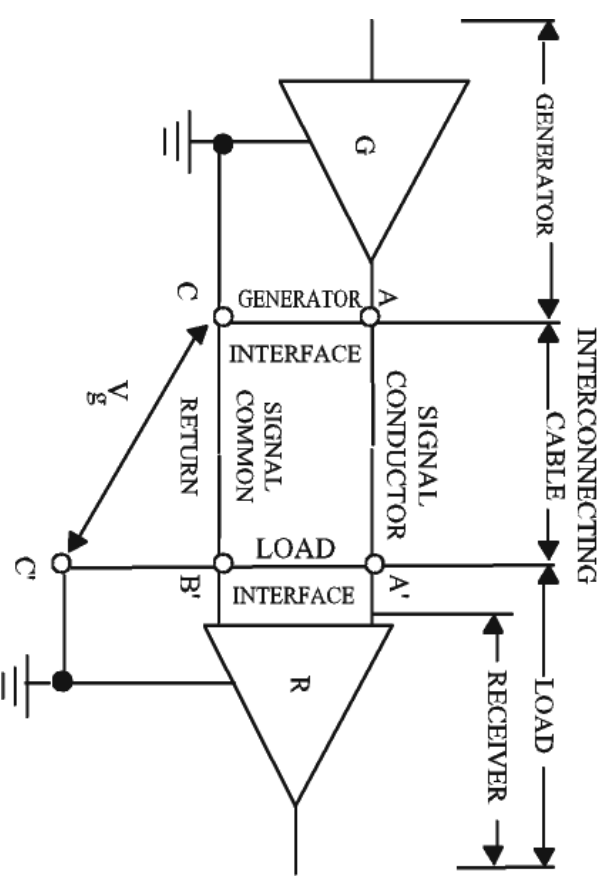
## Elektrische Eigenschaften CCITT V.28 (EIA RS-232-C)



- 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"

	Rechnernetze	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-5
	© Prof. Dr. W. Efratsberg		

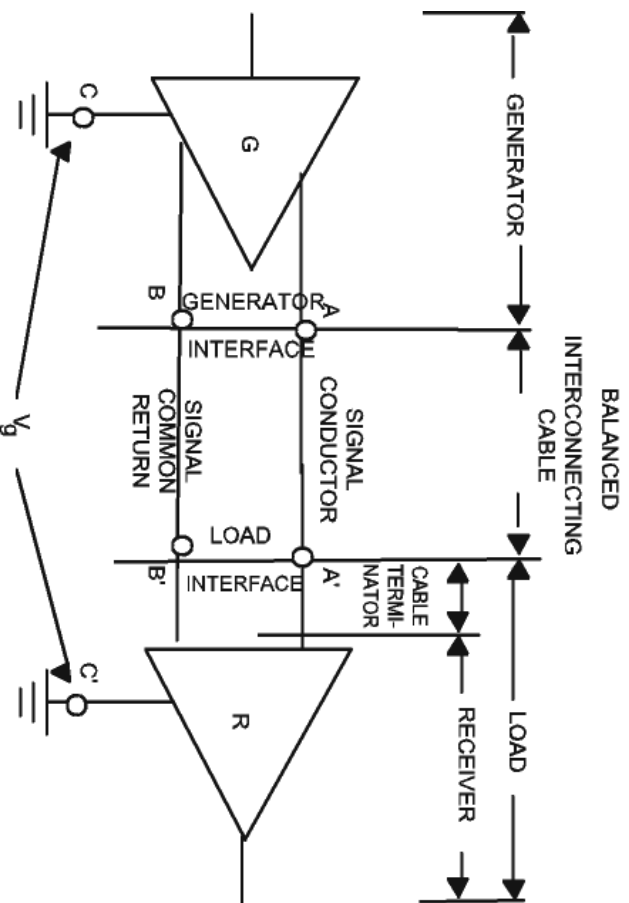
## CCITT V.10/X.26 (EIA RS-423-A)



- Für IC-Bauelemente (integrierte Schaltkreise)
- Ein Leiter pro Stromkreis, mit je einer Erdungsleitung pro Richtung
- Bitrate bis zu 300 kbit/s
- Entfernung bis zu 1 000 m bei 3 kbit/s oder bis zu 10 m bei 300 kbit/s
- Reduziertes "Übersprechen"

	Rechnernetze	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-6
	© Prof. Dr. W. Efratsberg		

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

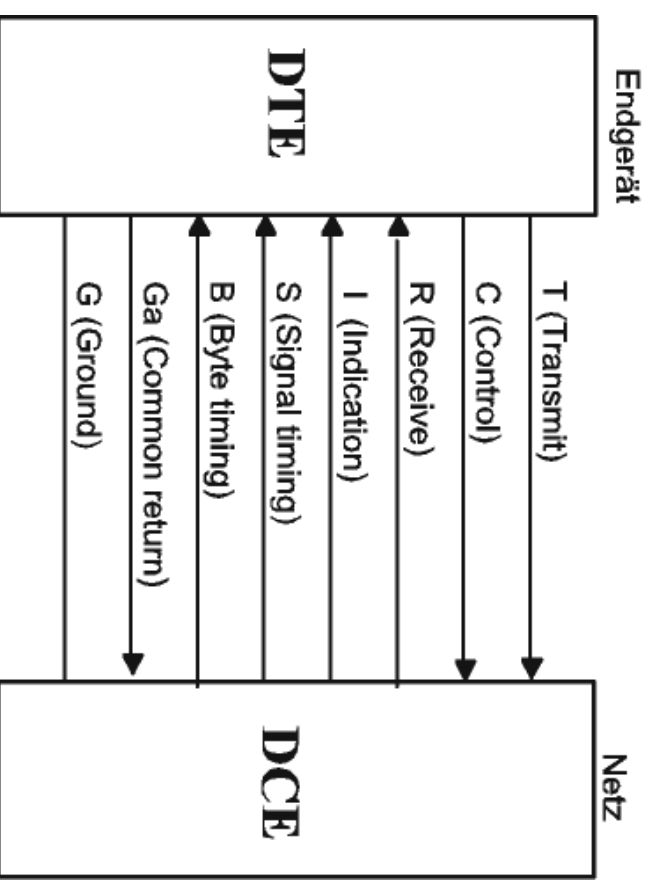


- Für IC-Bauelemente (integrierte Schaltkreise)
- Zwei Leiter pro Stromkreis
- Bitrate bis zu 10 Mbit/s
- Entfernung bis zu 1000 m bei 1000 kbit/s oder bis zu 10 m bei 10 Mbit/s
- Minimales "Übersprechen"

	Rechnernetze	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-7
	© Prof. Dr. W. Efratsberg		

## Funktionale und prozedurale Eigenschaften

### Signalleitungen bei X.21



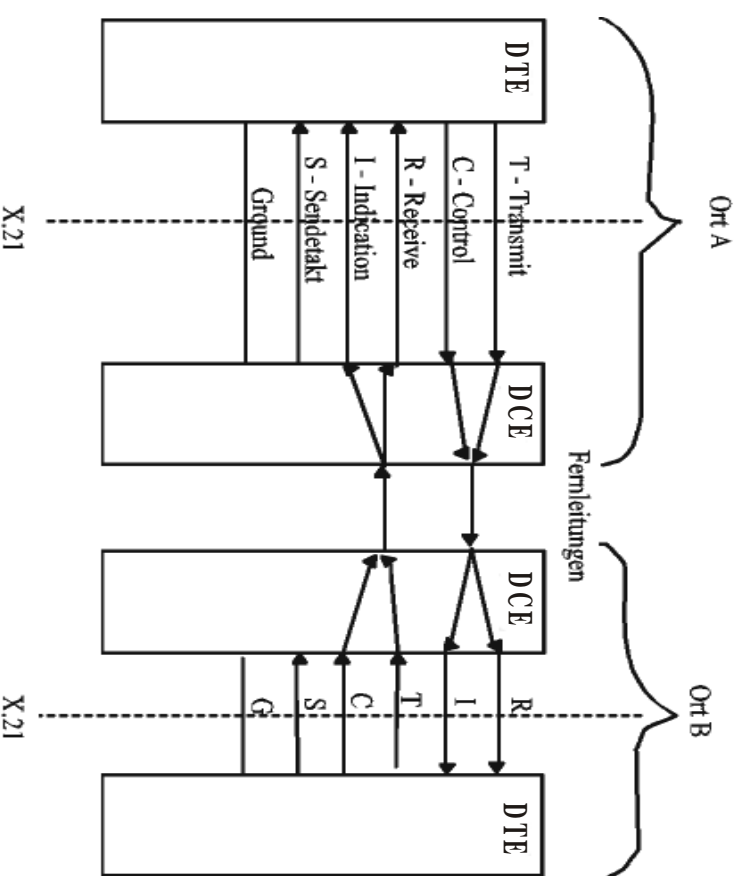
	Rechnernetze	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-8
	© Prof. Dr. W. Efratsberg		

## 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	idle (Ruhezustand)	T=1	R=1
1	Ein	DTE nimmt Hörer ab	T=0	
2	Ein	DCE sendet Wählton		R="++++.+"
3	Ein	DTE wählt Telefonnummer	T=Adresse	
4	Ein	Entferntes Telefon klingelt		R=Dienst
5	Ein	Entferntes Telefon abgehoben		R=1
6	Ein	Gespräch (Daten-austausch)	T=Daten	R=Daten
7	Aus	DTE verabschiedet sich	T=0	
8	Aus	DCE verabschiedet sich		R=0
9	Aus	DCE legt auf		R=1
10	Aus	DTE legt auf; idle	T=1	

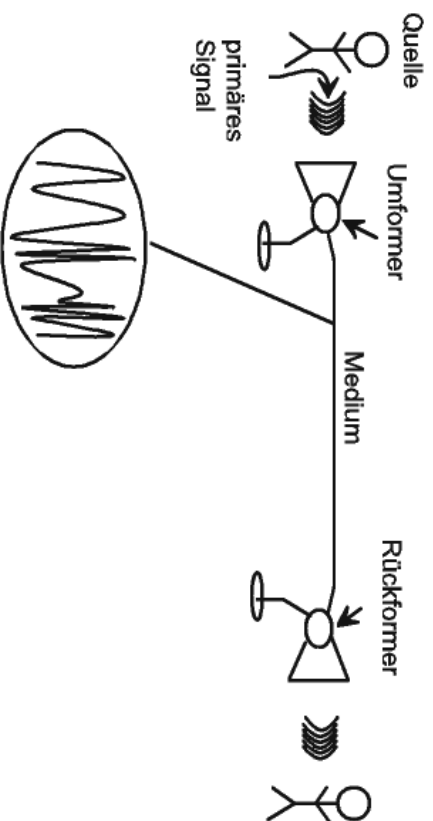
## Lokale Schnittstelle vs. Fernleitung



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 zurück gewandelt. Im weiteren gehen wir jedoch davon aus, dass bereits das quellen-seitige 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.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-11
---	---	-----------------------------------	-------

### 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

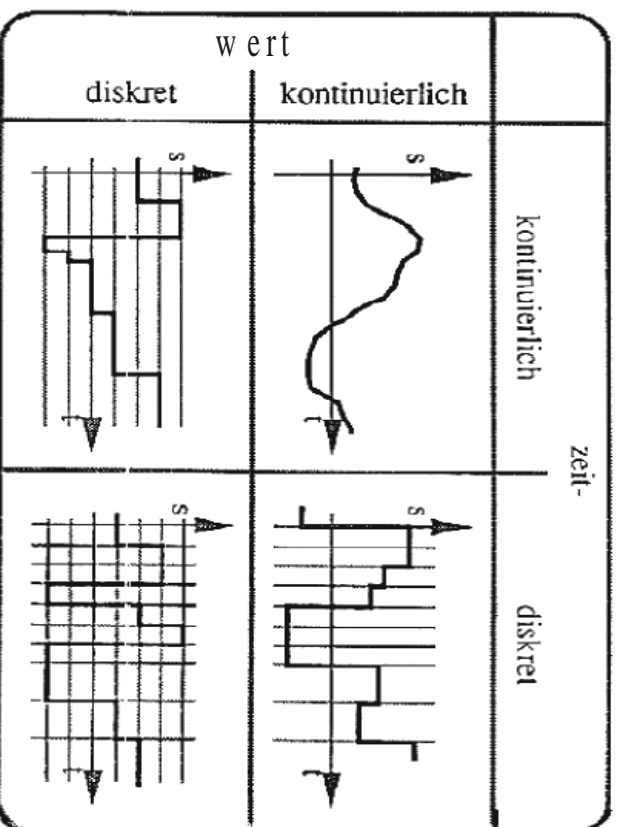
Sind alle Signalwerte im Wertebereich zulässig?

ja: wertkontinuierlich

nein: wertdiskret

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-12
---	---	-----------------------------------	-------

## Signalklassen

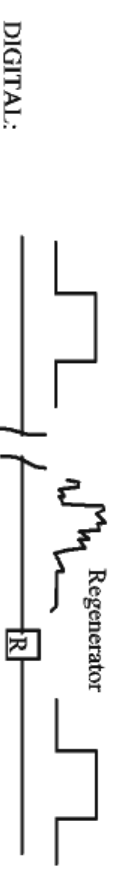


- wert- und zeitkontinuierlich: analoges Telefon
- wertkontinuierlich, zeitdiskret: Prozesssteuerung mit periodischen Messzeitpunkten
- wertdiskret, zeitkontinuierlich: digitale Übertragung mit beliebigen Signalwechseln
- wert- und zeitdiskret: digitale Übertragung mit isochronem Taktmuster

## 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 (PCM-Technik, lokale Netze, ISDN usw.). Dabei sind erwünscht bzw. erforderlich:

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

### Signalcodierung, Leitungscodierung, Übertragungsscode

Die Zuordnungsvorschrift

**digitales Datenelement - digitales Signalelement** wird als **Signal- oder Leitungscodierung** bezeichnet.

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

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-15
--	---	-----------------------------------	-------

## Wichtige digitale Leitungscodes (1)

- **Non-return to zero-level (NRZ-L)**
  - 1 = hoher Pegel
  - 0 = niedriger Pegel
- non-return to zero-mark (NRZ-M)
  - 1 = Transition am Intervallanfang
  - 0 = keine Transition am Intervallanfang
- non-return to zero-space (NRZ-S)
  - 1 = keine Transition am Intervallanfang
  - 0 = Transition am Intervallanfang
- return to zero (RZ)
  - 1 = Rechteckimpuls am Intervallanfang
  - 0 = kein Rechteckimpuls am Intervallanfang
- **Manchester-Code (biphase level)**
  - 1 = Transition von hoch nach niedrig in der Intervallmitte
  - 0 = Transition von niedrig nach hoch in der Intervallmitte
- biphase-mark
  - Immer eine Transition am Intervallanfang
  - 1 = Transition in der Intervallmitte
  - 0 = keine Transition in der Intervallmitte

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-16
--	---	-----------------------------------	-------



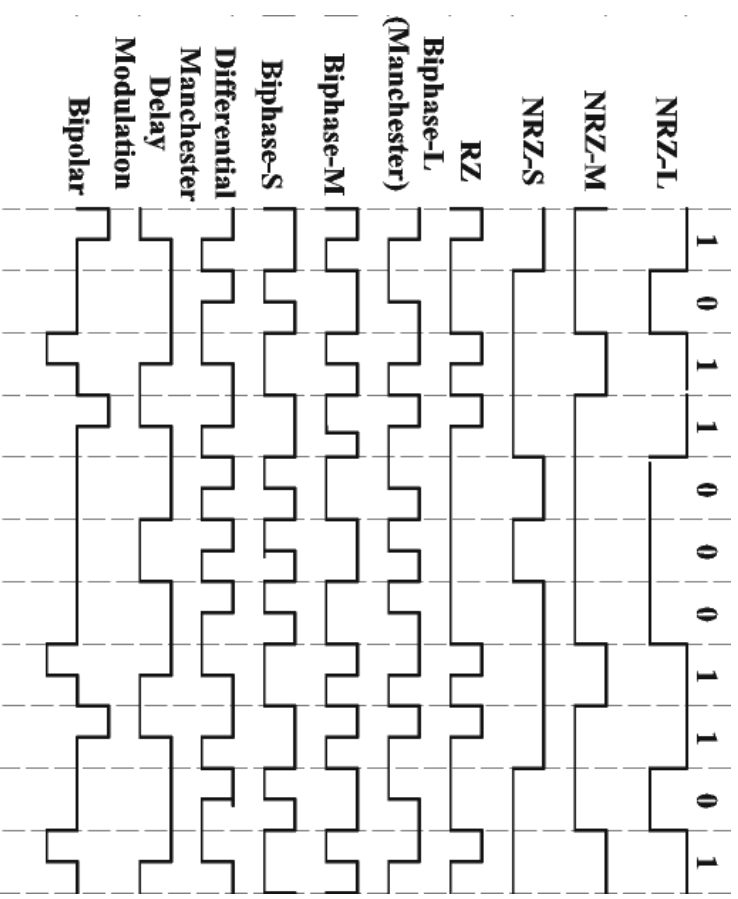
## Wichtige digitale Leitungscodes (2)

- biphase-space  
Immer eine Transition am Intervallanfang  
1 = keine Transition in der Intervallmitte  
0 = Transition in der Intervallmitte
- **Differential Manchester-Code**  
Immer eine Transition in der Intervallmitte  
1 = keine Transition am Intervallanfang  
0 = Transition am Intervallanfang
- delay modulation (Miller)  
Transition am Intervallende, wenn eine 0 folgt  
1 = Transition in der Intervallmitte  
0 = keine Transition, wenn eine 1 folgt
- bipolar  
1 = Rechteckimpuls in der ersten Intervallhälfte, Polarität alternierend  
0 = kein Rechteckimpuls

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-17
--	---	-----------------------------------	-------

## Leitungscodes

### Beispiel



	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-18
--	---	-----------------------------------	-------

## Differenzielle Leitungscodes

### 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 Datenwerts "1".

NRZ-S: Signalwechsel zur Darstellung des Datenwerts "0".

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

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

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-19
---	---	-----------------------------------	-------

## Biphase-Codes


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 (es gibt eine "Impulsflanke" zum Triggern des Empfängers)
- Keine Gleichstromkomponente
- Fehlererkennung auf Signalebene möglich: Fehlen eines erwarteten Übergangs leicht erkennbar

### Nachteil

- Doppelt so viele Rechteckimpulse pro Sekunde für dieselbe Bitrate!

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-20
---	---	-----------------------------------	-------

## Bitrate und Baudrate

### Bitrate

Anzahl der Bits (binären Nutzdatenwerte), die pro Sekunde übertragen werden.

### Baudrate

Anzahl der Rechtecksignale des Leitungscodes pro Sekunde.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-21
---	---	-----------------------------------	-------

## Bipolare Codes

Der bipolare Code ist ein Beispiel für eine Leitungscodierung mit mehr als zwei Signalwerten (hier tertiäres Signal).

Der Wert "1" wird abwechselnd durch positiven oder negativen Impuls in der ersten Hälfte des Bitintervalls dargestellt, dadurch keine Gleichstromkomponente.

Auch AMI (Alternate Mark Inversion) genannt.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-22
---	---	-----------------------------------	-------

## Digitale/analoge Daten, analoge Signale

**Modulation:** verschlüsselt Quelldaten auf ein analoges Trägersignal

**Modem:** Modulator - Demodulator

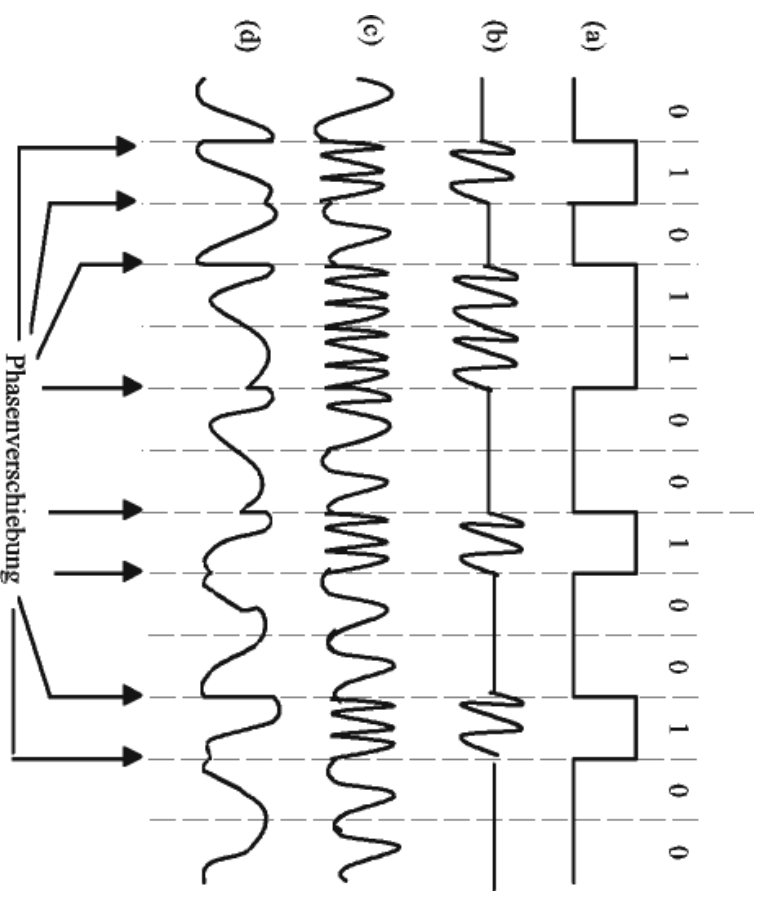
**Beispiel:** Übertragung von digitalen Daten über das Telefonnetz

### Modulationstechniken

- Amplitude Modulation (AM)
- Frequency Modulation (FM). Basis für Frequency Division Multiplexing (FDM)
- Phase Modulation (PM)



## Modulationstechniken



## Multiplexing: Mehrfachnutzung von Übertragungswegen

### Übertragungsweg

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

### Übertragungskanal

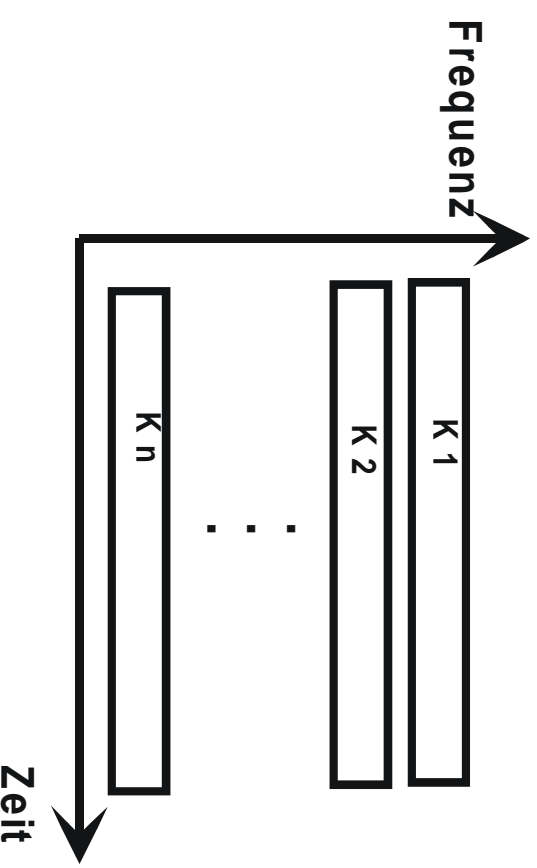
Abstraktion eines Übertragungsweges für einen  
Signalstrom


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**.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-25
---	---	-----------------------------------	-------

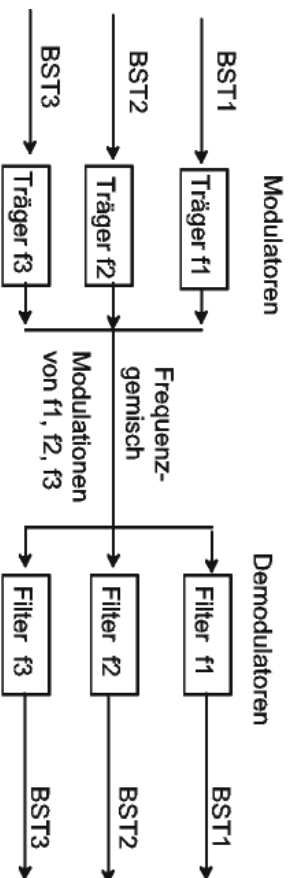
## Frequenzmultiplexing (Frequency Division Multiplexing)

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.



	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-26
---	---	-----------------------------------	-------

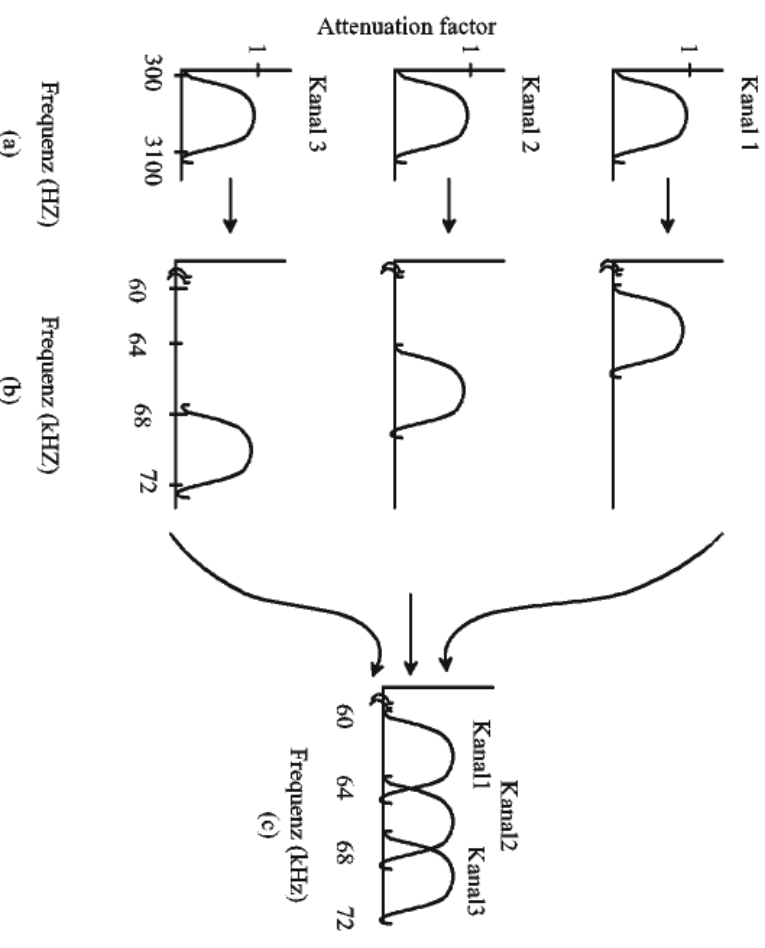
## Schema der technischen Realisierung eines Frequenzmultiplex-Systems



BST  $i$  = Bistrom  $i$ , entspricht Übertragungskanal  $i$



## Frequenzmultiplexing



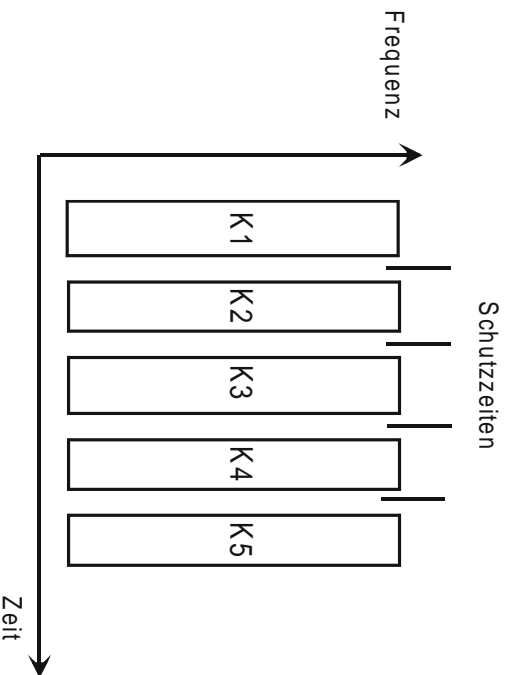
- (a) die ursprünglichen Bandbreiten
- (b) die Bandbreiten mit verschobener Frequenz
- (c) auf dem Übertragungsweg (z. B. Kabel)



## 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 Signale wird als **Zeitmultiplexing** (TDM = time division multiplexing) bezeichnet.

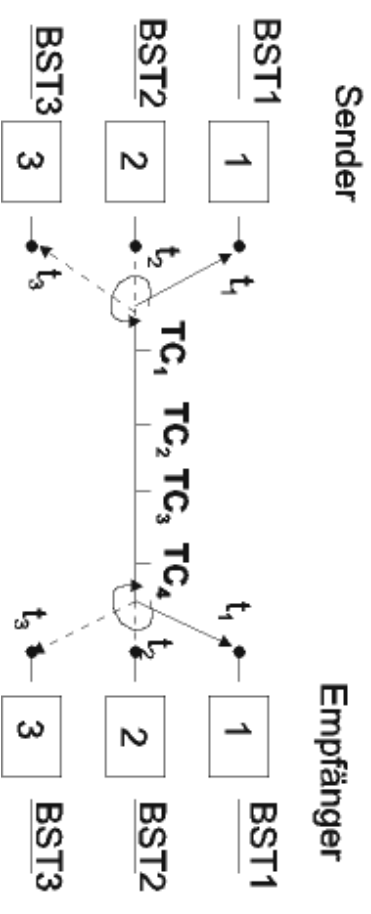


	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effraßberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-29
--	---	-----------------------------------	-------

## Synchrones Zeitmultiplexing

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 wird dieses Verfahren auch als **synchrones Zeitmultiplexing** bezeichnet.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effraßberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-30
--	---	-----------------------------------	-------

## Asynchrones Zeitmultiplexing

Der Übertragungsweg wird dem Sender nicht fest, sondern nach Bedarf zugeteilt. Der Empfänger kann aus der Zeilage der Zeitscheiben nicht mehr die Herkunft der Daten erkennen! Es wird daher eine Kennung pro Datenblock (Paket, Zelle) erforderlich (Empfängeradresse, Kanal Kennzahl o.Ä.)

### Schematischer Aufbau eines Übertragungsblocks mit Kennung

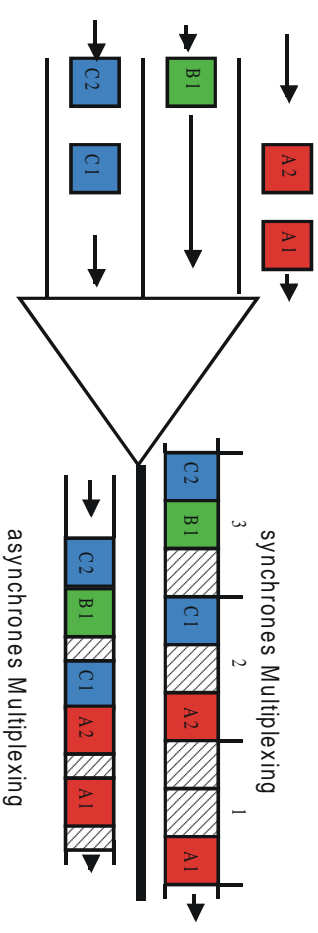
Übertragungsrichtung ->

inhalt	adr	inhalt	adr	inhalt	adr
--------	-----	--------	-----	--------	-----

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

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-31
--	---	-----------------------------------	-------

## Multiplexing-Techniken im Vergleich

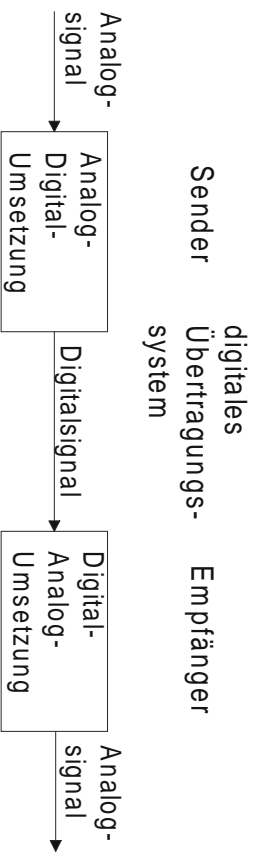


	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-32
--	---	-----------------------------------	-------



## Digitale Übertragung analoger Daten

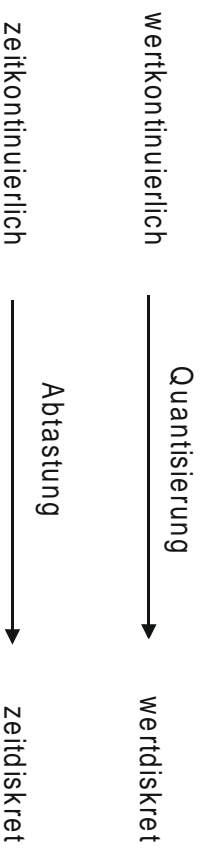
Die Übertragung **analoger** über **digitale** Übertragungswege erfordert eine Digitalisierung der analogen Daten.



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

**analog**

**digital**




	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effraimberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-33
---	--	-----------------------------------	-------

## 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
- Video auf DVD
- DAB (Digital Audio Broadcast)
- Digitales Fernsehen

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effraimberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	2a-34
---	--	-----------------------------------	-------

## 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.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-35
---	---	-----------------------------------	-------

## 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

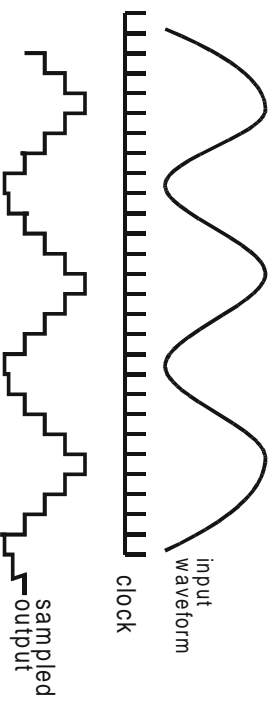
Die Abtastfrequenz  $f_A$  muss doppelt so hoch sein wie die höchste im abzutastenden Signal vorkommende Frequenz  $f_S$ :

$$f_A = 2 f_S$$

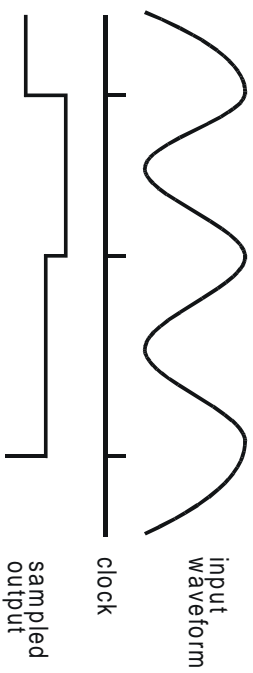
Abtastung und Quantisierung sind voneinander unabhängig zu betrachten. Eine exakte Rekonstruktion des Zeitverlaufs (bzw. des Frequenzspektrums) sagt nichts über den Fehlergrad bei der Signalwertdiskretisierung (Quantisierung) aus.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-36
---	---	-----------------------------------	-------

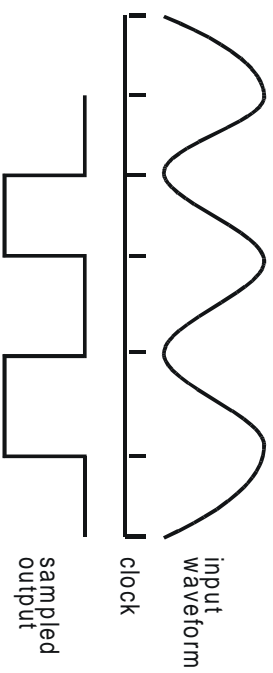
## Beispiel: Abtasten bei verschiedenen Taktraten



(a) Sampling rate is much higher than signal frequency



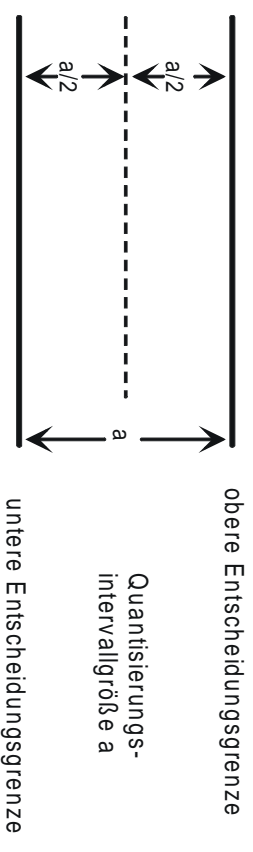
(b) Sampling rate is lower than signal frequency



(c) Sampling rate is at the Nyquist limit

## 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 zurück gewonnen (Digital-Analog-Umsetzung), der dem in der Mitte des Quantisierungsintervalls liegenden Analogwert entspricht.

Maximaler Quantisierungsfehler:  $a/2$

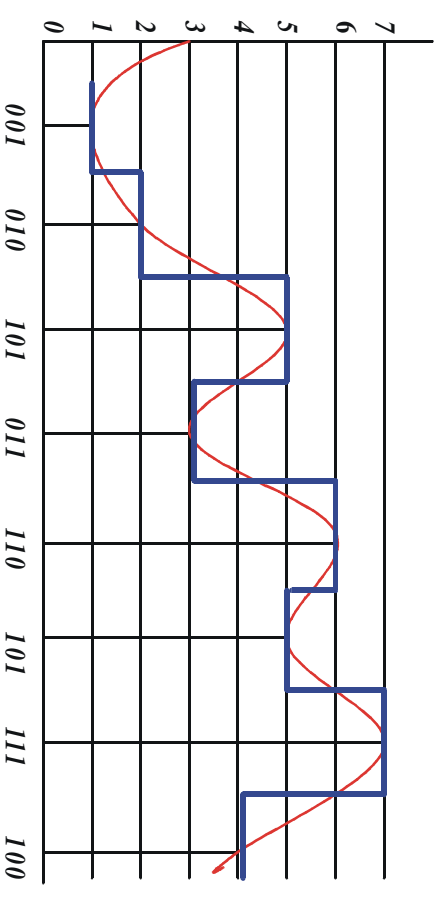
## Codierung

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 eine binäre Darstellung des diskreten Zahlenwertes gewählt (Darstellung als Binärzahl).

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-39
---	---	-----------------------------------	-------

## Zusammenfassende Darstellung



Abtastzeitschritt

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-40
---	---	-----------------------------------	-------

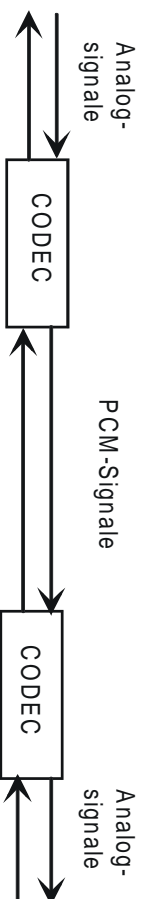
## Pulse-Code-Modulation

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 der Praxis in großem Umfang eingesetzten **PCM-Technik**.

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



	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-41
--	---	-----------------------------------	-------

## 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, DVD, Video-Camcorder) eine zunehmende Rolle.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-42
--	---	-----------------------------------	-------

## PCM-Fernsprechkanal

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

Ausgangspunkt: Analoger CCITT-Fernsprechkanal


Frequenzlage: 300-3400 Hz

Bandbreite: 3100 Hz

Abtastfrequenz:  $f_A = 8 \text{ KHz}$

Abtastperiode:  $T_A = 1/f_A = 1/8000 \text{ Hz} = 125 \text{ ms}$

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

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-43
---	---	-----------------------------------	-------


## Amplitudenquantisierung

Die Zahl der benötigten Quantisierungsintervalle wird bei der akustischen Sprachkommunikation (Fernsprechen) durch den Grad der Silbenverständlichkeit beim Empfänger bestimmt. Mit „Sicherheitszuschlag“ wurden von der ITU-T 256 Quantisierungsintervalle genomt (empirisch ermittelt).

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

Die Übertragungsgeschwindigkeit (Bitrate) für einen digitalisierten Fernsprechkanal ist demnach

$$\begin{aligned} \text{Bitrate} &= \text{Abtastfrequenz} \quad \text{mal Codewortlänge} \\ \text{kbits/s} &= 8000/\text{s} \quad \times 8 \text{ bits} \\ &= \\ &= \mathbf{64\text{kbits/s}} \end{aligned}$$

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-44
---	---	-----------------------------------	-------

## 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).

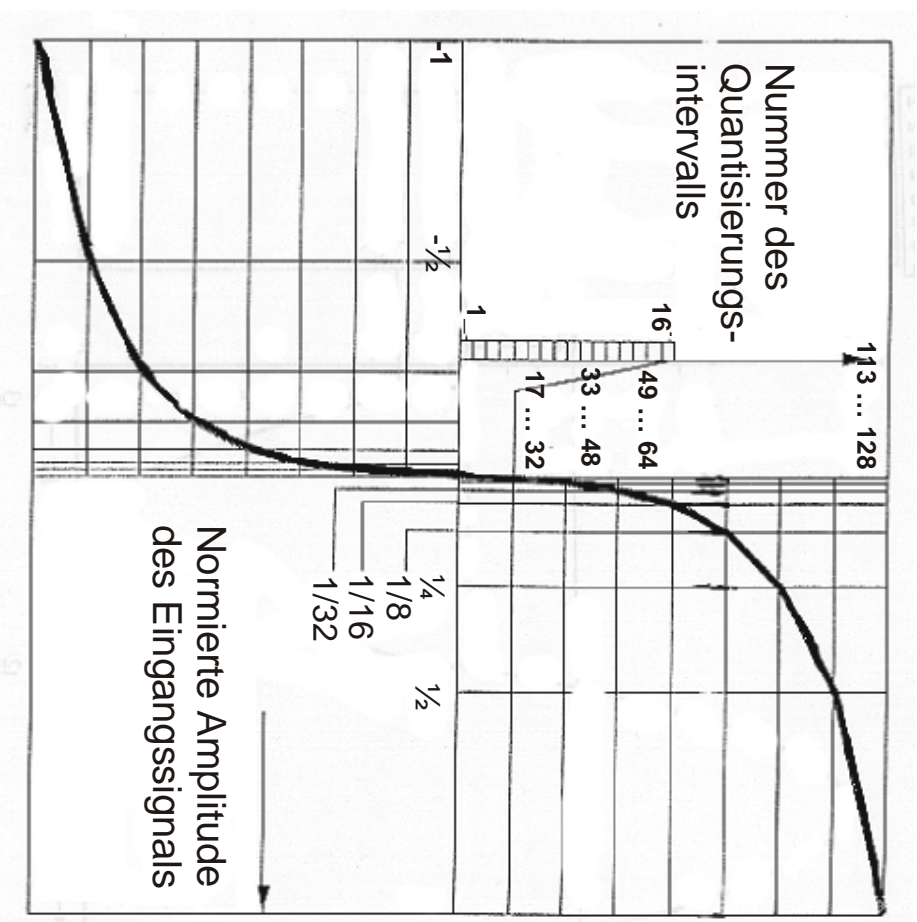
Bei ungleichförmiger Quantisierung sind die Quantisierungsintervalle bei großer Signalamplitude größer und bei kleiner Amplitude kleiner.


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.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-45
---	---	-----------------------------------	-------

## Ungleichförmige Quantisierung (2)



	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-46
---	---	-----------------------------------	-------

## PCM-Hierarchie

PCM 30 = 2,048 Mbit/s (30 Kanäle)

PCM 120 = 8.448 Mbit/s

PCM 480 = 34,368 Mbit/s

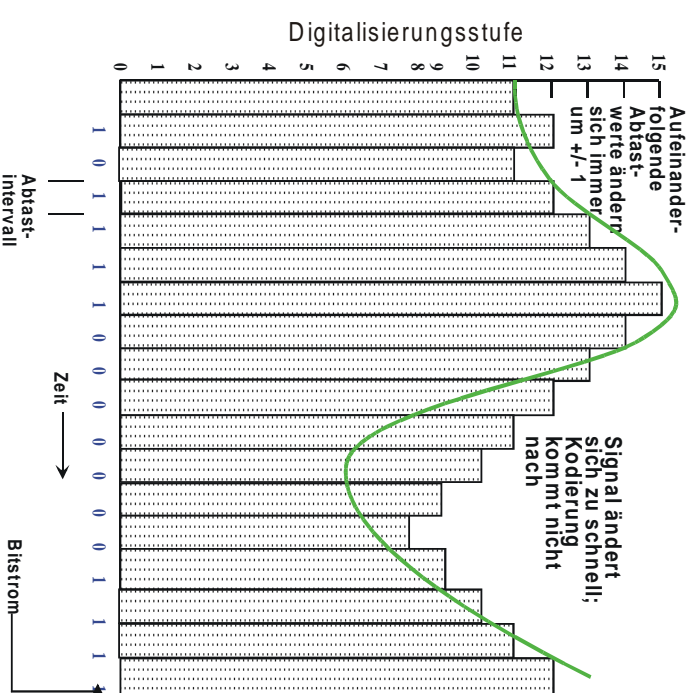
PCM 1920 = 139,294 Mbit/s

PCM 7680 = 564,992 Mbit/s

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efrassberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-47
--	---	-----------------------------------	-------

## 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:



	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efrassberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-48
--	---	-----------------------------------	-------



## Asynchrone vs. synchrone Übertragung

### Asynchron:

Es gibt kein explizites Taktsignal zwischen Sender und Empfänger.


### Synchron:

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

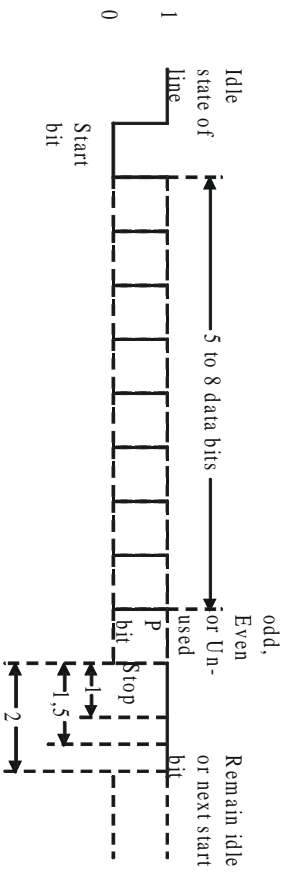
	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-49
---	---	-----------------------------------	-------

## Asynchrone Übertragung (1)

- Sender und Empfänger besitzen voneinander unabhängige (lokale) Taktgeber.
- Die „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 dauert 1, 1.5 oder 2 Bit-Intervalle an.

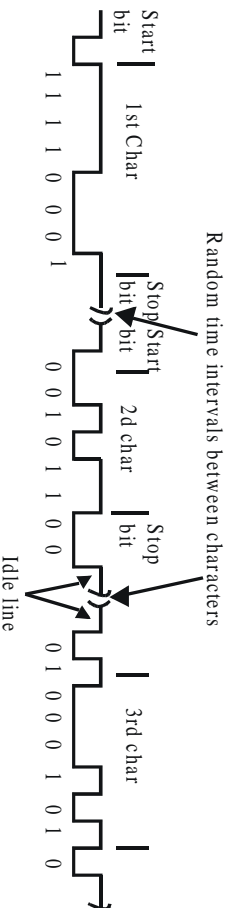
	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-50
---	---	-----------------------------------	-------

## Asynchrone Übertragung (2)



(a) Data character format

### (a) Leitungscodierung für ein Zeichen



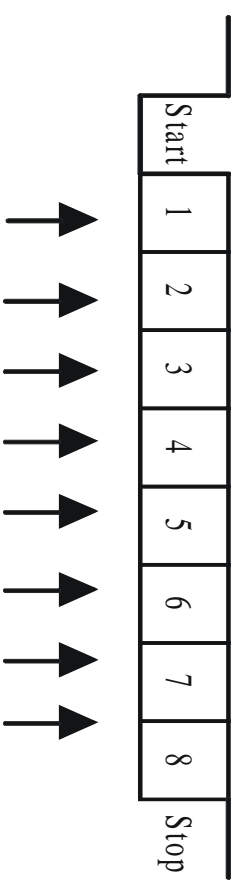
(b) 8-bit asynchronous bit stream

### (b) Asynchroner Bitstrom

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-51
--	---	-----------------------------------	-------

## Asynchrone Übertragung (3)

Effekt der auseinander laufenden Takte



	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Efratsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-52
--	---	-----------------------------------	-------


## Asynchrone Übertragung (4)

### Vorteile

- Es wird keine Synchronisierung der Taktgeber in den Endsystemen benötigt.
- Der Takt muss nicht über die Leitung übertragen werden.
- Leicht zu implementieren

### Nachteile

- Die Taktgeber der Endsysteme 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-Zeichen als Daten,
  - 1 Paritätsbit,
  - 1 Start-Bit,
  - 1 Stop-Bit.Also: Nur 70% der Leitungskapazität stehen für echte Benutzerdaten zur Verfügung.

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-53
---	---	-----------------------------------	-------


## Synchrone Übertragung (1)

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

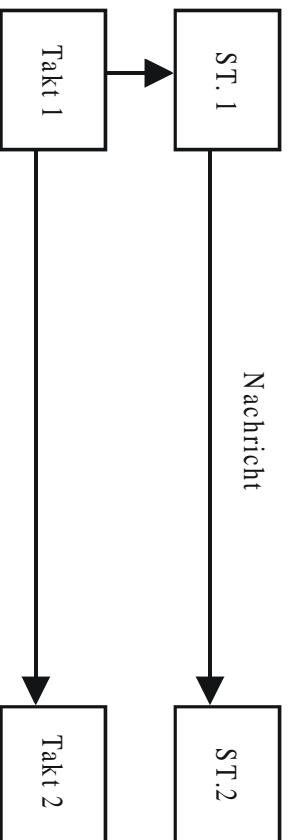
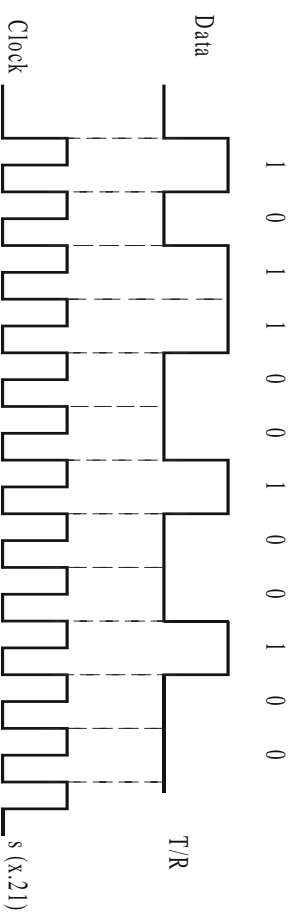
Eine Neusynchronisation nach jedem Zeichen (5-8 Bits) ist nicht erforderlich.

### Taktsignal

Das 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, z. B. durch Verwendung von Manchester-Codes).

	Rechnernetze © Prof. Dr. W. Effelsberg	2. Bitübertragungsschicht, Teil a	Za-54
---	---	-----------------------------------	-------

## Synchrone Übertragung (2)



Auslesen des Datenbits bei abfallender Flanke des Taktsignals