

# Netzwerke

→ Bitübertragungsschicht

**Prof. Dr. Norbert Pohlmann**

Fachbereich Informatik

Verteilte Systeme und Informationssicherheit

# Inhalt

---

- **Ziele**
- **Einleitung**
- **Nachrichtentechnische Grundlagen**
  - **Signale, Daten, Übertragung**
- **Medien und Übertragungsverfahren**
  - **leitungsgebunden/nicht leitungsgebunden**
  - **Mehrfachnutzung**
- **Zusammenfassung**

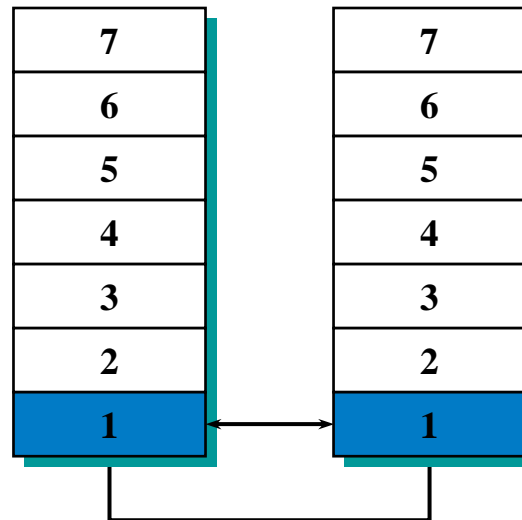
## ■ Ziele

- Einleitung
- Nachrichtentechnische Grundlagen
  - Signale, Daten, Übertragung
- Medien und Übertragungsverfahren
  - leitungsgebunden/nicht leitungsgebunden
  - Mehrfachnutzung
- Zusammenfassung

# Bitübertragungsschicht

## → Ziele

- Gutes Verständnis für die Anforderungen der Bitübertragungsschicht.
- Erlangen der Kenntnisse über die Aufgaben, Prinzipien und Mechanismen der Bitübertragungsschicht



# Inhalt

---

- Ziele

- **Einleitung**

- Nachrichtentechnische Grundlagen

  - Signale, Daten, Übertragung

- Medien und Übertragungsverfahren

  - leitungsgebunden/nicht leitungsgebunden

  - Mehrfachnutzung

- Zusammenfassung

# Einführung

## → Aufgaben der Bitübertragungsschicht (Schicht 1)

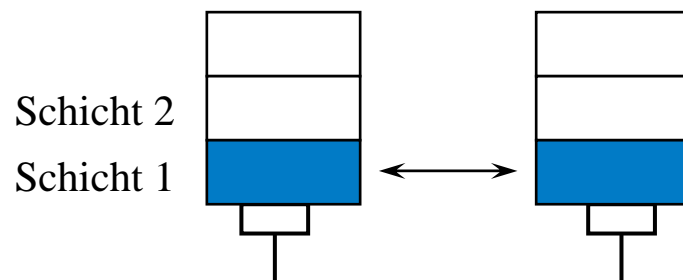
- unterste Schicht im ISO/OSI-Modell
- sitzt direkt auf dem physikalischen Medium (z.B. Kabel)
- ungesicherte Verbindung zwischen Systemen
- Übertragung unstrukturierter Bitfolgen über physikalisches Medium
- umfasst u.a. physikalischen Anschluss, Umsetzung Daten  $\leftrightarrow$  Signale
- Normung vor allem der physikalischen Schnittstelle Rechner/Medien  
Beispiele:

ITU-T: V-Empfehlungen für Fernsprechnet/Telefonnetz (analog)

Serielle Schnittstelle (RS-232C bzw. V.24)

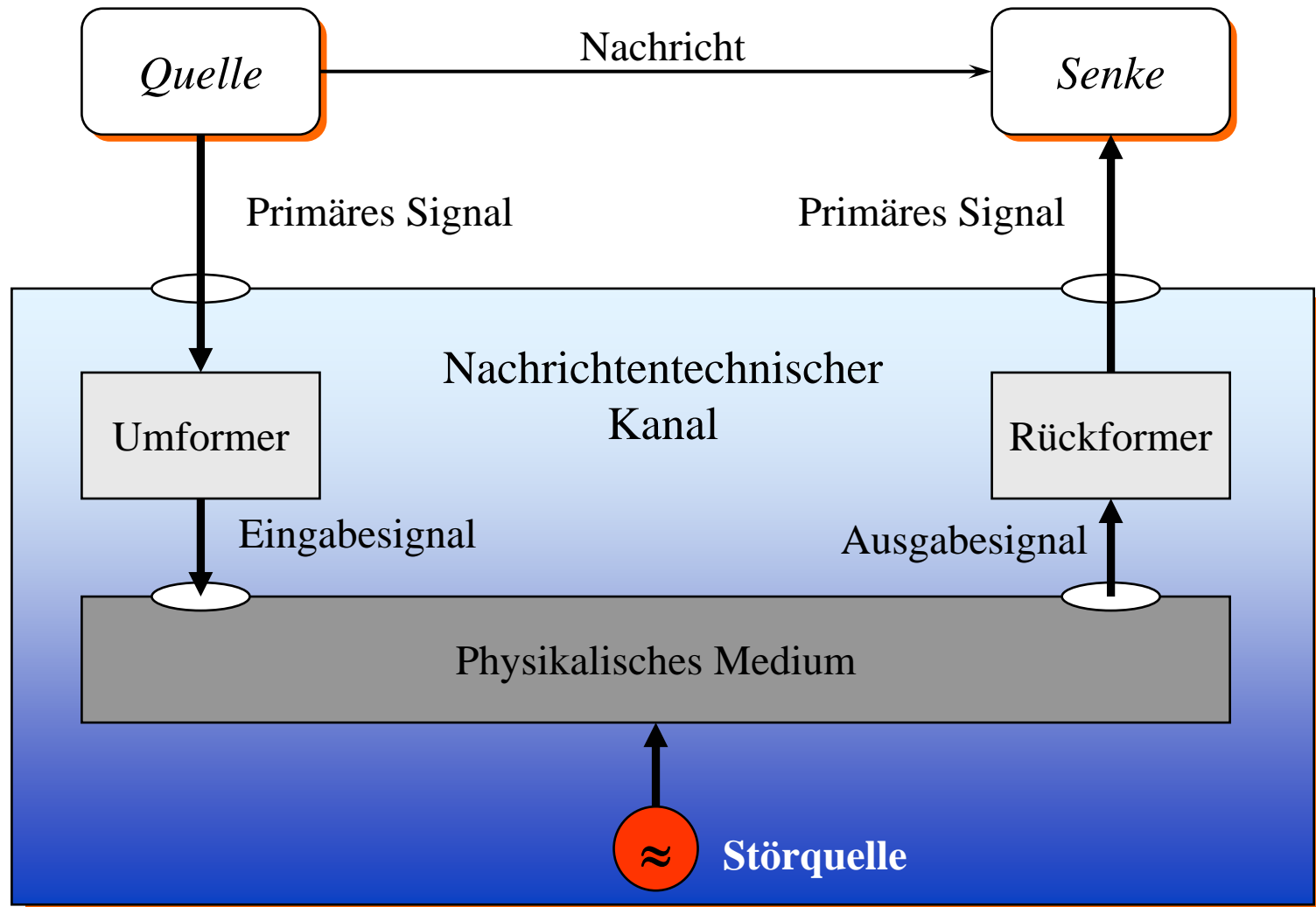
ITU-T: X-Empfehlungen: Integriertes Daten- und Nachrichtennetz

ITU-T: I100 - I600 Empfehlungen: ISDN



# Einführung

## → Modell eines einfachen Übertragungssystems



# Einführung

## → Modell eines einfachen Übertragungssystems

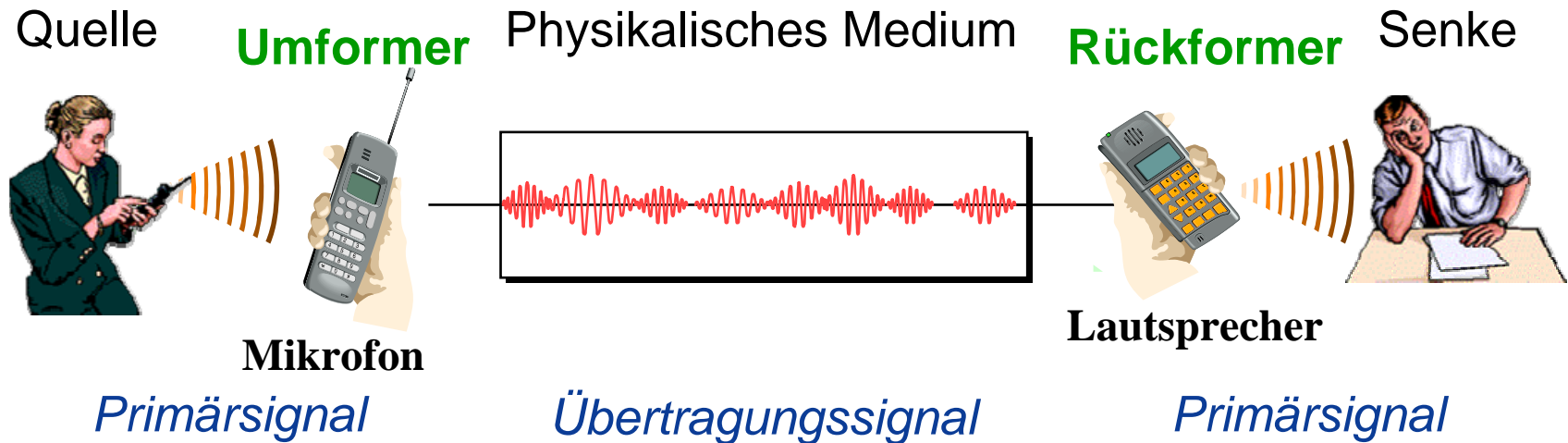
---

- Das Modell eines einfachen Übertragungssystems unterscheidet folgende drei Ebenen:
- **Quelle**, die eine Nachricht an die *Senke* überträgt:
  - Wenn Rechensysteme - und das sind heute Digitalrechner, und kaum mehr Analogrechner - als Quellen bzw. Senken beteiligt sind, hat man es mit digitalen Nachrichten zu tun.
- **Nachrichtentechnischer Kanal**:
  - Der nachrichtentechnische Kanal ist für die Umformung des Primärsignals auf das vom Medium geforderte Übertragungssignal (und wieder zurück auf das Primärsignal) zuständig.
  - Dafür sind die beiden Bestandteile **Umformer** und **Rückformer** im nachrichtentechnischen Kanal zuständig.
- Das **Medium**, durch welches die räumliche Distanz zwischen Quelle und Senke letztendlich überbrückt wird.



# Einführung

## → Übertragungssystem: Beispiel Fernsprechnet



- **Primärsignal** (hier akustisch) wird durch Umformer in ein elektrisches (hier analoges oder digitales) Signal umgewandelt. (Quellen-/Senkenbezogene physikalische Größe)
- Das **Übertragungssignal** kann elektrisch oder auch optisch sein. (Medienbezogene physikalische Größe)

# Inhalt

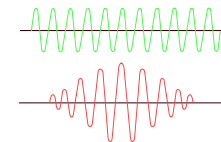
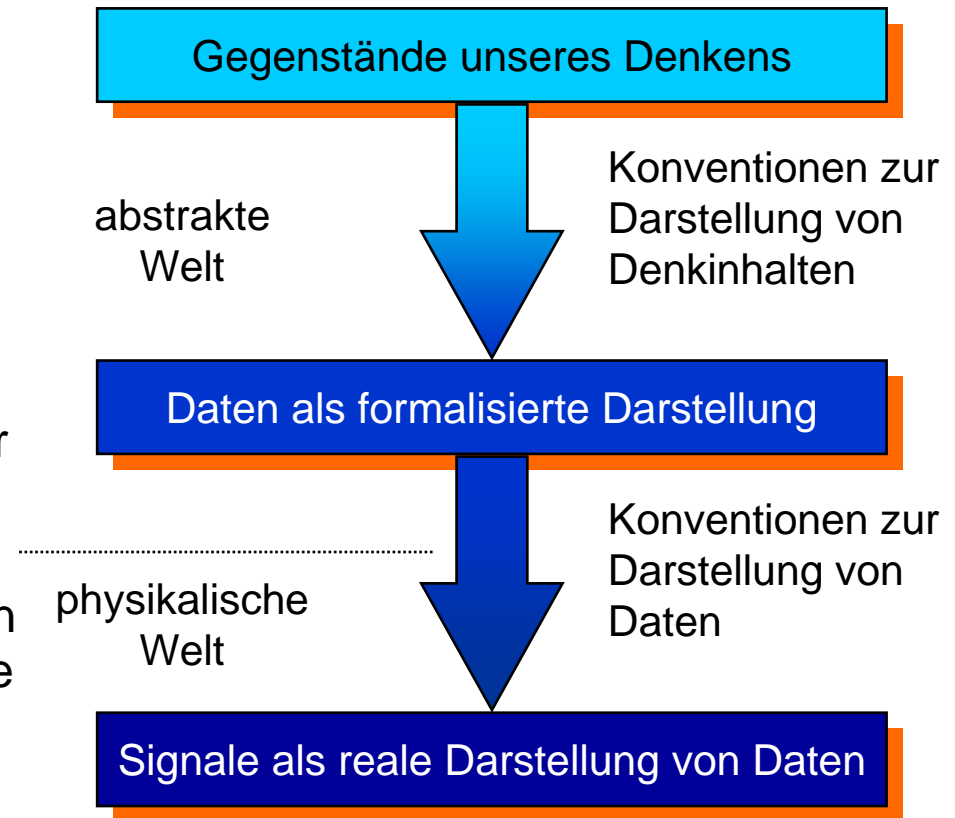
---

- Ziele
- Einleitung
- **Nachrichtentechnische Grundlagen**
  - **Signale, Daten, Übertragung**
- Medien und Übertragungsverfahren
  - leitungsgebunden/nicht leitungsgebunden
  - Mehrfachnutzung
- Zusammenfassung

# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Signale und Daten

- **Daten**  
Darstellung von Sachverhalten, Konzepten, Vorstellungen und Anweisungen in formalisierter Weise
- **Signal**  
Physikalische Darstellung von Daten durch charakteristische räumliche und/oder zeitliche Veränderungen der Werte physikalischer Größen.
- Signale sind somit die reale physikalische Repräsentation abstrakter Darstellungen: der Daten.



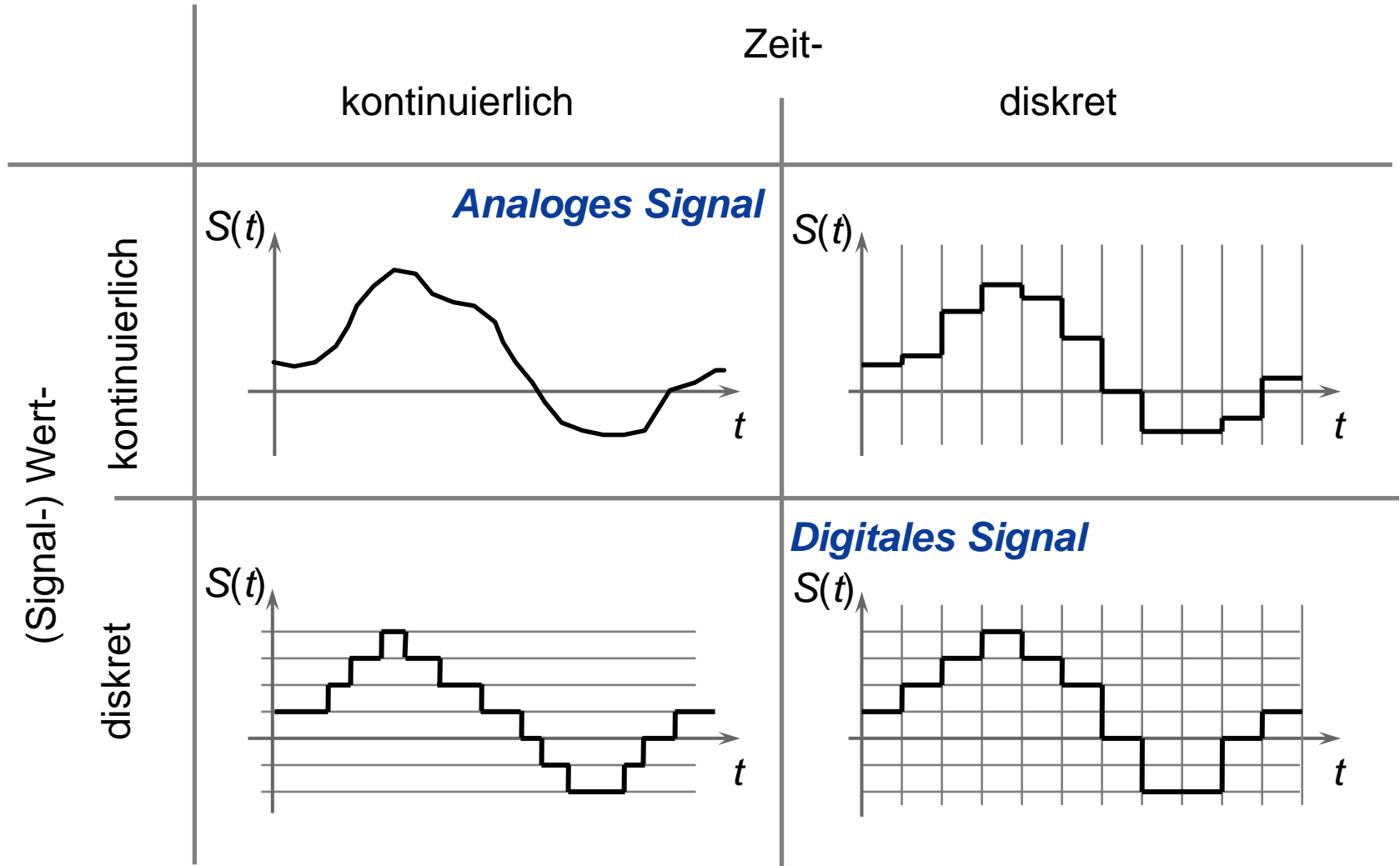
# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Signale und ihre Parameter

- **Signalparameter** sind diejenigen physikalischen Kenngrößen eines Signals, deren Wert oder Werteverlauf die Daten repräsentieren.
  - Bei **räumlichen Signalen** sind Werte des Signalparameters Funktion des Ortes, z.B. des Speichermediums.
  - Bei **zeitabhängigen Signalen** sind Werte des Signalparameters  $S$  Funktion der Zeit  $S = S(t)$ .
- Generische Einteilung zeitabhängiger Signale in vier Klassen:
  - zeitkontinuierliche, signalwertkontinuierliche Signale
  - zeitdiskrete, signalwertkontinuierliche Signale
  - zeitkontinuierliche, signalwertdiskrete Signale
  - zeitdiskrete, signalwertdiskrete Signale
- **Kontinuierlich:** stetiger Verlauf (kein Abstand zwischen je zwei Punkten)
- **Diskret:** sprunghafter Verlauf (Einschränkung auf bestimmte Werte)

# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Signalklassen



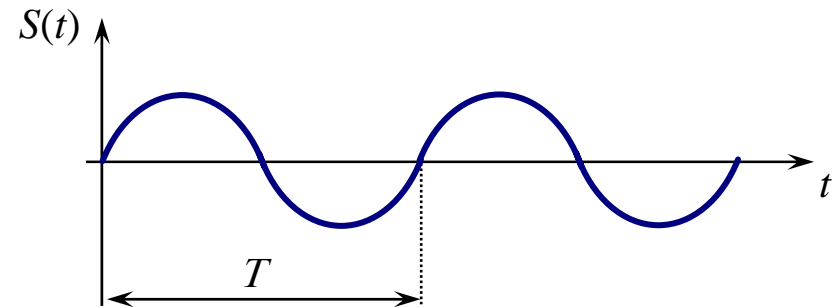
# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Periodische und digitale Signale

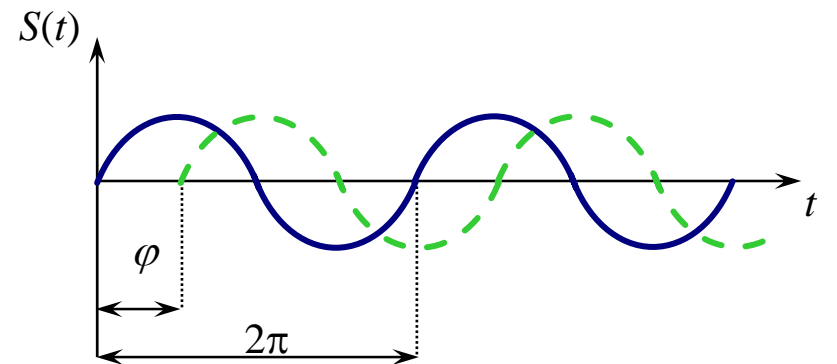
- Kenngrößen periodischer Signale: Periode  $T$ , Frequenz  $1/T$ , Amplitude  $S(t)$ , Phase  $\varphi$

- Beispiele:

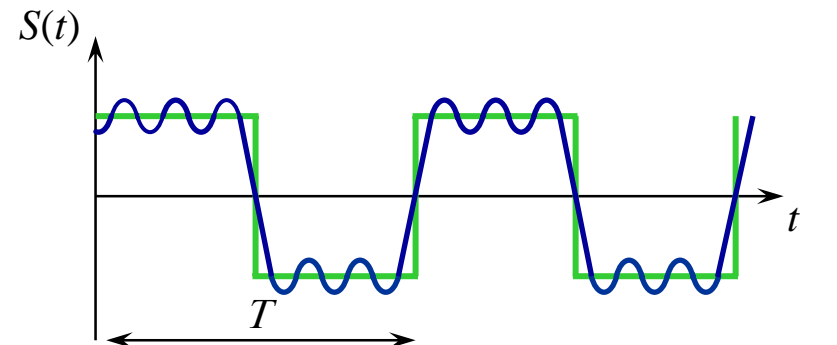
- Sinus-Schwingung



- Phasendifferenz  $\varphi$

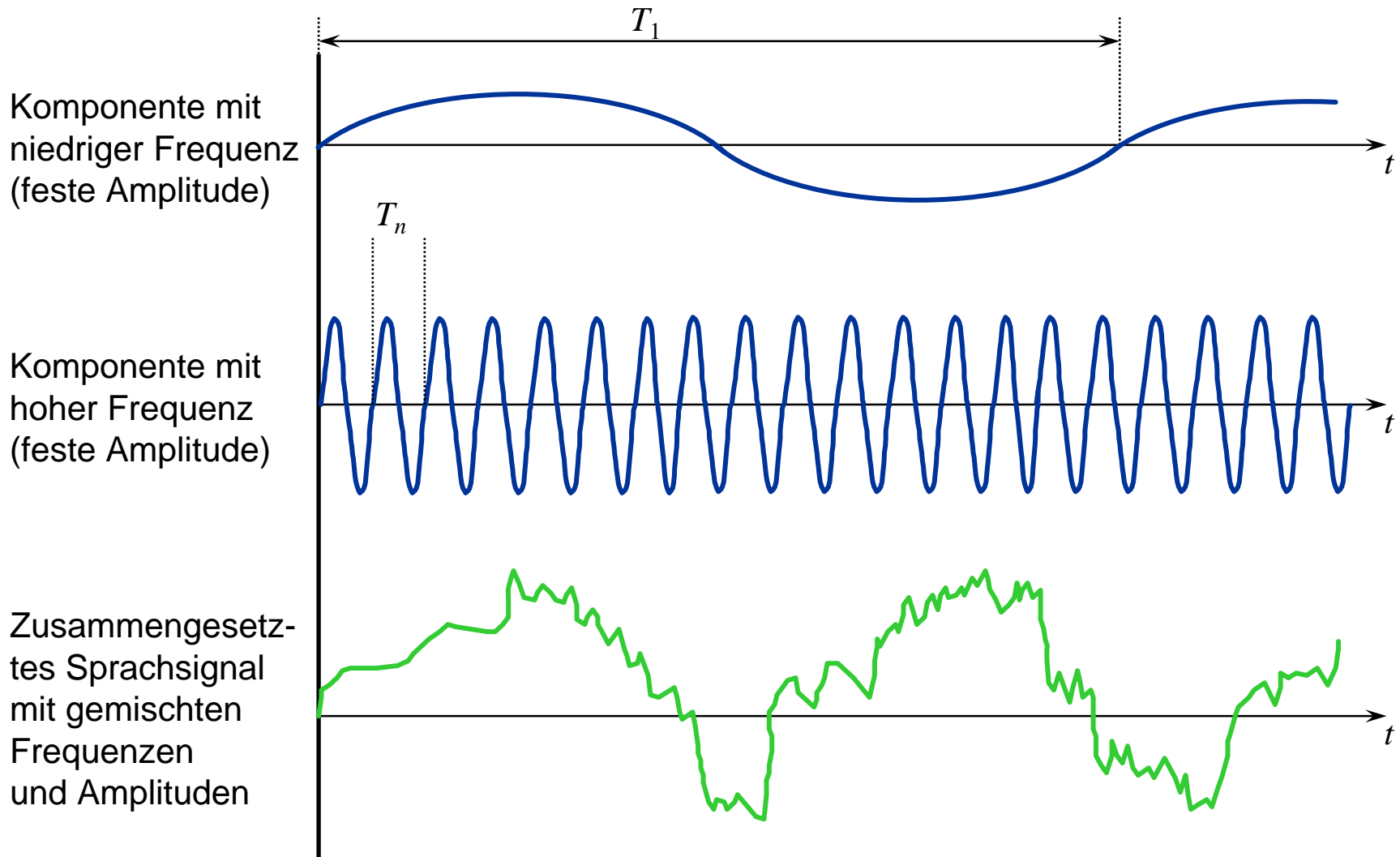


- Rechteck-Schwingung (zeitdiskret „idealisiert“)



# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Zusammengesetzte Signale



Komponente mit  
niedriger Frequenz  
(feste Amplitude)

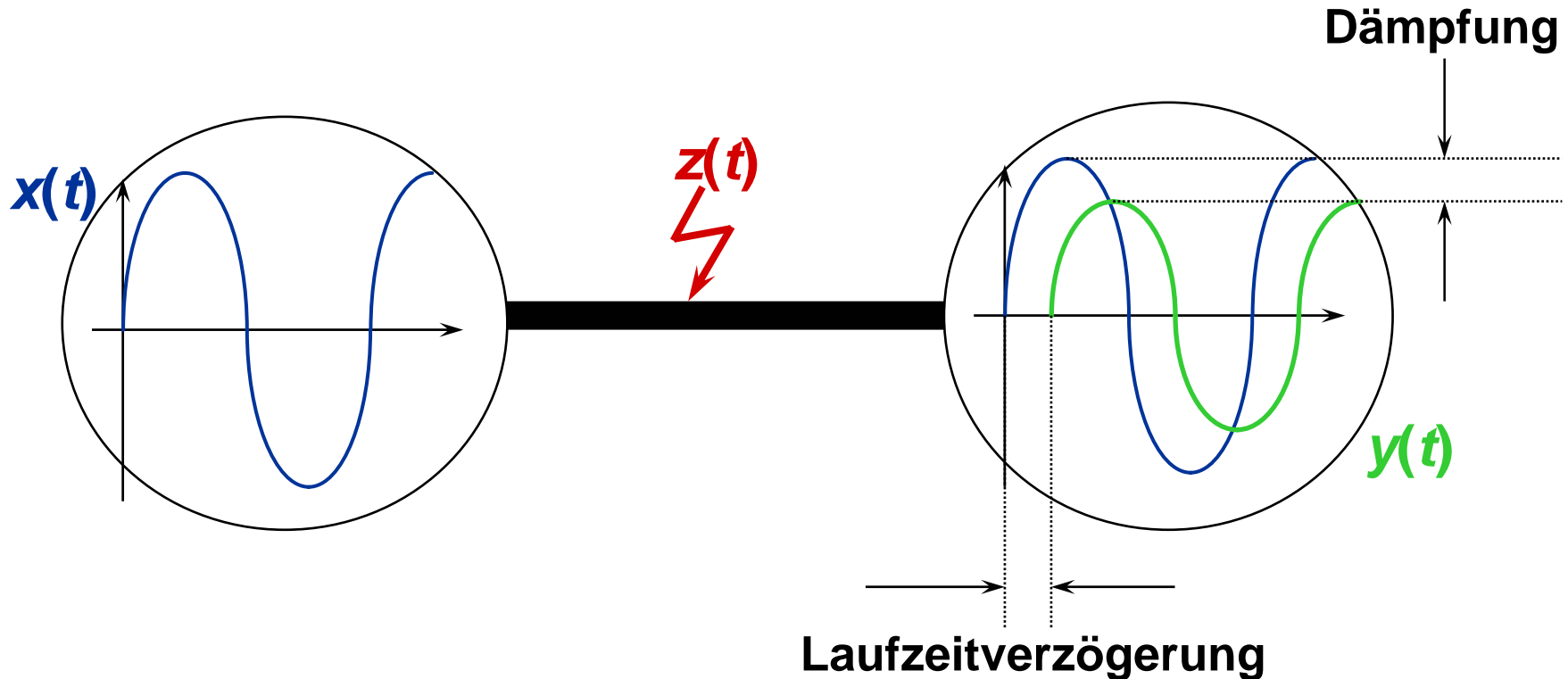
Komponente mit  
hoher Frequenz  
(feste Amplitude)

Zusammengesetz-  
tes Sprachsignal  
mit gemischten  
Frequenzen  
und Amplituden

# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Signalübertragung über ein Medium

- $y(t) = F(x(t), z(t))$  mit
  - $x(t)$ : Eingangssignal,  $y(t)$ : Ausgangssignal,  $z(t)$ : Störeinfluss



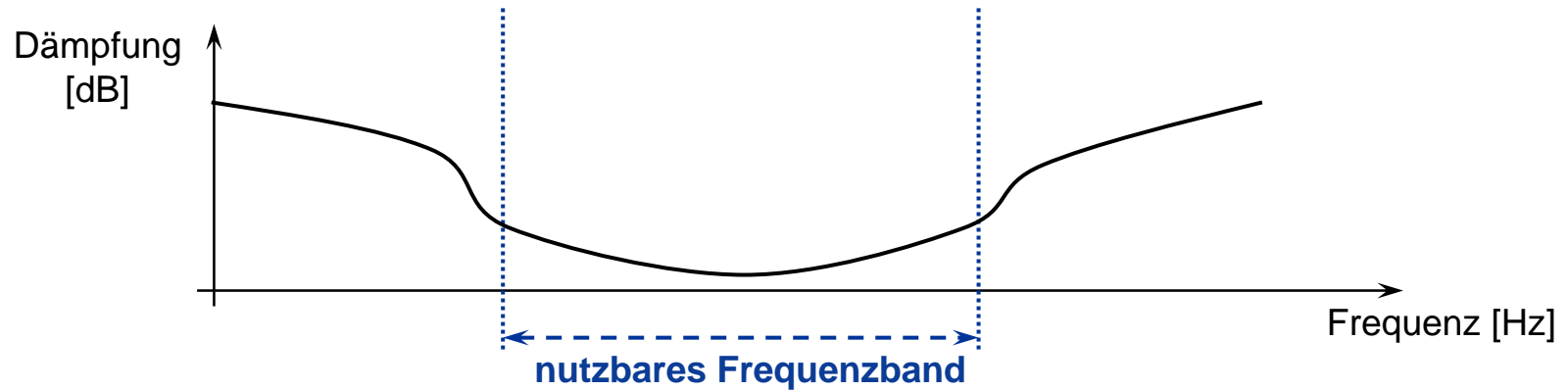
- Die **Laufzeit** ist bestimmt durch die **Signalgeschwindigkeit**, während die **Dämpfung** eine **Eigenschaft des Mediums** ist.
- So ist z.B. ein wesentlicher Vorteil des optischen Mediums, dass dieses eine um den Faktor  $10^2$  bis  $10^3$  geringere Dämpfung aufweist als z.B. ein Koaxial- oder Kupferkabel.



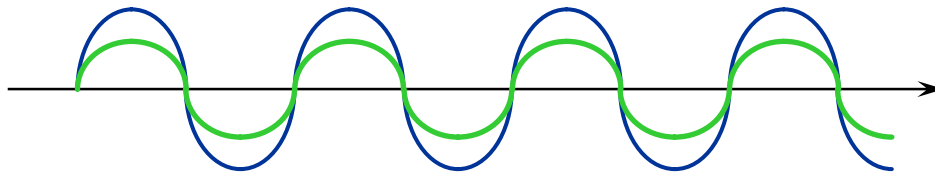
# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Kenngrößen medienbedingter Abweichungen

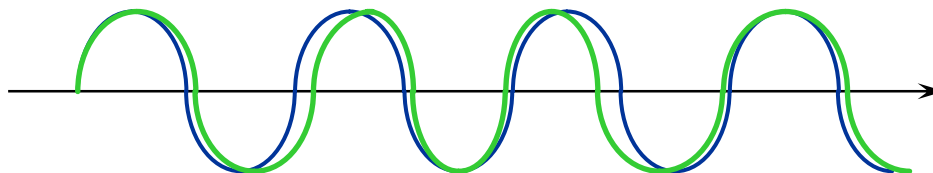
**Bandbreite:** durch die Dämpfung vorgegeben



**Dämpfungsverzerrung:** Amplitudenschwund, Amplitudensprünge



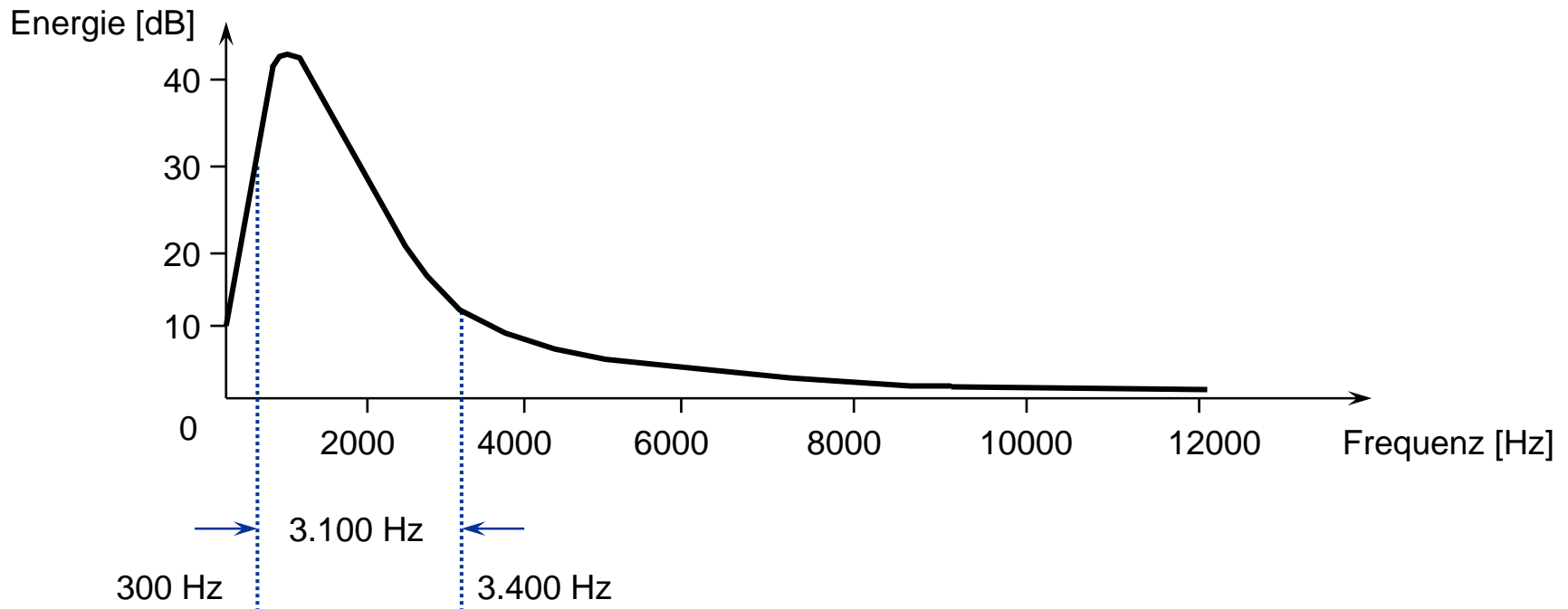
**Laufzeitverzerrung:** Frequenzverwerfung, Phasenschwankungen (Jitter)



# Nachrichtentechnische Grundlagen

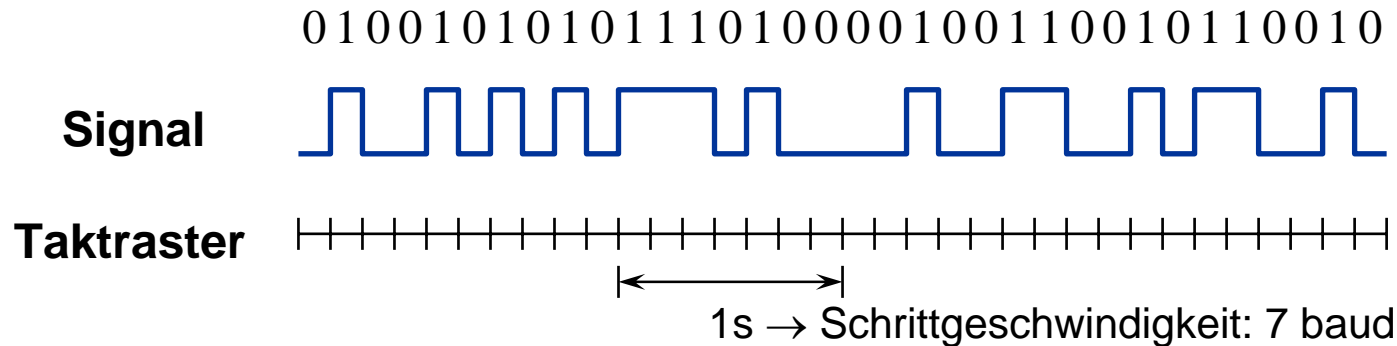
## → Frequenzspektrum eines Signals

- **Bandbegrenztes Signal:** Signale können ein „natürlich“ begrenztes Frequenzspektrum umfassen oder durch technische Mittel auf einen Ausschnitt ihres Spektrums begrenzt werden (Bandbreite)
  - Beispiel: ITU-Standardtelefonkanal  
Kontinuierliches Frequenzspektrum der menschlichen Stimme



# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Digitale Signalübertragung: Begriffe



### ■ Schritt

- Minimales Zeitintervall  $T_{\min}$  zwischen aufeinanderfolgenden Änderungen der Signalkoordinate → Dieses Intervall wird auch als „**Schrittdauer**“ bezeichnet
- *Wichtig:* Digitales Signal mit fester Schrittdauer  $T$  („**Schritt-Takt**“)

### ■ Schrittgeschwindigkeit

- Bei Digitalsignalen mit festem Zeitraster: Kehrwert der Schrittdauer
- Einheit: **baud** = 1/s

# Nachrichtentechnische Grundlagen

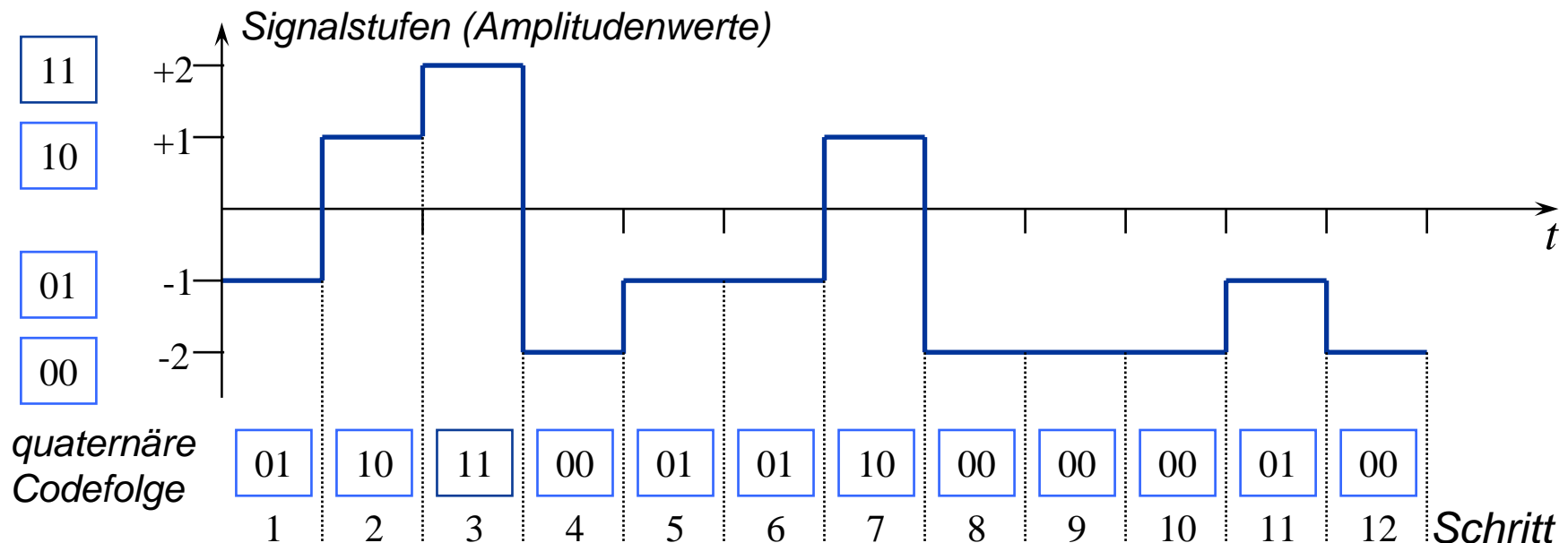
## → Mehrwertiges Digitalsignal: Beispiel

### ■ Zweiwertiges Signal

- Digitales Signal mit nur zwei Werten des Signalparameters
- *Schrittgeschwindigkeit in baud = Übertragungsgeschwindigkeit in bit/s*

### ■ Mehrwertiges Signal

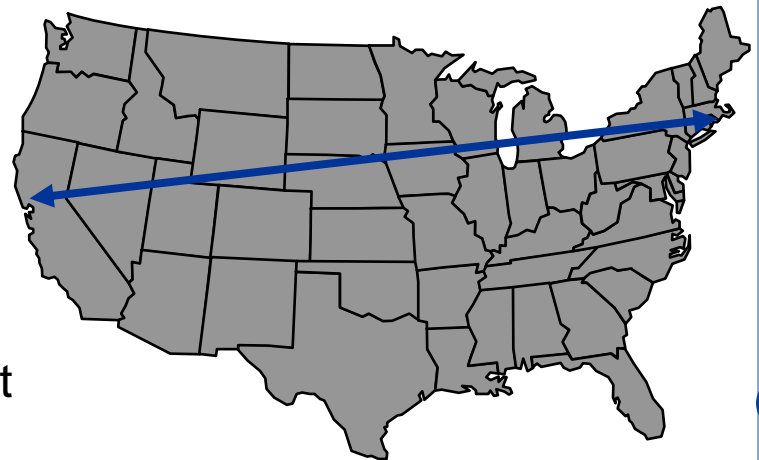
- Die (diskrete) Signalkoordinate kann mehr als zwei Werte annehmen
- *Übertragungsgeschwindigkeit in Bit/s = Schrittgeschwindigkeit \*  $\log_2(n)$*
- Beispiel: DIBIT: zwei Bit pro Koordinatenwert (quaternäres Signal)



# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Ausbreitungsgeschwindigkeit von Daten

- **Optimum:** Lichtgeschwindigkeit ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ) im Vakuum
- Ausbreitungsgeschwindigkeit auf Leitungen  $<$  Lichtgeschwindigkeit
  - Näherungsweise  $0,6 \cdot c$
- Speicherkapazität des Mediums durch begrenzte Ausbreitungsgeschwindigkeit
  - ⇒ wird auch als „Pfadkapazität“ bezeichnet
- **Beispiel:** Datenübertragung vom MIT nach Berkeley:
- Strecke: 5.000 km; Signallaufzeit:  
 $5.000 \text{ km} / 2 \cdot 10^8 \text{ m/s} = \mathbf{25 \text{ ms}}$ 
  - Bei einer Übertragungsrate von 64 kbit/s: 1.600 bit Speicherkapazität
  - Bei einer Übertragungsrate von 2 Mbit/s: 50.000 bit Speicherkapazität



# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Nyquist- und Abtasttheorem

- **H. Nyquist (1924):**  
Max. Datenrate für einen rauschfreien Kanal mit eingeschränkter Bandbreite.

$$\text{Maximale Datenrate [Bit/s]} = 2 B \log_2 n$$

$B$ : Bandbreite des Kanals

$n$ : Anzahl diskreter Signalstufen

- **Abtasttheorem von Shannon und Raabe:**  
Die Abtastfrequenz  $f_A$  muss mindestens zweimal so hoch wie die Grenzfrequenz  $f_{Grenz}$  sein.

$$f_A \geq 2 * f_{Grenz}$$

# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Nyquist- und Abtasttheorem: Beispiel

- Beispiel: Gegeben sei ein Kanal mit einer Bandbreite von 3.000 Hz, welcher binär codiert wird. Der Signal-Rauschabstand beträgt 30 dB. Die maximale Datenrate errechnet sich dadurch wie folgt:
  - *Nyquist*: maximale Datenrate =  $(2 * 3000 * \text{Id } 2)$  Bit/s = 6.000 bit/s
  - *Shannon*:  $30 \text{ dB} = 10 * \log_{10}(S/N) \Rightarrow S/N = 10^3 = 1.000$
  - maximale Datenrate =  $3.000 * \text{Id}(1 + 1000) = 30.000 \text{ bit/s}$
- Die maximale Datenrate ergibt sich jetzt aus dem Minimum dieser beiden Werte, also 6.000 bit/s.
- Für die Abtastung eines Signals ist es erforderlich, dass die Abtastrate mindestens doppelt so hoch ist wie die maximale Frequenz, die im Signal vorkommen kann. Dies wird durch das Abtasttheorem von Shannon und Raabe festgelegt.

# Nachrichtentechnische Grundlagen

## → Beispiel: Pulse Code Modulation (PCM)

- Wandlung analoger Signale in digitale Signale (z.B. bei digitalen Fernsprechanalgen, ISDN):
  - **Abtastung** zeitdiskretes Signal
  - **Quantisierung** zeit- und wertdiskretes Signal
- **Beispiel:**  
**Pulse Code Modulation** für digitale Fernsprechübertragung
  - Grenzfrequenz: 3.400 Hz
  - Abtastfrequenz: 8.000 Hz (> 6.800 Hz)  
d.h. alle 125  $\mu$ s wird abgetastet
  - Kodierung der Signalwerte: 8 Bit (entspricht  $2^8 = 256$  Intervalle)

⇒ **Datenrate: 8.000 Hz \* 8 Bit = 64.000 bit/s = 64 kbit/s**



# Nachrichtentechnische Grundlagen

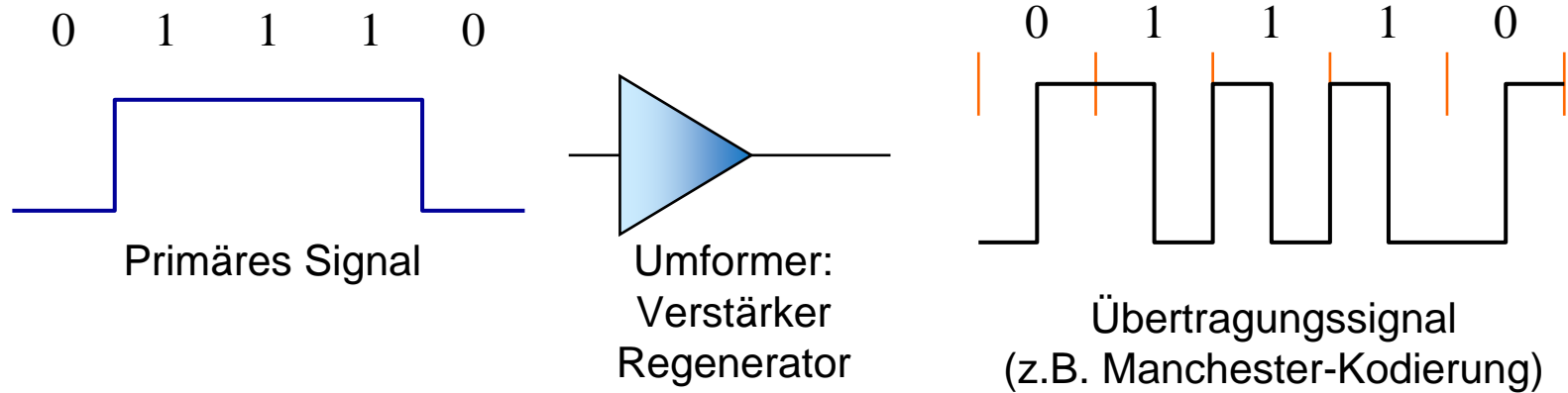
## → Übertragungsverfahren und Umformung

---

- Zur Übertragung erforderlich:
  - **Umformung** des primären Quellsignals in das Eingangesignal des Mediums
  - **Rückformung** des Ausgabesignals in das primäre Senkesignal
- Bei digitalen Kanälen wird im Wesentlichen unterschieden zwischen:
  - Weitergabe des Quellsignals: **Umformung digital ↔ digital**
    - Basisbandübertragung
  - Aufprägung des Quellsignals auf harmonische Trägerschwingung, d.h. Quellensignale werden einer Trägerfrequenz aufmoduliert: **Umformung digital ↔ analog**
    - Amplitudentastung (Amplitudenmodulation)
    - Frequenzastung (Frequenzmodulation)
    - Phasentastung (Phasenmodulation)

# Übertragungsverfahren und Umformung

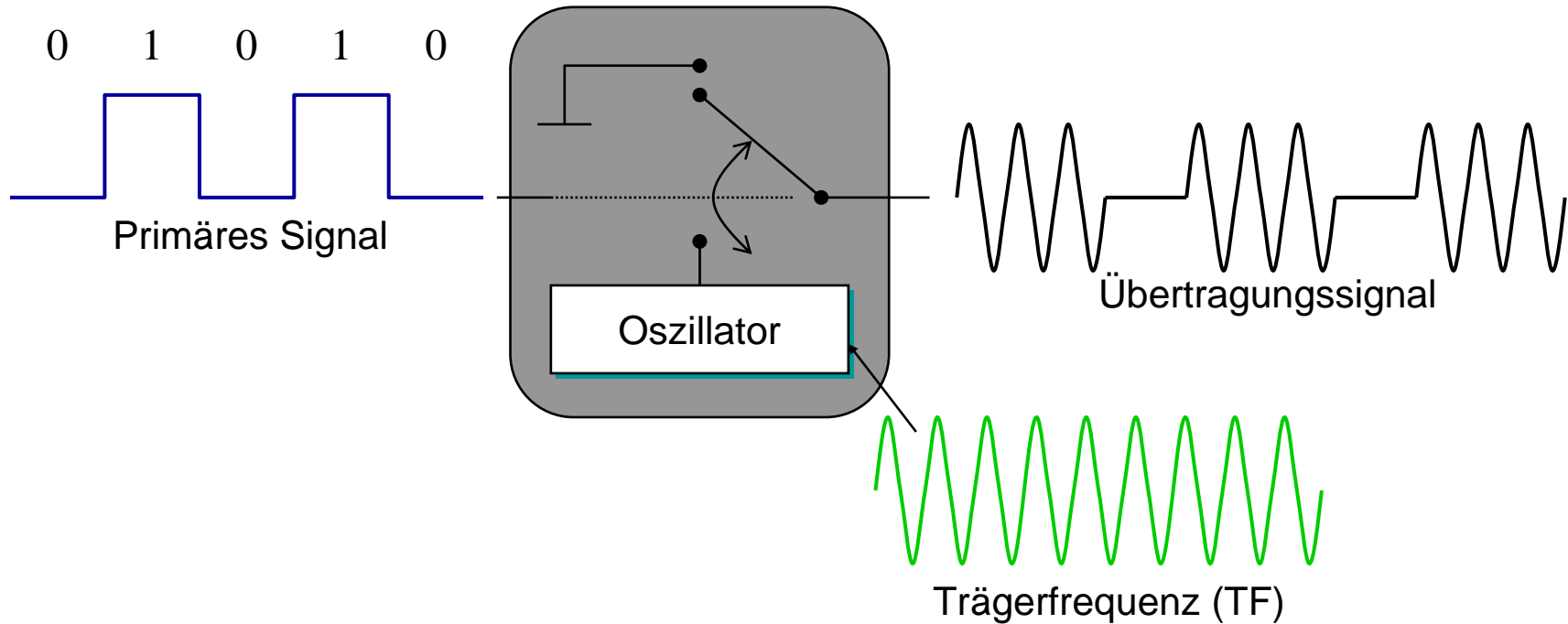
## → Basisbandübertragung



- Einfaches Verfahren
- Primäres Signal muss an Mediencharakteristik angepasst werden
- Umformung digital → digital
- Die Abbildungsvorschrift auf das Übertragungssignal wird auch als Leitungscodierung bzw. Übertragungscodierung bezeichnet

# Übertragungsverfahren und Umformung

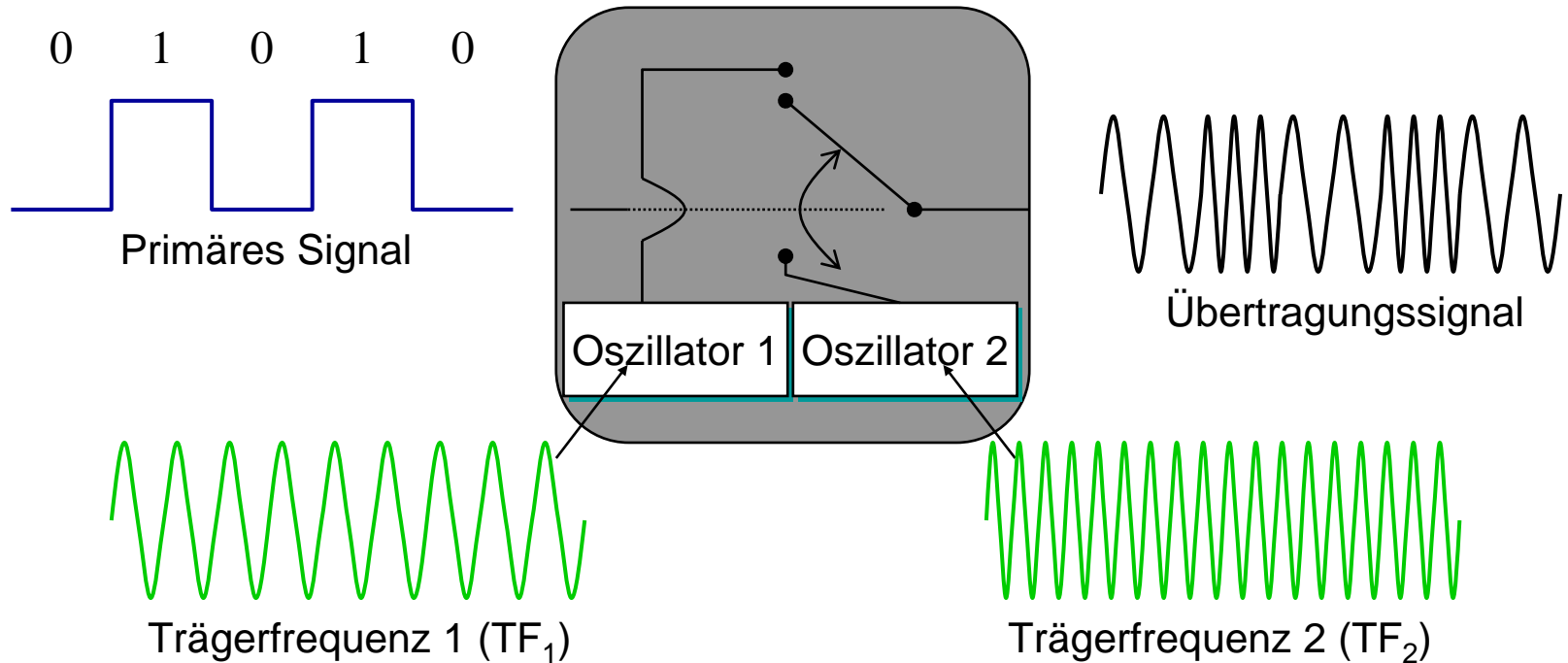
## → Amplitudenmodulation



- Primäres Signal wird durch Amplitudenveränderung auf Trägersignal moduliert.
- Amplitudenmodulation ist sehr störanfällig.
- Erkennung langer Folgen von 1 erfordert stabile Taktgeneratoren

# Übertragungsverfahren und Umformung

## → Frequenzmodulation



- Primäres Signal wird durch gezielte Änderung der Trägerfrequenz moduliert.
- Frequenzmodulation ist das unter anderem auch bei UKW-Rundfunk eingesetzte Modulationsverfahren.



# Übertragungsverfahren und Umformung

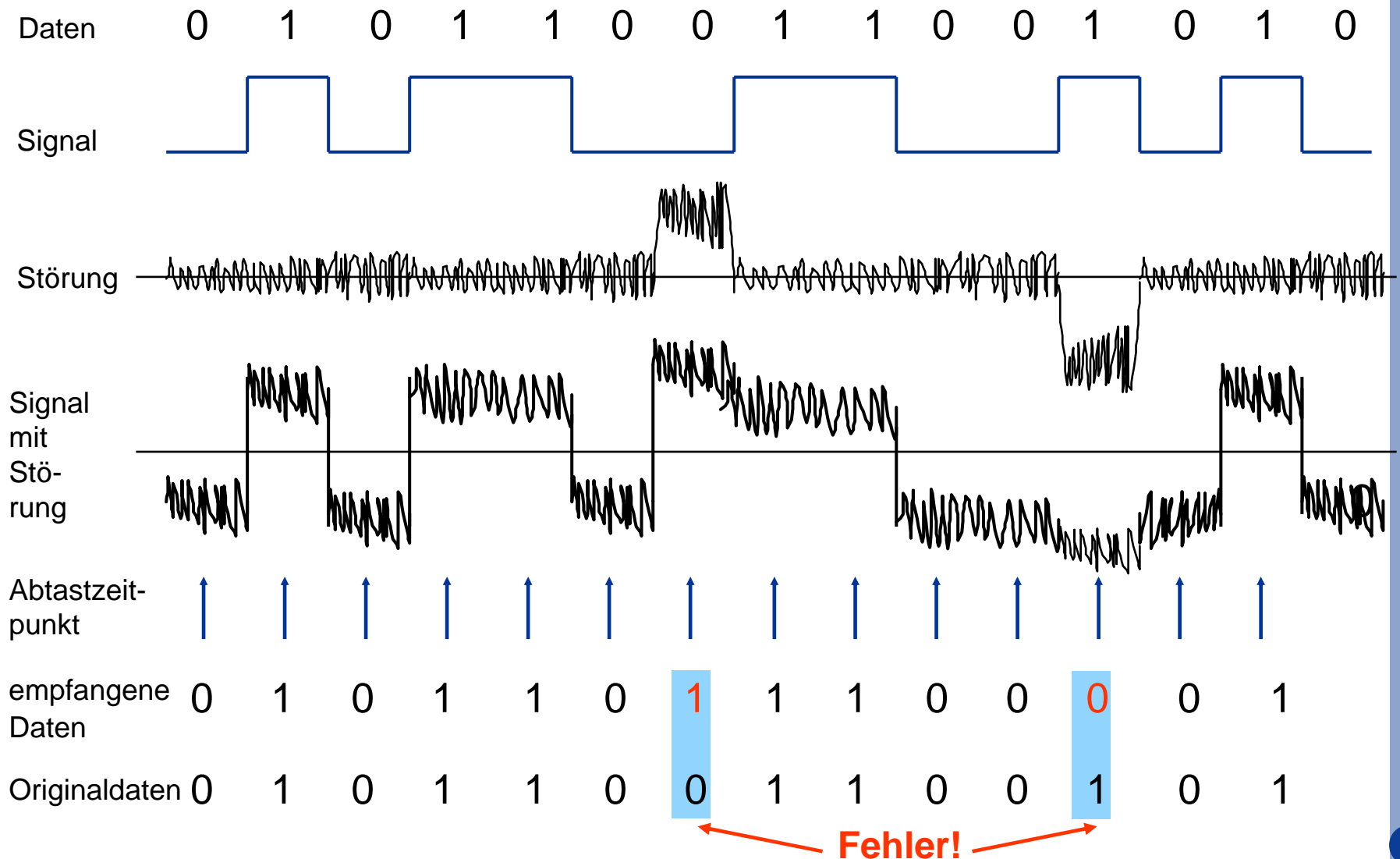
## → Störeinflüsse

---

- Die bisher behandelten Kenngrößen stellen **medienbedingte Abweichungen** dar!
- Zusätzlich können **Störungen** auftreten, die das Signal beeinflussen!
- Beispiel für **Störeinflüsse**:
  - Weißes Rauschen (Grundstöranteil)
  - Echobildung (durch zeitverschobenes Eingangssignal)
  - Nebensprechen (gegenseitige Medienbeeinflussung)
  - Brummsignale (niederfrequente Störsignale)
  - Störimpulse (kurzzeitig mit hoher Amplitude)

# Übertragungsverfahren und Umformung

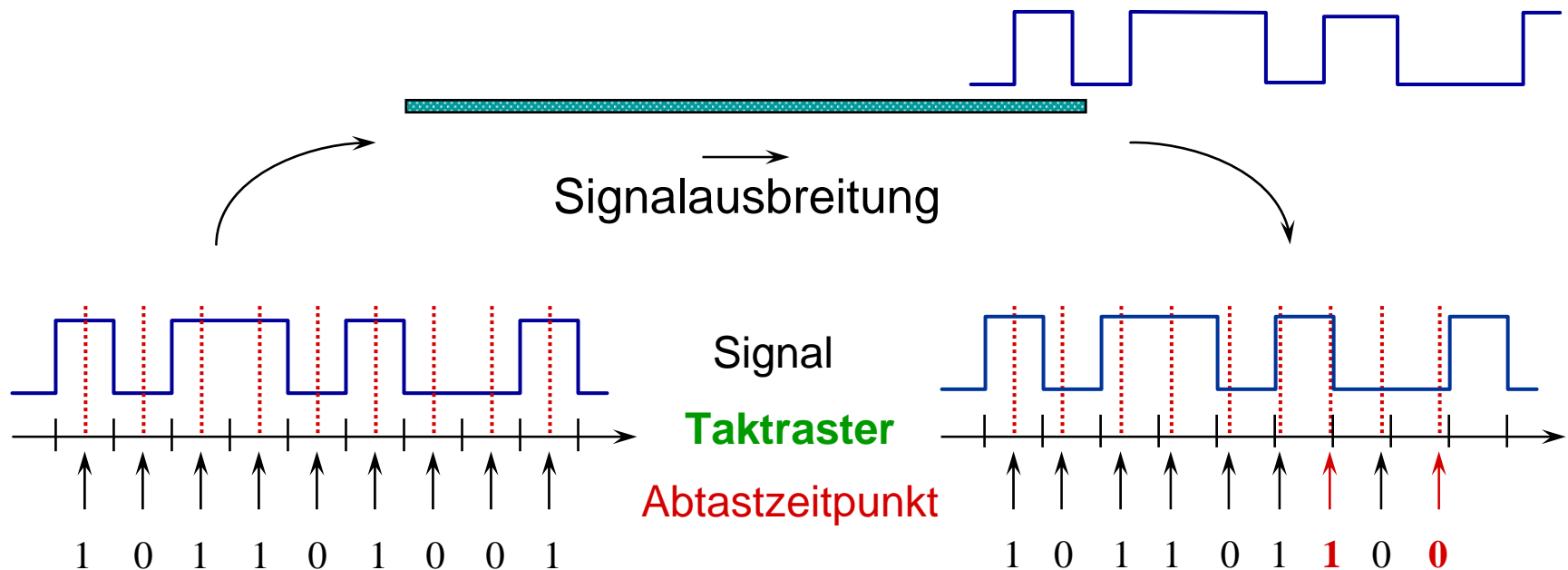
## → Beispiel: Auswirkung von Störungen



# Übertragungsverfahren und Umformung

## → Beispiel: Bitfehler durch fehlerhafte Synchronisation

- Wesentlich für eine fehlerfreie Übertragung sind **korrekt synchronisierte Sender und Empfänger**
  - **Ungenau abgetastete Zeitpunkte** können u.U. zu **sporadischen Bitfehlern** führen, obwohl die Signalfolge korrekt übertragen wurde
  - **Falsch synchronisierte Sender und Empfänger** führen häufig zu einer **vollständig falsch interpretierten Bitfolge!**





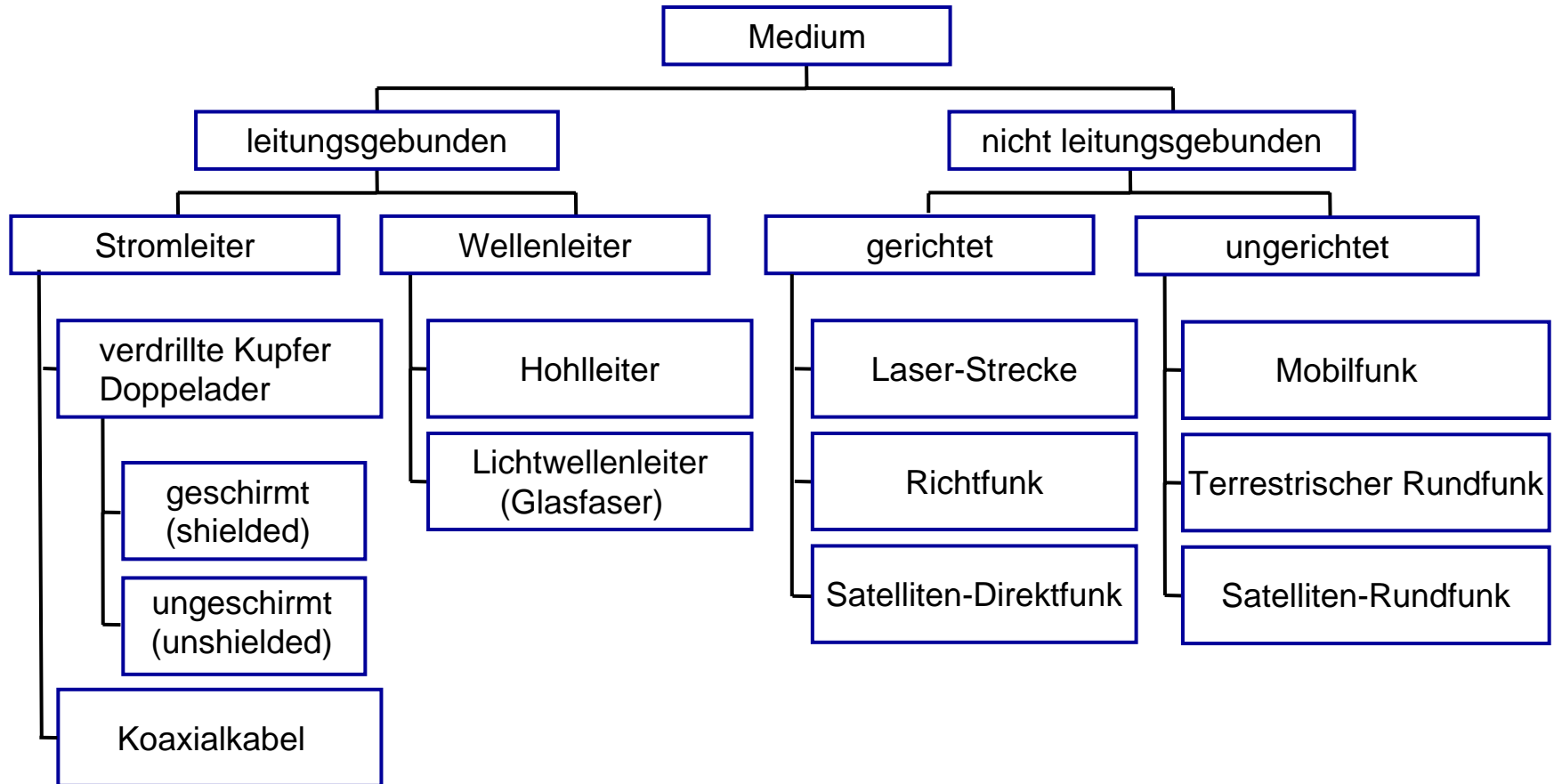
# Inhalt

---

- Ziele
- Einleitung
- Nachrichtentechnische Grundlagen
  - Signale, Daten, Übertragung
- **Medien und Übertragungsverfahren**
  - **leitungsgebunden/nicht leitungsgebunden**
  - **Mehrfachnutzung**
- Zusammenfassung

# Medien

## → Klassifikation



# Medien

## → Nutzung des elektromagnetischen Spektrums

### leitungsgebundene Übertragungstechniken

verdrillte Drähte

Koaxialkabel

Hohlleiter

optische Fasern

$10^3$   $10^5$   $10^7$   $10^9$   $10^{11}$   $10^{13}$   $10^{15}$  Hz

Langwellen-  
Radio

Mittelwellen-  
Radio

Kurzwellen

Fernsehen

Mikrowellen

Infrarot

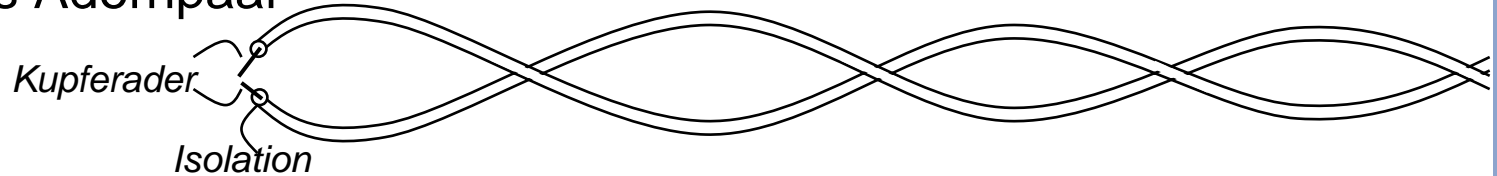
sichtbares  
Licht

### nicht-leitungsgebundene Übertragungstechniken

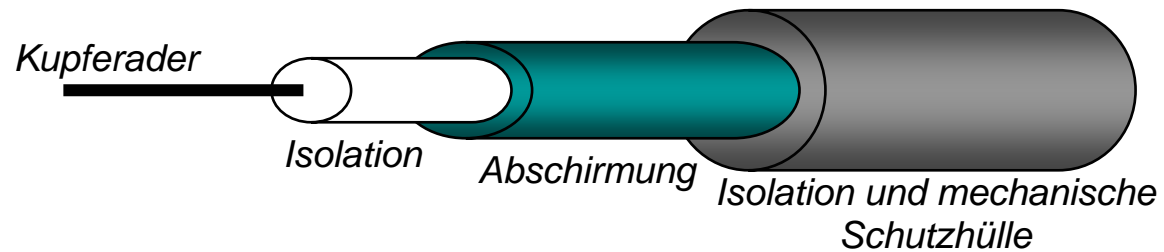
# Medien

## → Kabelgebundene physikalische Medien

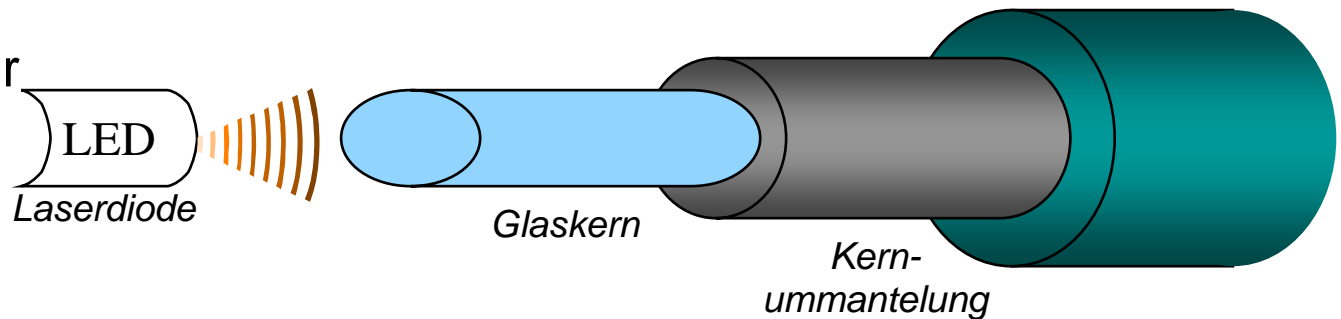
### Verdrilltes Adernpaar



### Koaxialkabel



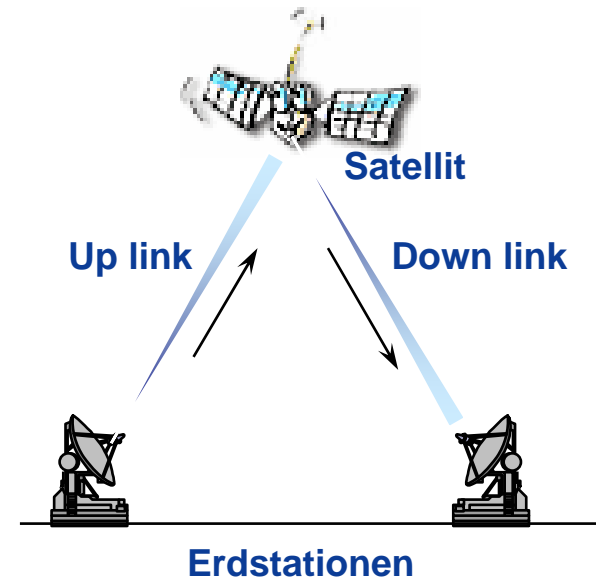
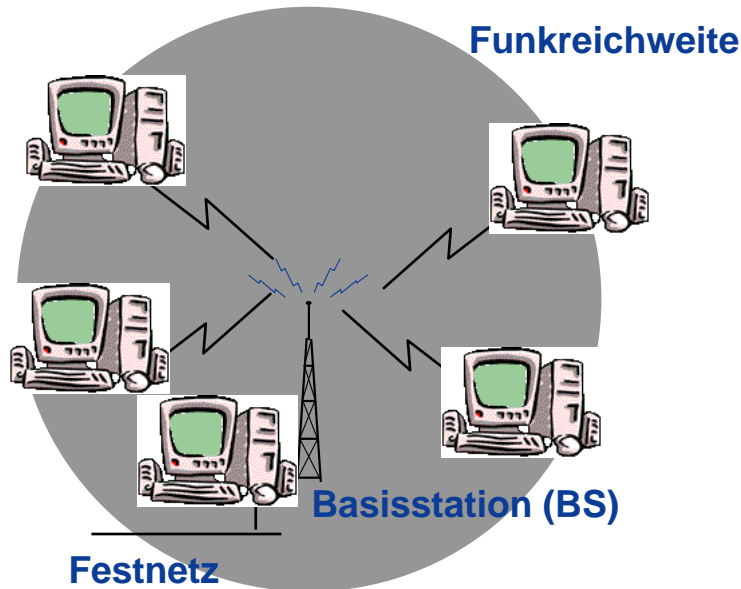
### Lichtwellenleiter (Glasfaser)



- Kupferdoppeladern (UTP - Unshielded Twisted Pair):
  - Zwei Kupferdrähte, die verdrillt sind, um Störeinflüsse abzuschwächen.
  - Diese Medienform ist sehr billig und meist schon (aufgrund von Telekommunikationsanlagen) verlegt.
  - Neben UTP gibt es auch noch die teureren, abgeschirmten Kabel mit Kupferdoppeladern, die sinngemäß STP (Shielded Twisted Pair) genannt werden.
- Derzeit sind UTP Kabel weit verbreitet, die in unterschiedliche Kategorien aufgeteilt werden:
  - UTP 1 bis UTP 5 (häufig auch als CAT 1 bis CAT 5 bezeichnet), wobei UTP 3 (16 MHz), UTP 4 (20 MHz), UTP 5 (100 MHz) und UTP 6 (200 MHz) für aktuelle Netzwerke interessant sind.
  - Derzeit wird UTP 7 standardisiert, wobei für die Spezifikation eine maximale Frequenz von 600 MHz vorgeschlagen wurde (Damit wäre es durchaus möglich, ATM mit 622 Mbit/s zu realisieren!).
  - **UTP 5 Kabel sind derzeit wohl am weitesten verbreitet.** Damit ist es möglich, Übertragungsraten von bis zu 155 MBit/s zu erreichen.

# Medien

## → Funk- und Satellitentechnik



- Medium: Elektromagnetische Welle (104 - 108 Hz)
- Daten werden aufmoduliert
- Eingeschränkte Reichweite, je nach Ausgangsleistung der BS und örtlichen Gegebenheiten
- Datenrate: bis zu 11 Mbit/s

- Medium: Elektromagnetische Welle (109 - 1011 Hz)
- Transponder im Satellit empfängt auf einem Kanal, sendet auf einem anderen.
- Mehrere Transponder pro Satellit
- Hohe Bandbreite (500MHz) pro Kanal

# Medien

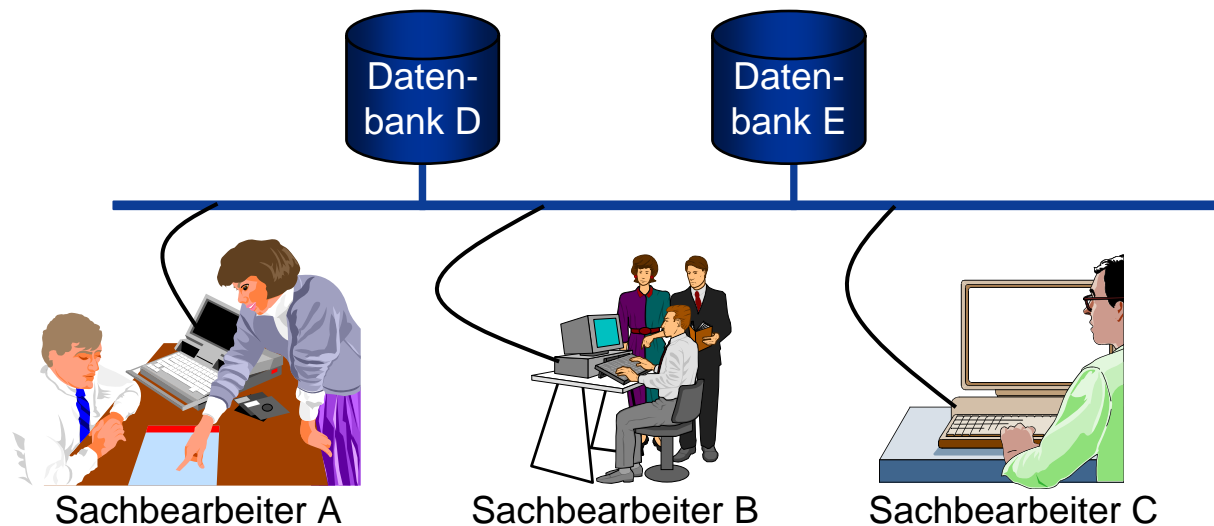
## → Dedizierter und mehrfach genutzter Kanal

### ■ Dedizierter Kanal

- Nachrichtentechnischer Kanal verbindet genau eine Quelle mit genau einer Senke
- Betriebsarten: simplex, halbduplex oder duplex

### ■ Mehrfach genutzter Kanal, Sammelkanal:

- Mehr als zwei Dienstnehmer greifen auf dasselbe Medium zu
- Beispiel: Datenbank-Zugriff durch Sachbearbeiter



# Mehrfachnutzung von Medien

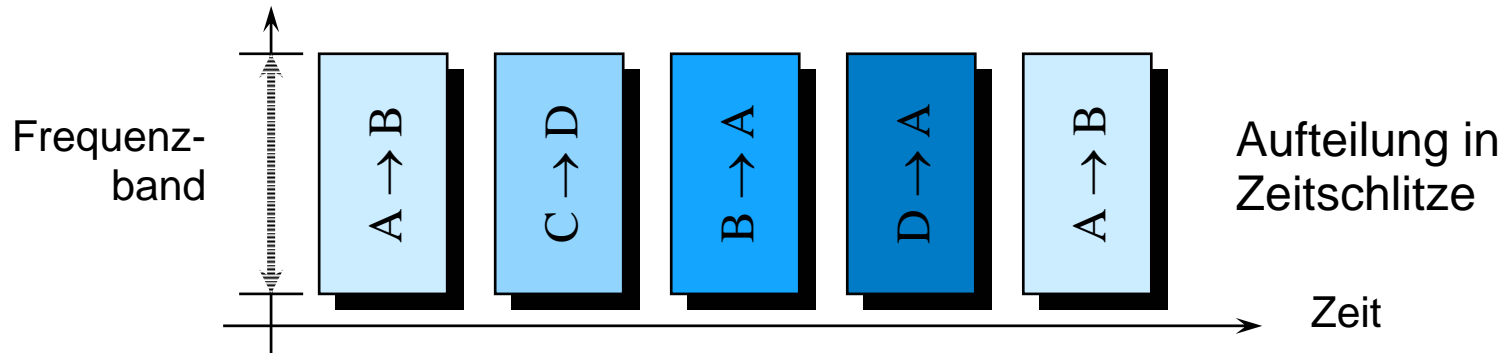
## → Multiplexen (1/2)

### Raummultiplex („Kupfermultiplex“)



Bündelung von Adern(paaren)

### Zeitmultiplex

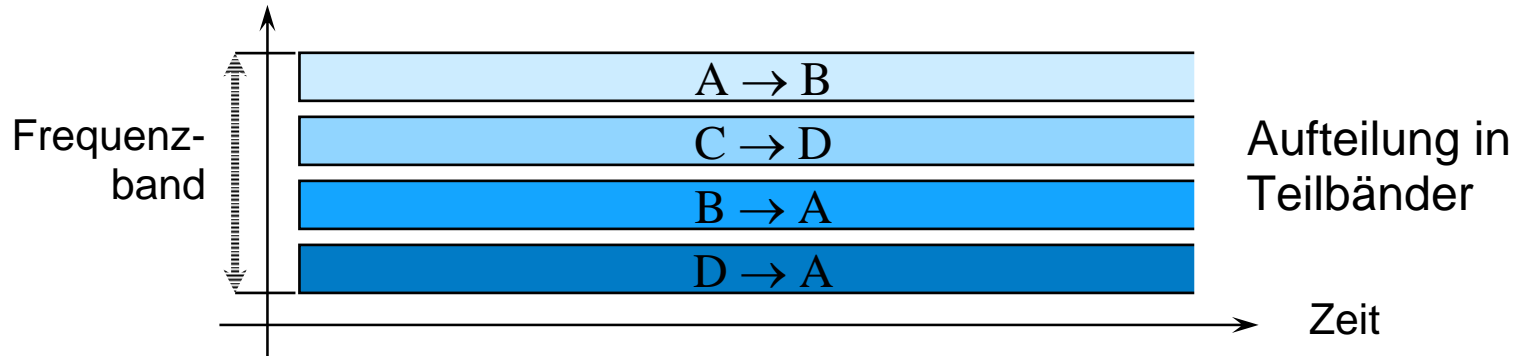




# Mehrfachnutzung von Medien

## → Multiplexen (2/2)

### Frequenzmultiplex



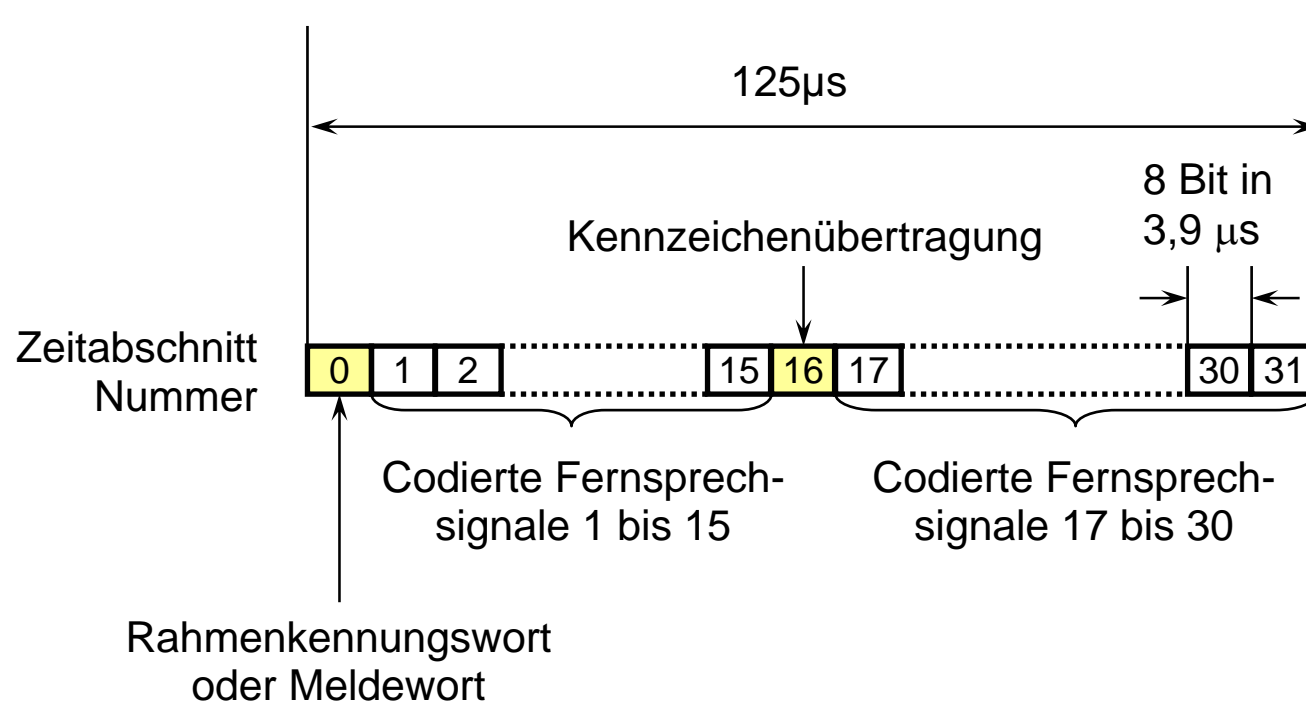
### Wellenlängenmultiplex (Sonderform Frequenzmultiplex)

- Übertragung unterschiedlicher Wellenlängen („Farben“) über eine Glasfaser
- momentan bis zu 80 verschiedene Wellenlängen möglich
- speziell geeignet für Weitverkehrsnetze
- innerhalb einer Wellenlänge Zeitmultiplexverfahren möglich – derzeit Datenraten von 80 GBit/s pro Wellenlänge erreichbar, was theoretisch 6,4 TBit/s pro Faser entspricht

# Mehrfachnutzung von Medien

## → Beispiel für starres Zeitmultiplex: PCM 30

- PCM ist auch ein starres Zeitmux-Verfahren für die Fernübertragung
- Struktur eines PCM-30-Kanalgrundsystems der Deutschen Telekom AG
  - Gesamte Rahmenlänge:  $125 \mu\text{s}$  („Pulsrahmen“)
  - Verschachtelungsgrad: 32 Kanäle, jeweils 8 Bit in  $3,9 \mu\text{s}$



# Inhalt

---

- Ziele
- Einleitung
- Nachrichtentechnische Grundlagen
  - Signale, Daten, Übertragung
- Medien und Übertragungsverfahren
  - leitungsgebunden/nicht leitungsgebunden
  - Mehrfachnutzung
- **Zusammenfassung**

# Bitübertragungsschicht

## → Zusammenfassung

---

- Die **Bitübertragungsschicht** ist verantwortlich für die transparente Übertragung von Bitsequenzen über verschiedene Medien.
- Die Festlegungen dieser Schicht berücksichtigen folgende Charakteristiken von Übertragungsmedien und Schnittstellen:
  - **mechanische Aspekte:** z.B. Pin-Gestaltung und Pin Konfiguration
  - **physikalische Aspekte:** z.B. Elektrische, elektromagnetische, akustische, optische
  - **funktionale Aspekte:** z.B. Bedeutung der Pin-Belegung
- Ebenso gehören in diese Schicht die verschiedenen Übertragungsarten (z.B. analog/digital, synchron/asynchron) sowie Modulations- und Codierungsverfahren.

# Netzwerke

→ Bitübertragungsschicht

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Fragen ?**

[norbert.pohlmann@informatik.fh-gelsenkirchen.de](mailto:norbert.pohlmann@informatik.fh-gelsenkirchen.de)

