



# Systeme II

2./3. Woche Bitübertragungsschicht

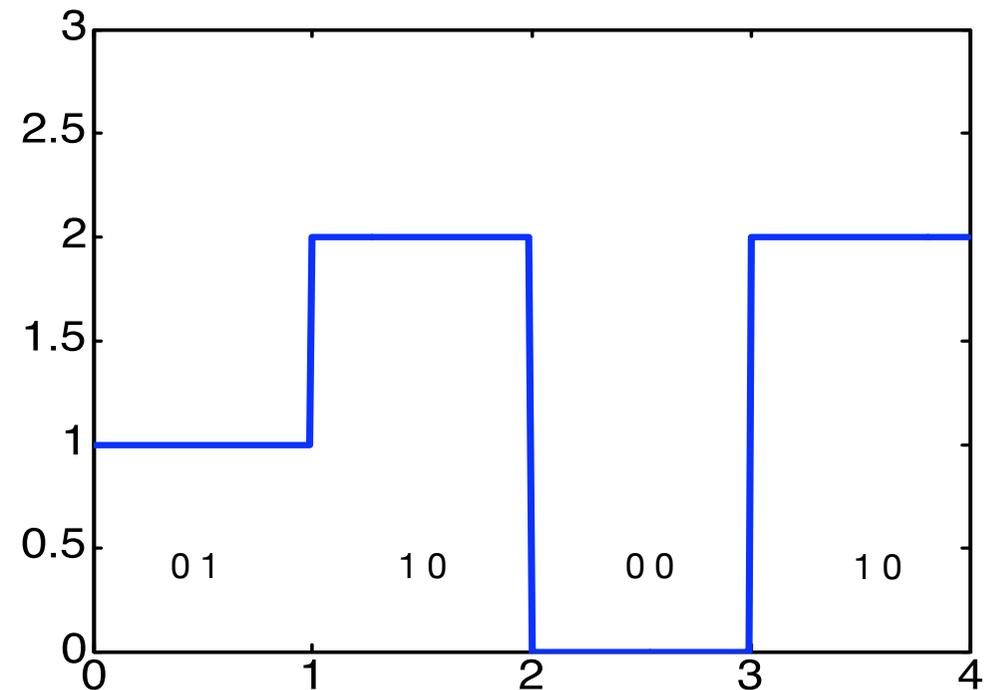
Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

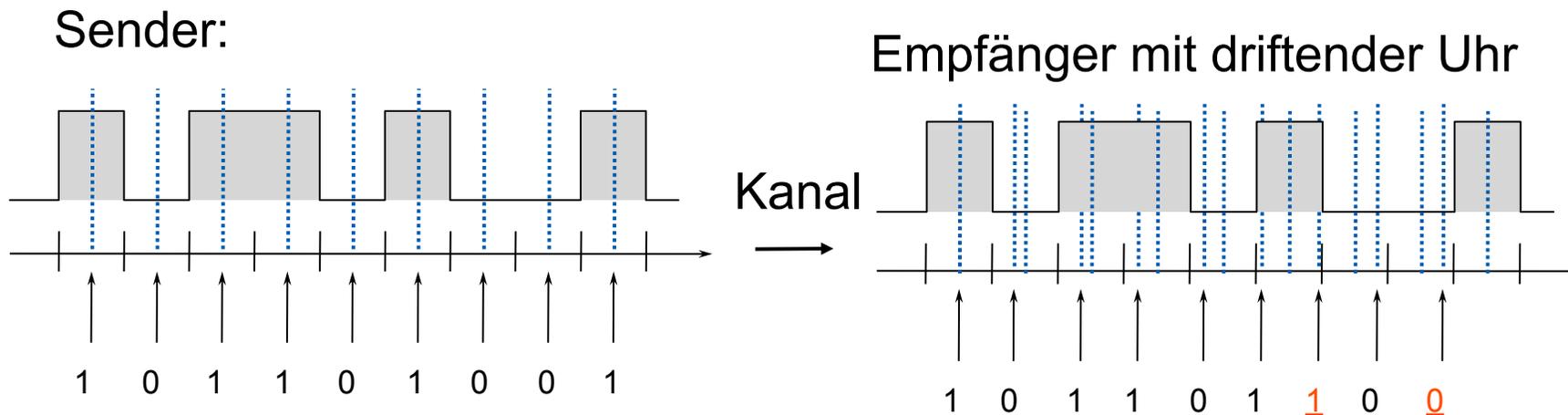
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

- Für die Datenübertragung können statt Bits auch Symbole verwendet werden
- Z.B. 4 Symbole: A,B,C,D mit
  - A=00, B=01, C=10, D=11
- Symbole
  - Gemessen in Baud
  - Anzahl der Symbole pro Sekunde
- Datenrate
  - Gemessen in Bits pro Sekunde (bit/s)
  - Anzahl der Bits pro Sekunde
- Beispiel
  - 2400 bit/s Modem hat 600 Baud (verwendet 16 Symbole)



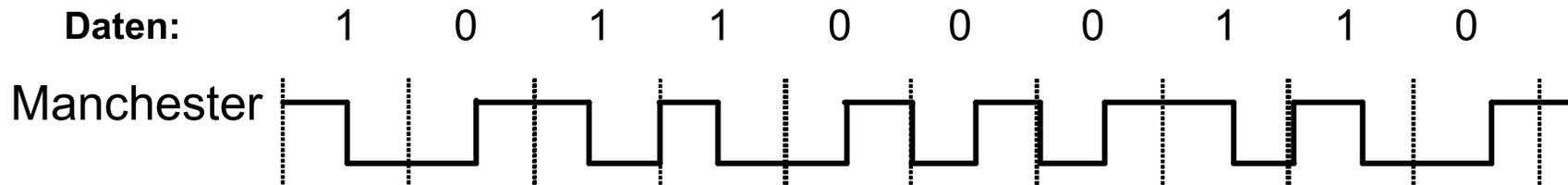
- Wann muss man die Signale messen
  - Typischerweise in der Mitte eines Symbols
  - Wann startet das Symbol?
    - Die Länge des Symbols ist üblicherweise vorher festgelegt.
- Der Empfänger muss auf der Bit-ebene mit dem Sender synchronisiert sein
  - z.B. durch *Frame Synchronization*

- Was passiert wenn man einfach Uhren benutzt
- Problem
  - Die Uhren driften auseinander
  - Keine zwei (bezahlbare Uhren) bleiben perfekt synchron
- Fehler by Synchronisationsverlust (NRZ):



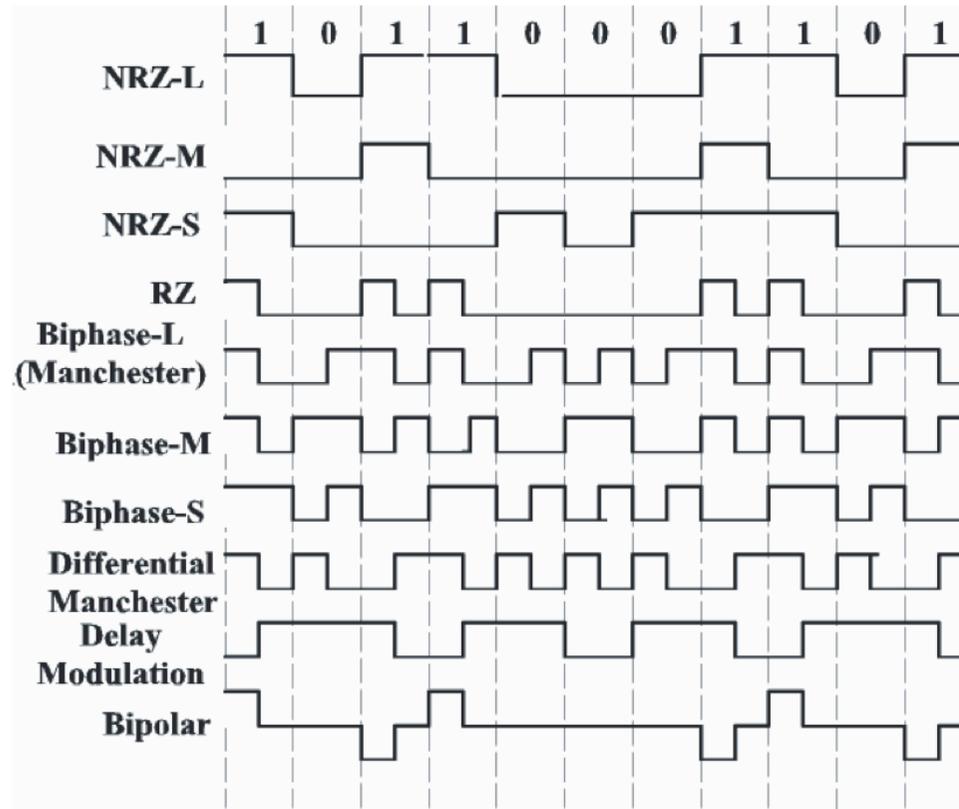
- Ohne Kontrolle keine Synchronisation
- Lösung: explizites Uhrensinal
  - Benötigt parallele Übertragung über Extra-Kanal
  - Muss mit den Daten synchronisiert sein
  - Nur für kurze Übertragungen sinnvoll
- Synchronisation an kritischen Zeitpunkten
  - z.B. Start eines Symbols oder eines Blocks
  - Sonst läuft die Uhr völlig frei
  - Vertraut der kurzzeitig funktionierenden Synchronität der Uhren
- Uhrensinal aus der Zeichenkodierung

- z.B. Manchester Code (Biphase Level)
  - 1 = Wechsel von hoch zu niedrig in der Intervallmitte
  - 0 = Umgekehrter Wechsel

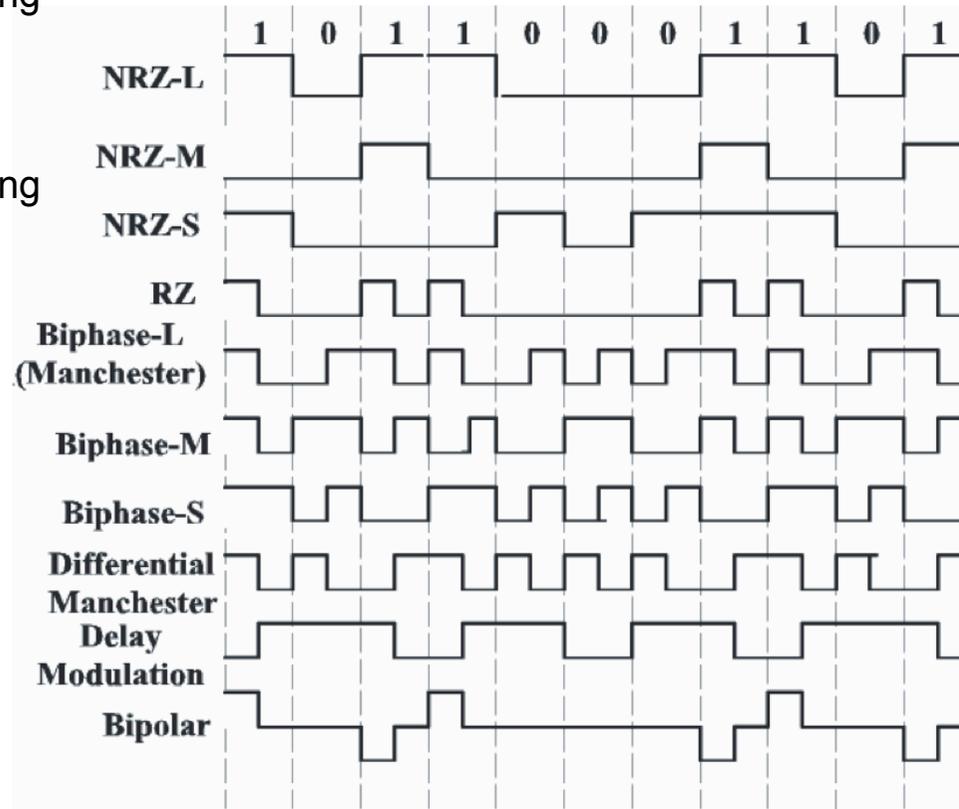


- Das Signal beinhaltet die notwendige Information zur Synchronisation

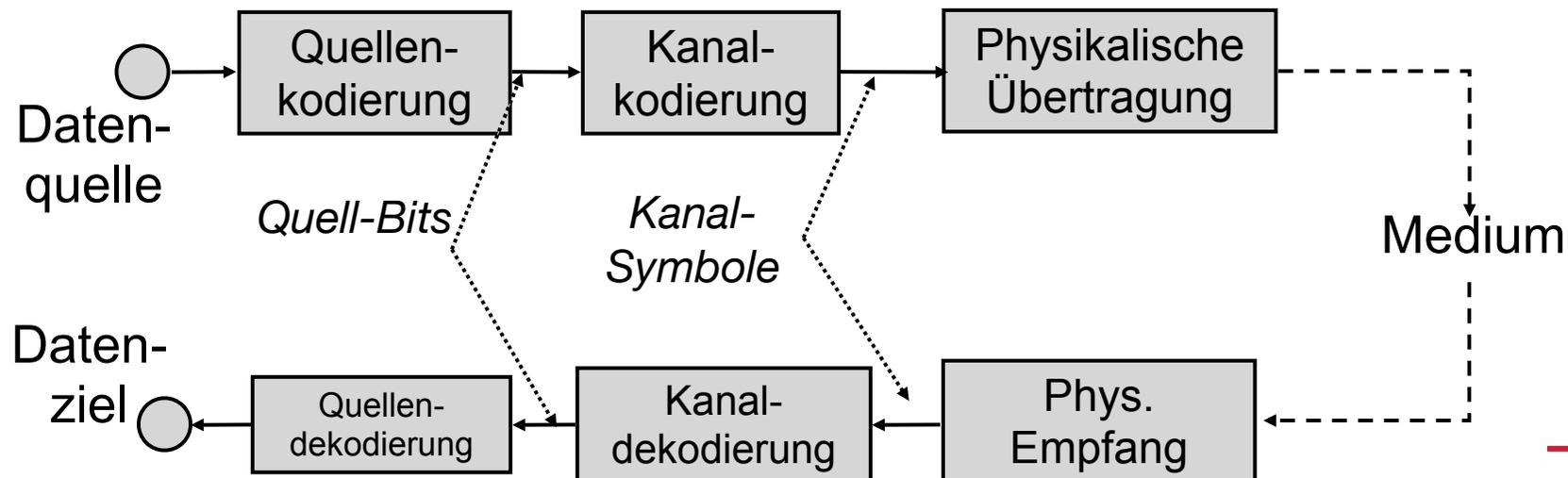
- Non-Return to Zero-Level (NRZ-L)
  - 1 = hohe Spannung, 0 = niedrig
- Non-Return to Zero-Mark (NRZ-M)
  - 1 = Wechsel am Anfang des Intervalls
  - 0 = Kein Wechsel
- Non-Return to Zero-Space (NRZ-S)
  - 0 = Wechsel am Intervallanfang
  - 1 = Kein Wechsel
- Return to Zero (RZ)
  - 1 = Rechteckpuls am Intervallanfang
  - 0 = Kein Impuls
- Manchester Code (Biphase Level)
  - 1 = Wechsel von hoch zu niedrig in der Intervallmitte
  - 0 = Umgekehrter Wechsel



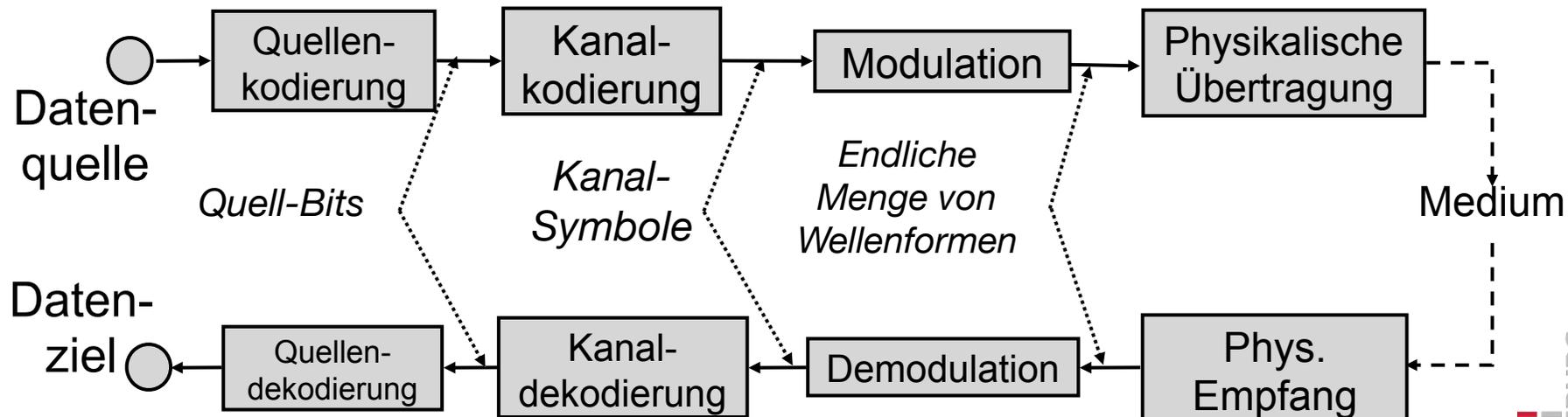
- Biphase-Mark
  - Immer: Übergang am Intervallanfang
  - 1 = zweiter Übergang in der Mitte
  - 0 = kein zweiter Übergang
- Biphase-Space
  - Immer: Übergang am Intervallanfang
  - 1/0 umgekehrt wie Biphase-Mark
- Differential Manchester-Code
  - Immer: Übergang in Intervallmitte
  - 1 = Kein Übergang am Intervallanfang
  - 0 = Zusätzlicher Übergang am Intervallanfang
- Delay Modulation (Miller)
  - Übergang am Ende, falls 0 folgt
  - 1 = Übergang in der Mitte des Intervalls
  - 0 = Kein Übergang falls 1 folgt
- Bipolar
  - 1 = Rechteckpuls in der ersten Hälfte, Richtung alterniert (wechselt)
  - 0 = Kein Rechteckpuls



- Quellkodierung
  - Entfernen redundanter oder irrelevanter Information
  - Z.B. mit verlustbehafteter Komprimierung (MP3, MPEG 4)
  - oder mit verlustloser Komprimierung (Huffman-Code)
- Kanalkodierung
  - Abbildung der Quellbits auf Kanal-Symbole
  - Möglicherweise Hinzufügen von Redundanz angepasst auf die Kanaleigenschaften
- Physikalische Übertragung
  - Umwandlung in physikalische Ereignisse

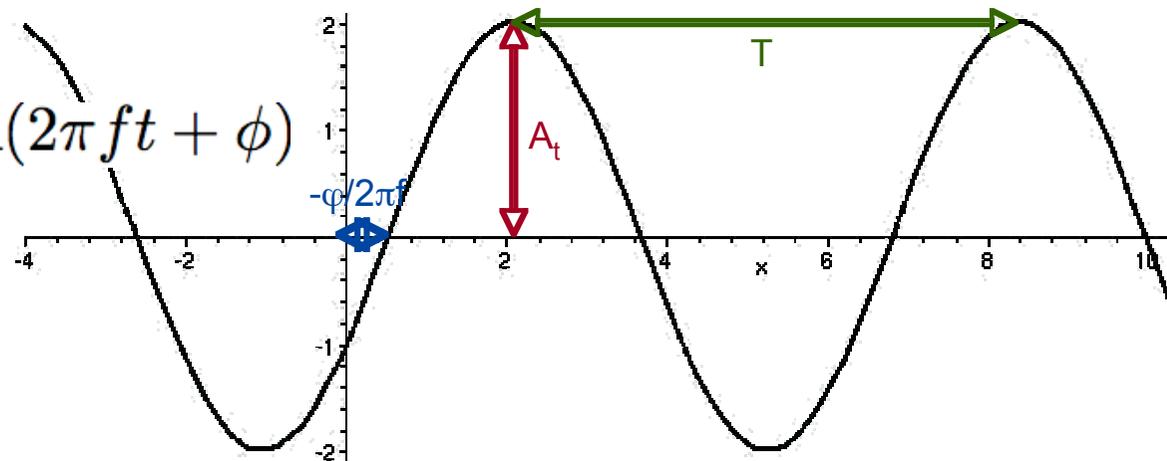


- MOfulation/DEModulation
  - Übersetzung der Kanalsymbole durch
    - Amplitudenmodulation
    - Phasenmodulation
    - Frequenzmodulation
    - oder einer Kombination davon



- Idee:
  - Konzentration auf die idealen Frequenzen des Mediums
  - Benutzung einer Sinuskurve als Trägerwelle der Signale
- Eine Sinuskurve hat keine Information
- Zur Datenübertragung muss die Sinuskurve fortdauernd verändert werden (moduliert)
  - Dadurch Spektralweitung (mehr Frequenzen in der Fourier-Analyse)
- Folgende Parameter können verändert werden:
  - Amplitude A
  - Frequenz  $f=1/T$
  - Phase  $\phi$

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

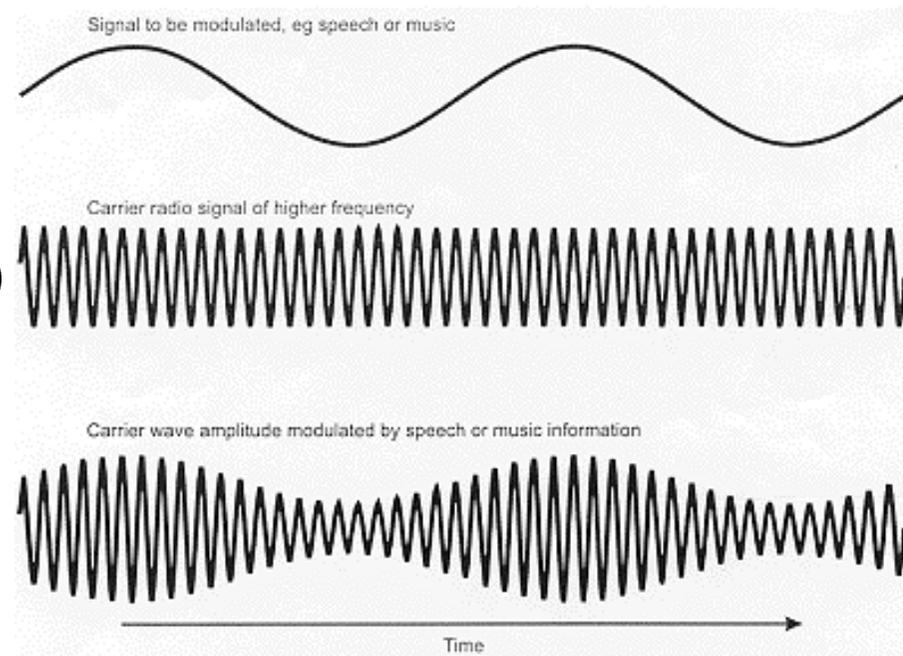


# Amplitudenmodulation

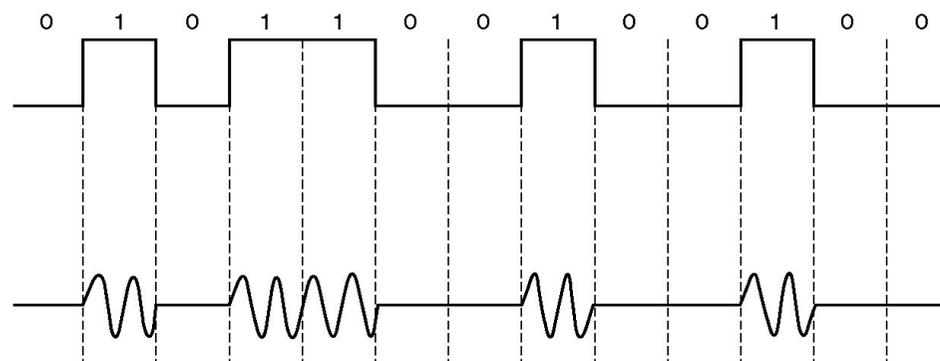
- Das zeitvariable Signal  $s(t)$  wird als Amplitude einer Sinuskurve kodiert:

$$f_A(t) = s(t) \sin(2\pi ft + \phi)$$

- Analoges Signal
  - Amplitude Modulation
  - Kontinuierliche Funktion in der Zeit
    - z.B. zweites längeres Wellensignal (Schallwellen)



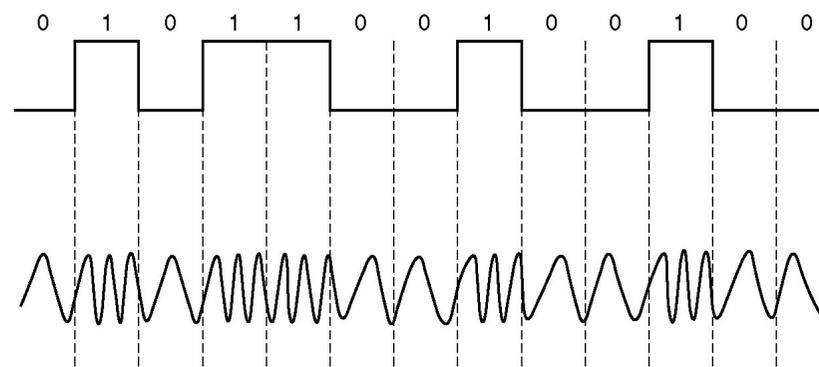
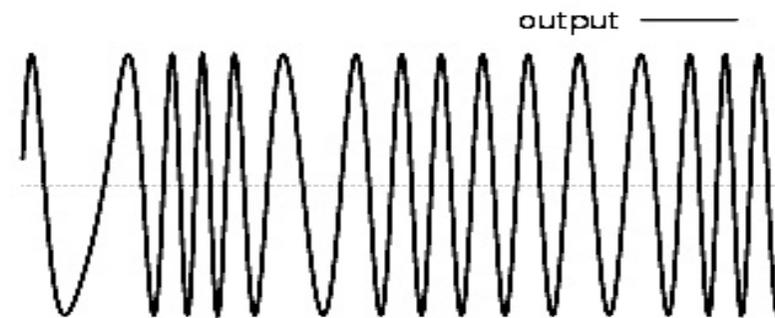
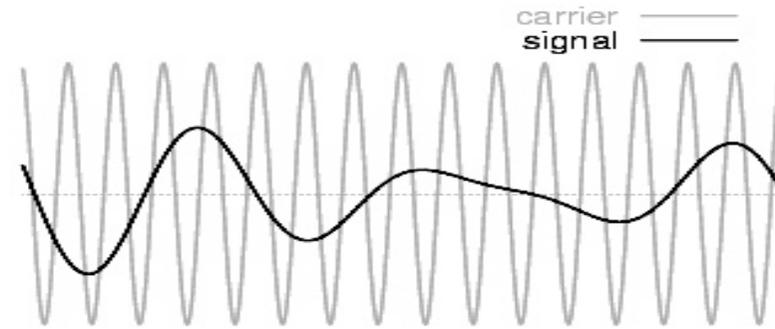
- Digitales Signal
  - Amplitude Keying
  - Z.B. durch Symbole gegeben als Symbolstärken
  - Spezialfall: Symbole 0 oder 1
    - on/off keying



- Das zeitvariable Signal  $s(t)$  wird in der Frequenz der Sinuskurve kodiert:

$$f_F(t) = a \sin(2\pi s(t)t + \phi)$$

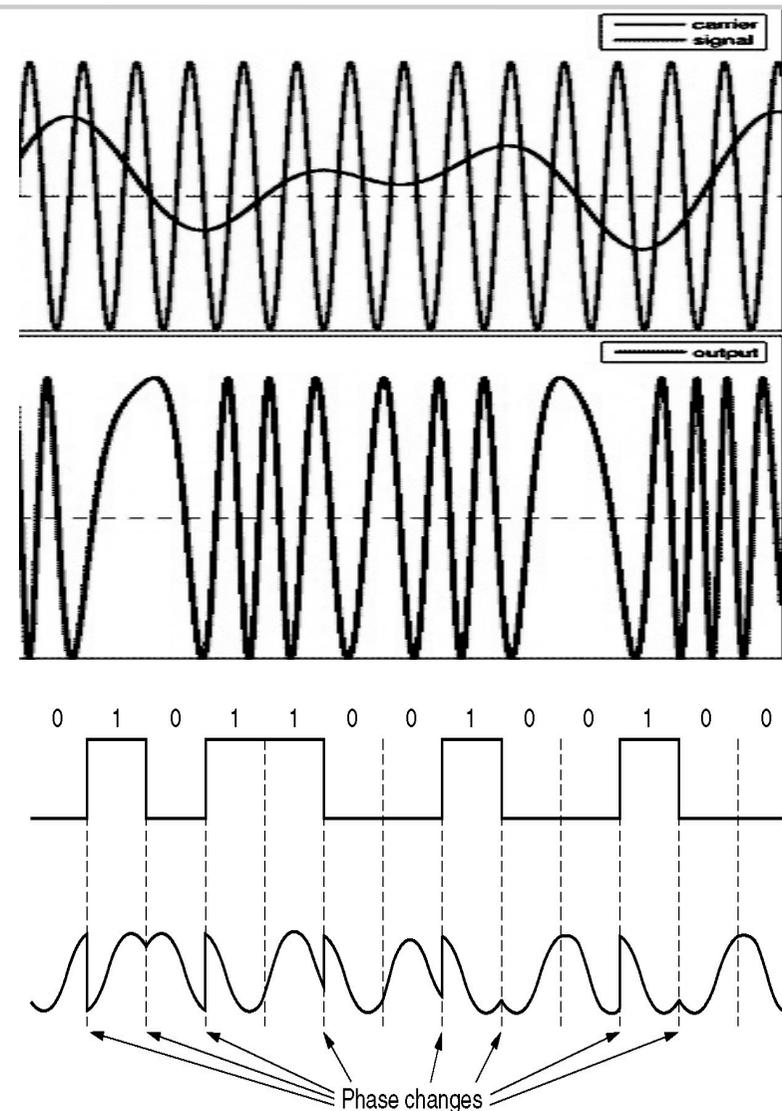
- Analoges Signal
  - Frequency Modulation (FM)
  - Kontinuierliche Funktion in der Zeit
- Digitales Signal
  - Frequency Shift Keying (FSK)
  - Z.B. durch Symbole gegeben als Frequenzen



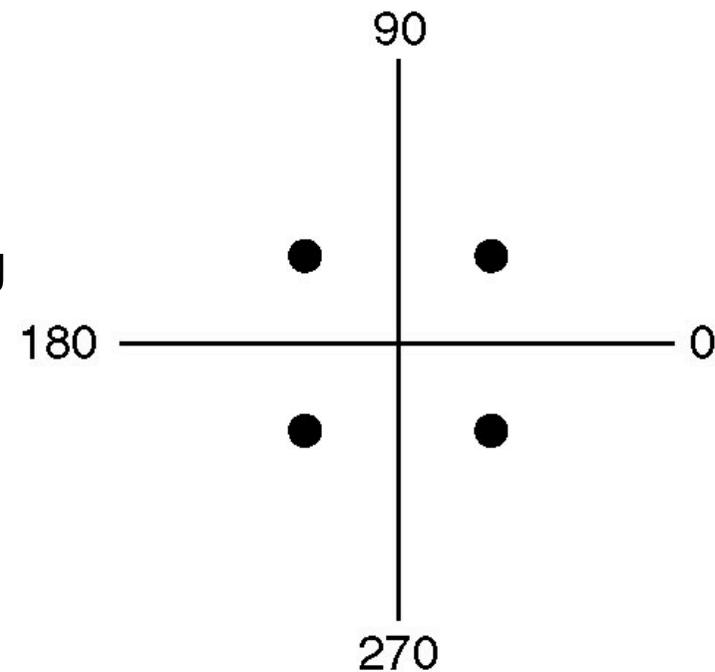
- Das zeitvariable Signal  $s(t)$  wird in der Phase der Sinuskurve kodiert:

$$f_P(t) = a \sin(2\pi ft + s(t))$$

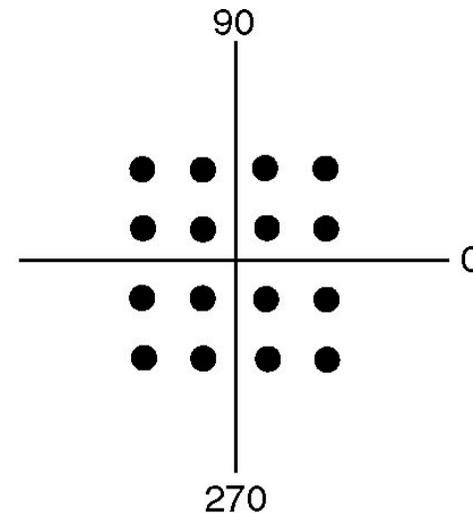
- Analoges Signal
  - Phase Modulation (PM)
  - Sehr ungünstige Eigenschaften
  - Wird nicht eingesetzt
- Digitales Signal
  - Phase-Shift Keying (PSK)
  - Z.B. durch Symbole gegeben als Phasen



- Phasenverschiebungen können vom Empfänger sehr gut erkannt werden
- Kodierung verschiedener Symbole sehr einfach
  - Man verwendet Phasenverschiebung z.B.  $\pi/4$ ,  $3/4\pi$ ,  $5/4\pi$ ,  $7/4\pi$ 
    - selten: Phasenverschiebung 0 (wegen Synchronisation)
  - Bei vier Symbolen ist die Datenrate doppelt so groß wie die Symbolrate
- Diese Methode heißt Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

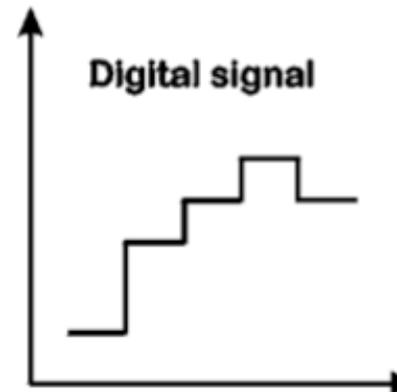
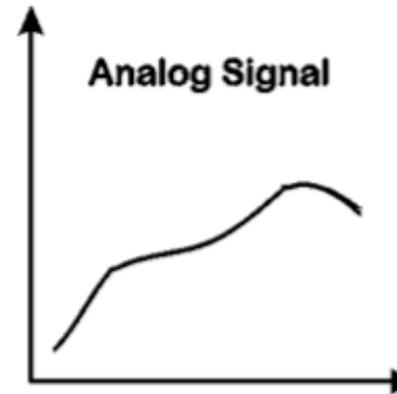


- Amplituden- und Phasenmodulation können erfolgreich kombiniert werden
- Beispiel: 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
  - Man verwendet 16 verschiedene Kombinationen von Phasen und Amplituden für jedes Symbol
  - Jedes Symbol kodiert vier Bits ( $2^4 = 16$ )
  - Die Datenrate ist also viermal so groß wie die Symbolrate

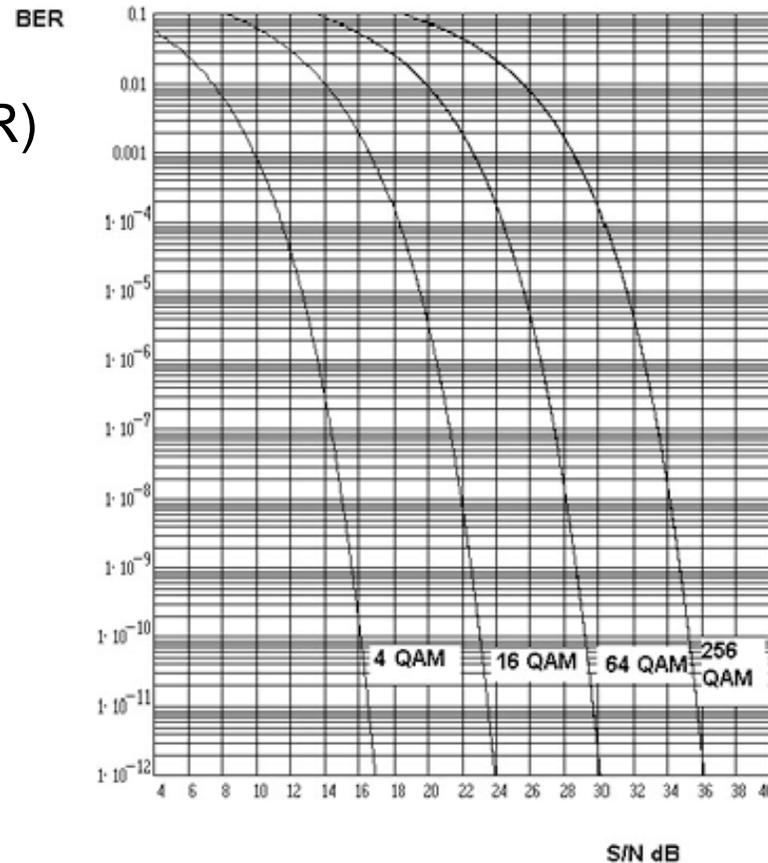


# Digitale und analoge Signale im Vergleich

- Für einen Sender gibt es zwei Optionen
  - Digitale Übertragung
    - Endliche Menge von diskreten Signalen
    - Z.B. endliche Menge von Spannungsgrößen/Stromstärken
  - Analoge Übertragung
    - Unendliche (kontinuierliche) Menge von Signalen
    - Z.B. Signal entspricht Strom oder Spannung im Draht
- Vorteil der digitalen Signale:
  - Es gibt die Möglichkeit Empfangsungenauigkeiten zu reparieren und das ursprüngliche Signal zu rekonstruieren
  - Auftretende Fehler in der analogen Übertragung können sich weiter verstärken



- Je höher das Signal-Rausch-Verhältnis, desto geringer ist der auftretende Fehler
- Bitfehlerhäufigkeit (bit error rate - BER)
  - Bezeichnet den Anteil fehlerhaft empfangener Bits
- Abhängig von
  - Signalstärke,
  - Rauschen,
  - Übertragungsgeschwindigkeit
  - Verwendetem Verfahren
- Abhängigkeit der Bitfehlerhäufigkeit (BER) vom Signal-Rausch-Verhältnis
  - Beispiel: 4 QAM, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM



- Leitungsgebundene Übertragungsmedien
  - Kupferdraht – Twisted Pair
  - Kupferdraht – Koaxialkabel
  - Glasfaser
- Drahtlose Übertragung
  - Funkübertragung
  - Mikrowellenübertragung
  - Infrarot
  - Lichtwellen

# Twisted Pair

---



(a)

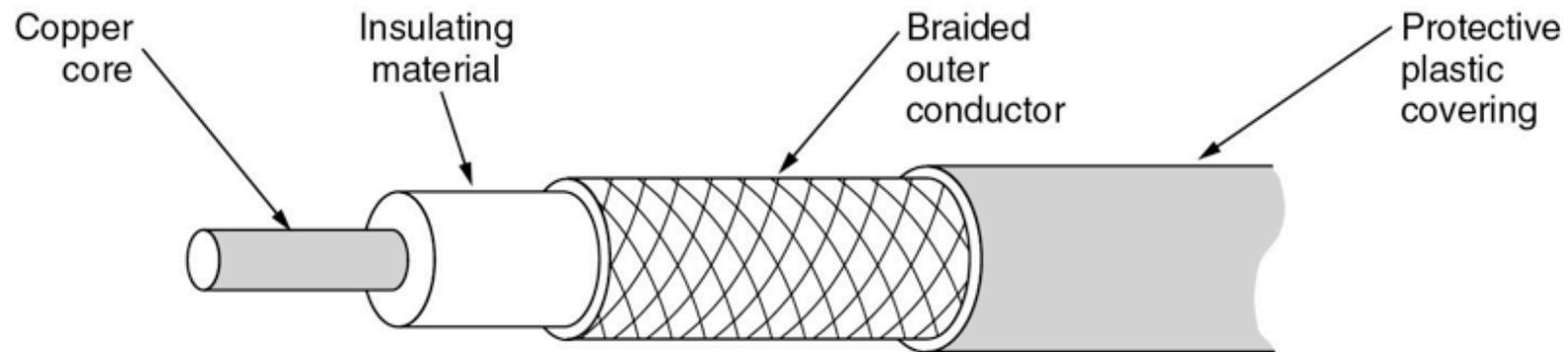


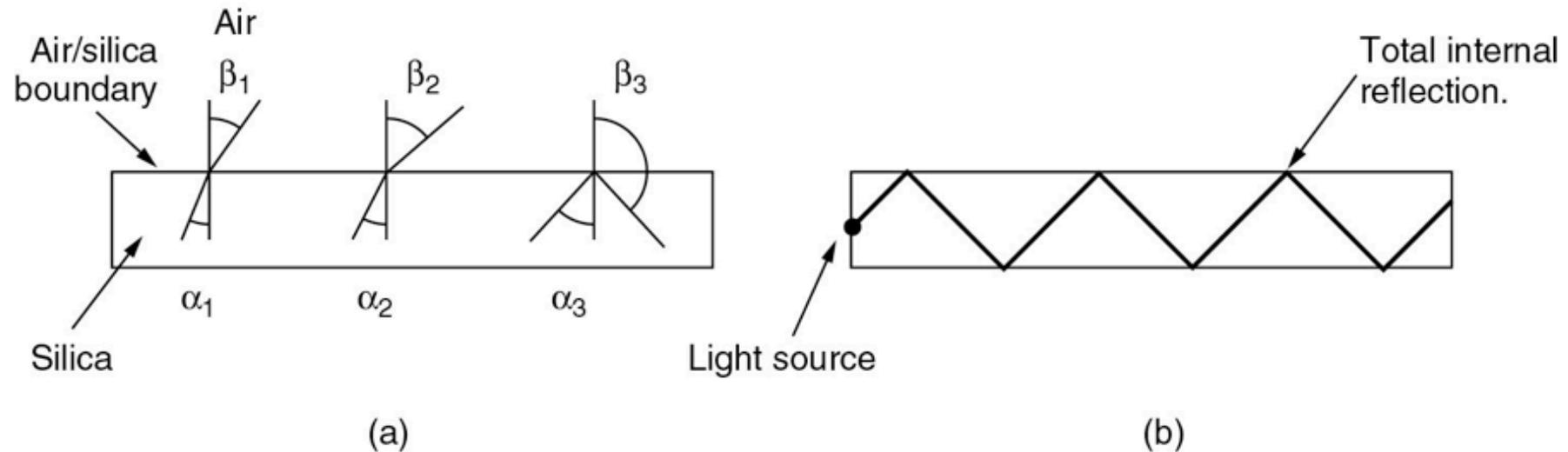
(b)

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

# Koaxialkabel



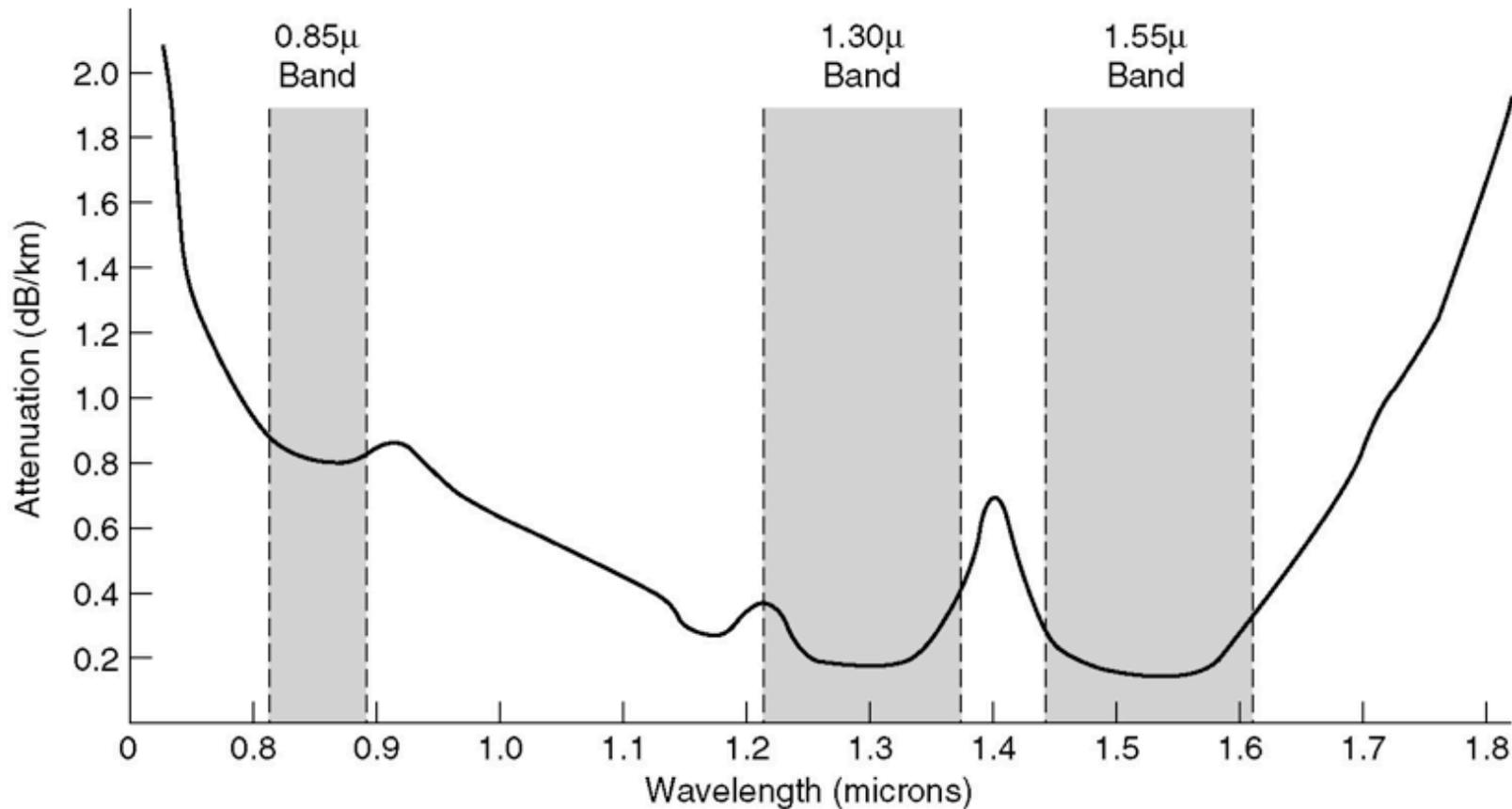


**Gesetz von Snellius:**

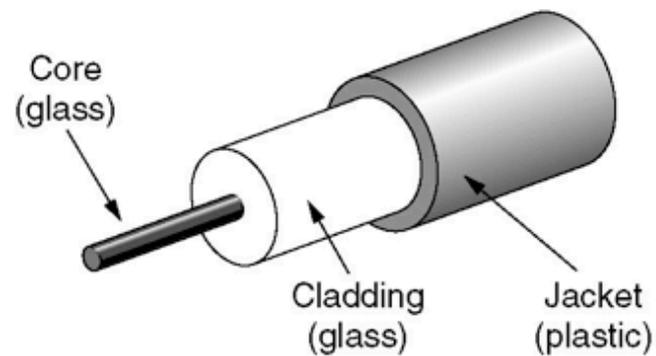
$$\frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = \frac{c_{\text{Glas}}}{c_{\text{Luft}}}$$

- (a) Beugung und Reflektion an der Luft/Silizium-Grenze bei unterschiedlichen Winkeln
- (b) Licht gefangen durch die Reflektion

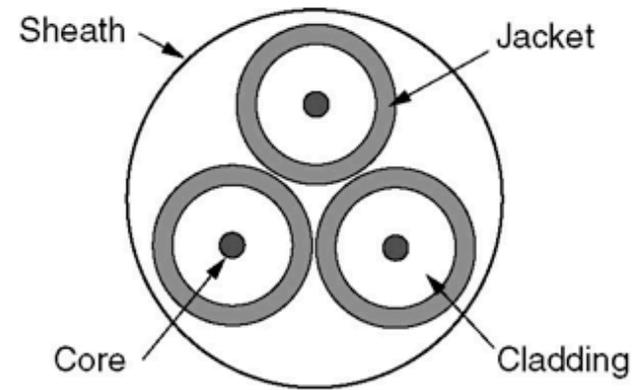
- Dämpfung von Infrarotlicht in Glasfaser



- (a) Seitenansicht einer einfachen Faser
- (b) Schnittansicht eines Dreier-Glasfaserbündels

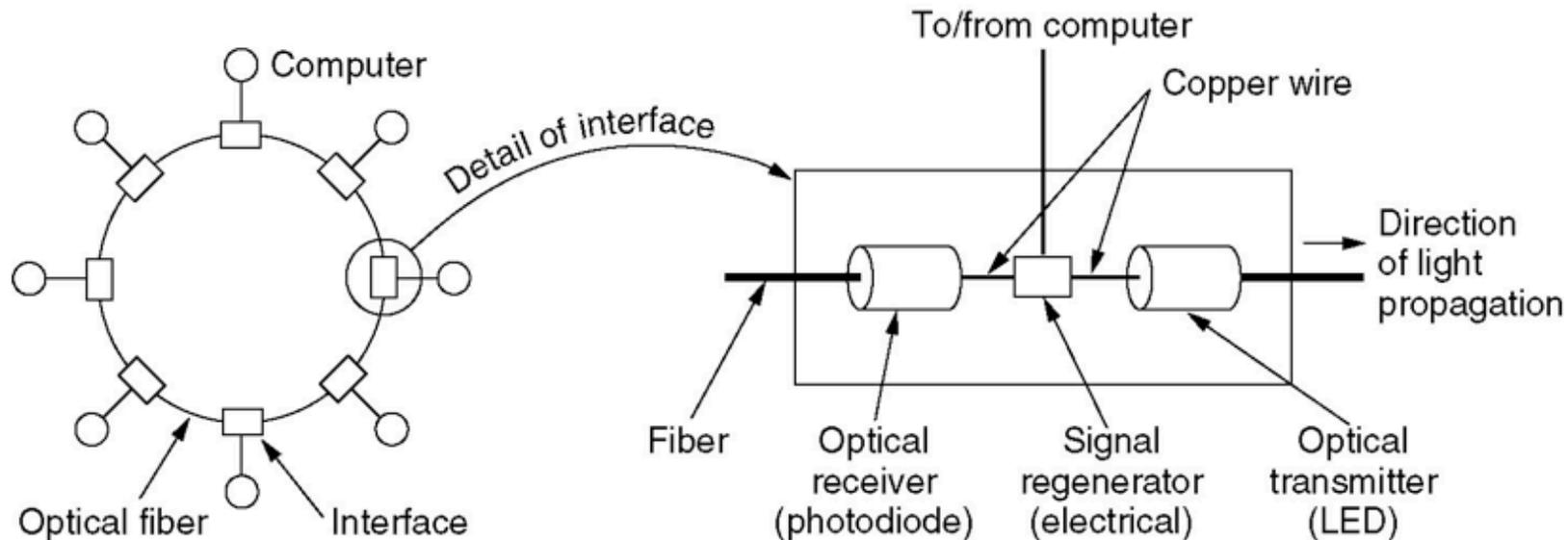


(a)

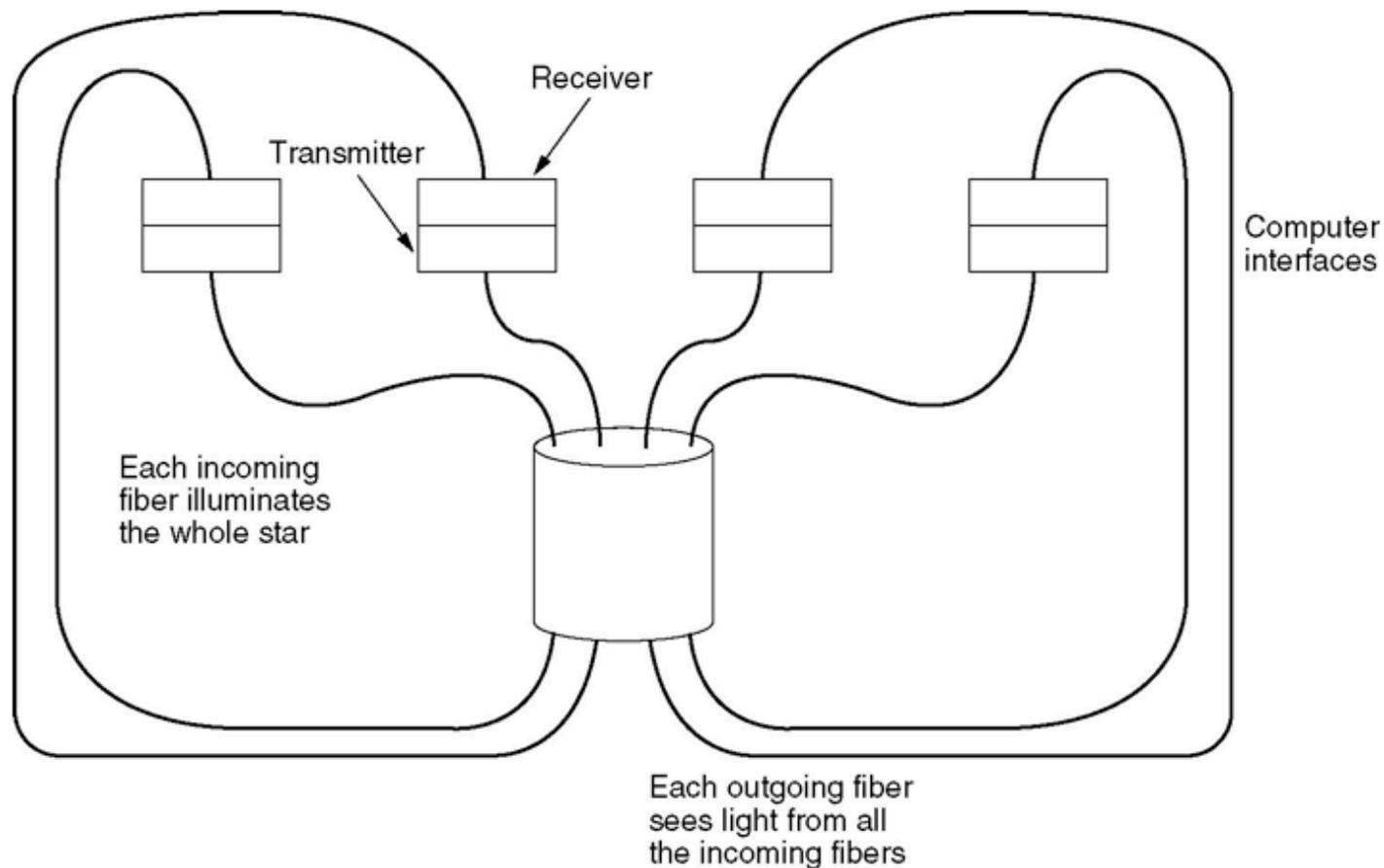


(b)

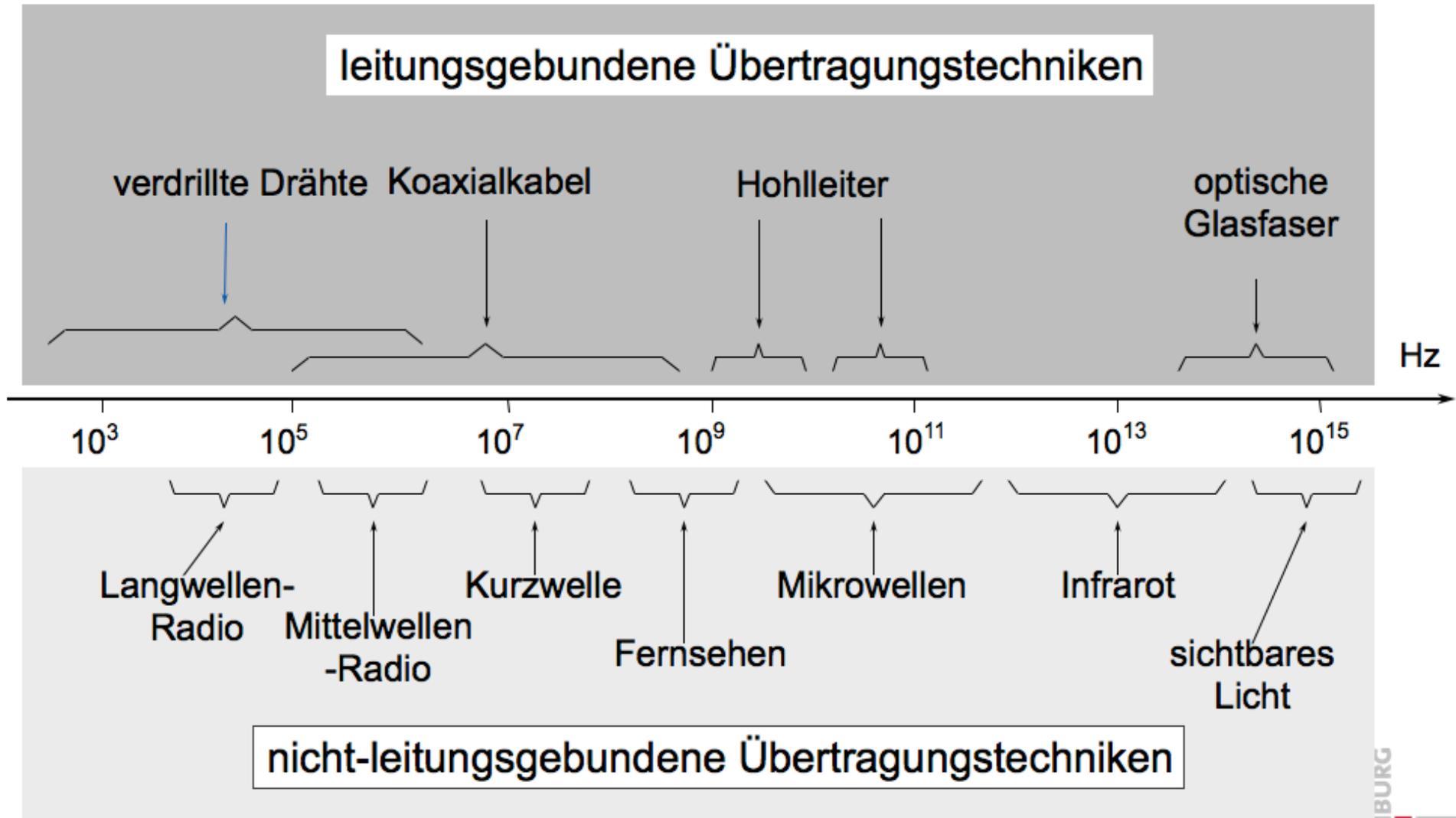
## Glasfaserring mit aktiven Repeatern



## Eine passive Sternverbindung in einem Glasfasernetz

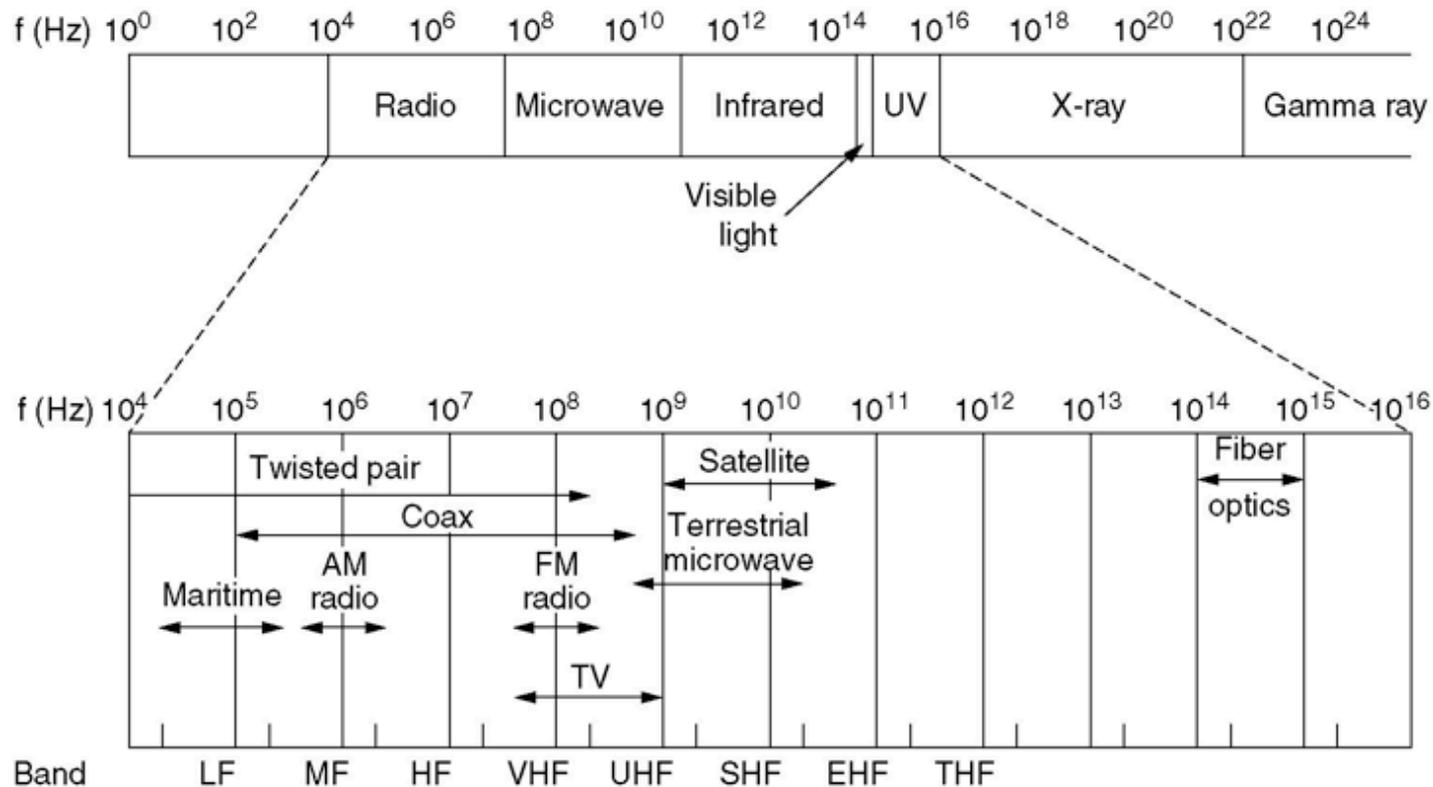


# Das elektromagnetische Spektrum



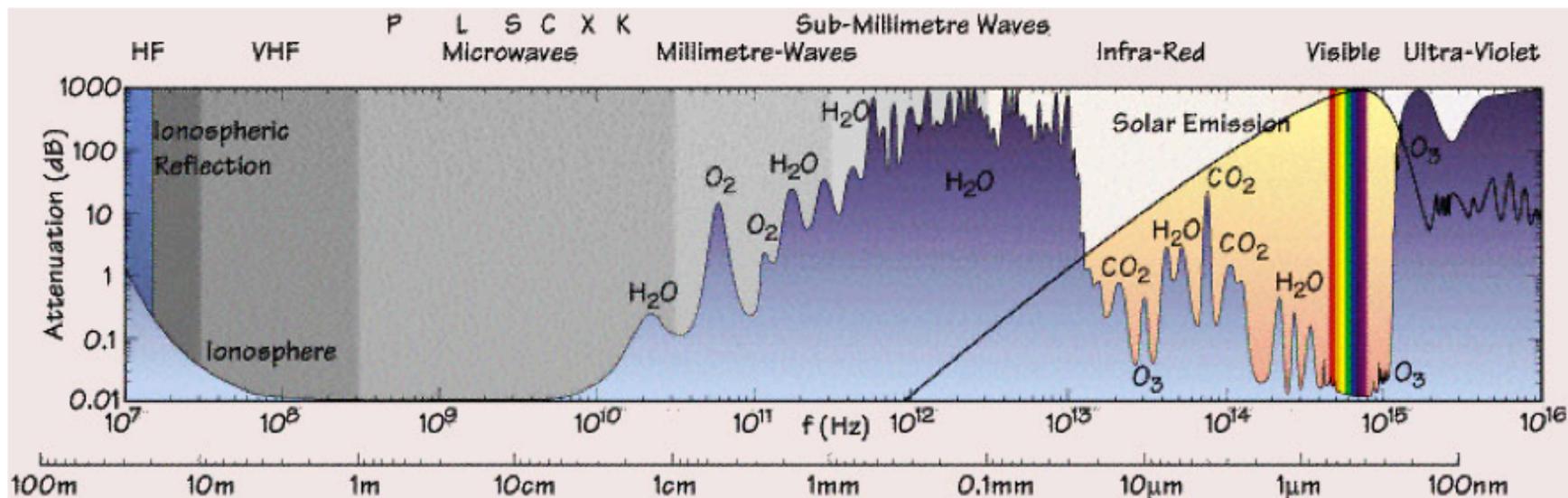
# Frequenzbereiche

- LF Low Frequency =
  - LW Langwelle
- MF Medium Frequency =
  - MW Mittelwelle
- HF High Frequency =
  - KW Kurzwelle
- VHF Very High Frequency =
  - UKW Ultrakurzwelle
- UHF Ultra High Frequency
- SHF Super High Frequency
- EHF Extra High Frequency
- UV Ultraviolettes Licht
- X-ray Röntgenstrahlung



# Dämpfung in verschiedenen Frequenzbereichen

- Frequenzabhängige Dämpfung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre

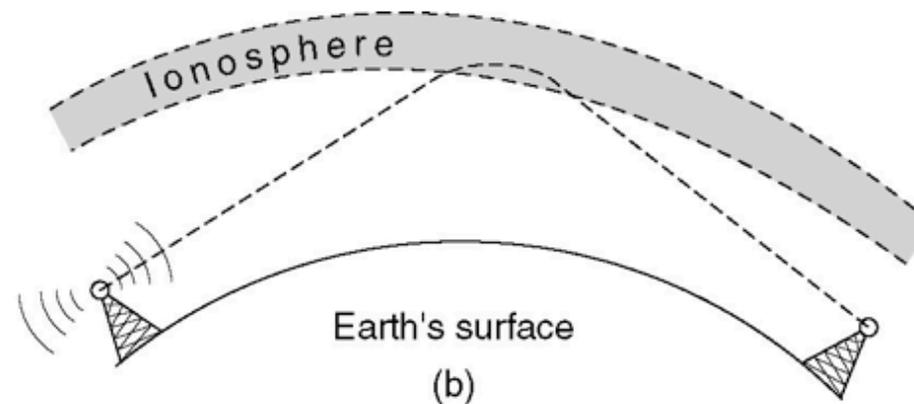
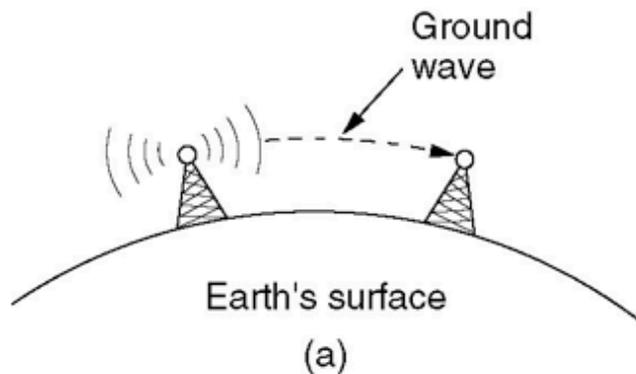


[http://www.geographie.uni-muenchen.de/iggf/Multimedia/Klimatologie/physik\\_arbeit.htm](http://www.geographie.uni-muenchen.de/iggf/Multimedia/Klimatologie/physik_arbeit.htm)

- VHF/UHF für Mobilfunk
  - Antennenlänge
- SHF für Richtfunkstrecken, Satellitenkommunikation
- Drahtloses (Wireless) LAN: UHF bis SHF
  - Geplant: EHF
- Sichtbares Licht
  - Kommunikation durch Laser
- Infrarot
  - Fernsteuerungen
  - Lokales LAN in geschlossenen Räumen

- Geradlinige Ausbreitung im Vakuum
- Empfangsleistung nimmt mit  $1/d^2$  ab
  - Theoretisch, praktisch mit höheren Exponenten bis zu 4 oder 5
- Einschränkung durch
  - Dämpfung in der Luft (insbesondere HV, VHF)
  - Abschattung
  - Reflektion
  - Streuung an kleinen Hindernissen
  - Beugung an scharfen Kanten

- VLF, LF, MF-Wellen
  - folgen der Erdkrümmung (bis zu 1000 km in VLF)
  - Durchdringen Gebäude
- HF, VHF-Wellen
  - Werden am Boden absorbiert
  - Werden von der Ionosphäre in 100-500 km Höhe reflektiert
- Ab 100 MHz
  - Wellenausbreitung geradlinig
  - Kaum Gebäudedurchdringung
  - Gute Fokussierung
- Ab 8 GHz Absorption durch Regen

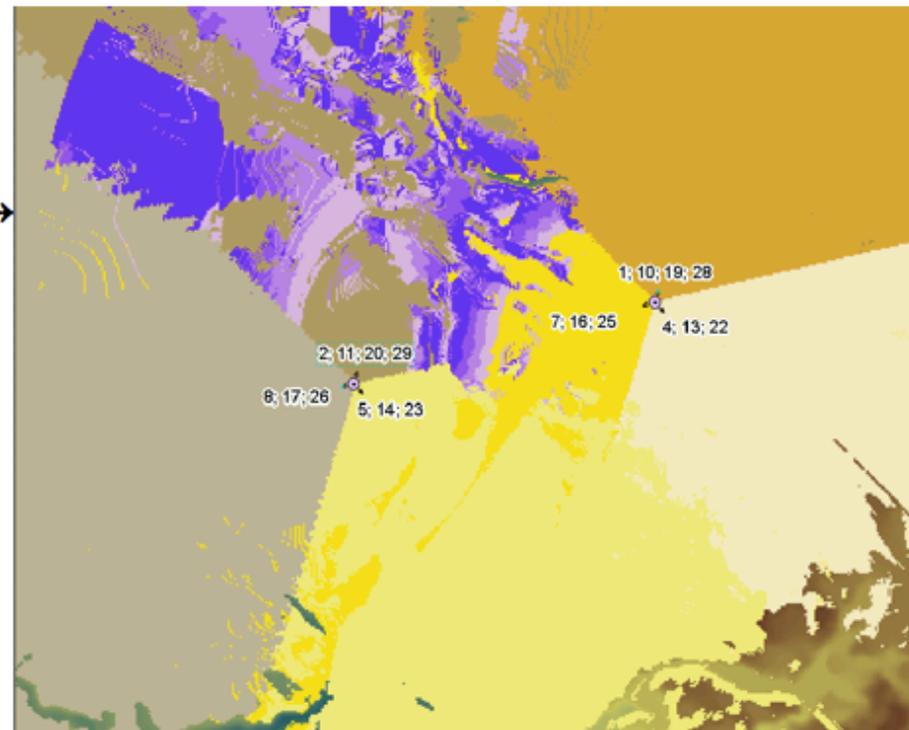


- Mehrwegeausbreitung (Multiple Path Fading)
  - Signal kommt aufgrund von Reflektion, Streuung und Beugung auf mehreren Wegen beim Empfänger an
  - Zeitliche Streuung führt zu Interferenzen
    - Fehlerhafter Dekodierung
    - Abschwächung
- Probleme durch Mobilität
  - Kurzzeitige Einbrüche (schnelles Fading)
    - Andere Übertragungswege
    - Unterschiedliche Phasenlage
  - Langsame Veränderung der Empfangsleistung (langsames Fading)
    - Durch Verkürzen, Verlängern der Entfernung Sender-Empfänger

- **Raummultiplexverfahren**
  - Parallele und exklusive Nutzung von Übertragungskanäle
    - z.B. Extraleitungen/Zellen/Richtantenne
- **Frequenzmultiplexverfahren**
  - Mehrere zu übertragende Signale in einem Frequenzbereich gebündelt;
  - Bei Funkübertragung werden unterschiedlichen Sendern unterschiedliche Frequenzen zugewiesen.
- **Zeitmultiplexverfahren**
  - Zeitversetztes Senden mehrerer Signale
- **Wellenlängenmultiplexverfahren**
  - Optisches Frequenzmultiplexverfahren für die Übertragung in Glasfaserkabel
- **Codemultiplexverfahren**
  - Nur in Funktechnik: Kodierung des Signals in orthogonale Codes, die nun gleichzeitig auf einer Frequenz gesendet werden können
  - Dekodierung auch bei Überlagerung möglich

## ■ Raumaufteilung (Space-Multiplexing)

- Ausnutzung des Abstandsverlusts zum parallelen Betriebs verschiedener Funkzellen → zellulare Netze
- Verwendung gerichteter Antennen zur gerichteten Kommunikation
  - GSM-Antennen mit Richtcharakteristik
  - Richtfunk mit Parabolantenne
  - Laserkommunikation
  - Infrarotkommunikation



- Zeitaufteilung (Time-Multiplexing)
  - Zeitliche Aufteilung des Sende-/Empfangskanals
  - Verschiedene Teilnehmer erhalten exklusive Zeiträume (Slots) auf dem Medium
  - Genaue Synchronisation notwendig
  - Koordination notwendig, oder starre Einteilung

- Zeitaufteilung (Time-Multiplexing)
  - Zeitliche Aufteilung des Sende-/Empfangskanals
  - Verschiedene Teilnehmer erhalten exklusive Zeiträume (Slots) auf dem Medium
  - Genaue Synchronisation notwendig
  - Koordination notwendig, oder starre Einteilung

- CDMA (Code Division Multiple Access)
  - z.B. GSM (Global System for Mobile Communication)
  - oder UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
- Beispiel:
  - Sender A:
    - 0 ist (-1,-1)
    - 1 ist (+1,+1)
  - Sender B:
    - 0 ist (-1,+1)
    - 1 ist (+1,-1)
  - A sendet 0, B sendet 0:
    - Ergebnis: (-2,0)
  - C empfängt (-2,0):
    - Dekodierung bzgl. A:  $(-2,0) \cdot (-1,-1) = (-2)(-1) + 0(-1) = 2$
    - A hat also 0 gesendet (da Ergebnis positiv)

- Analog
  - typisch 3-4 kBit/s
  - maximal bis 56 kBit/s
- ISDN (Integrated Services Digital Network)
  - 128 kBit/s (Nutzdaten)
    - Hin/Rückrichtung jeweils 64 kBit/s
  - Pulse-Code Modulation (Amplitudenmodulation)
- DSL
  - maximal
    - bis 25 Mbit/s Downstream
    - bis 3,5 Mbit/s Upstream
  - typisch (DSL 6000)
    - 6 Mbit/s Downstream
    - 0,5 Mbit/s Upstream

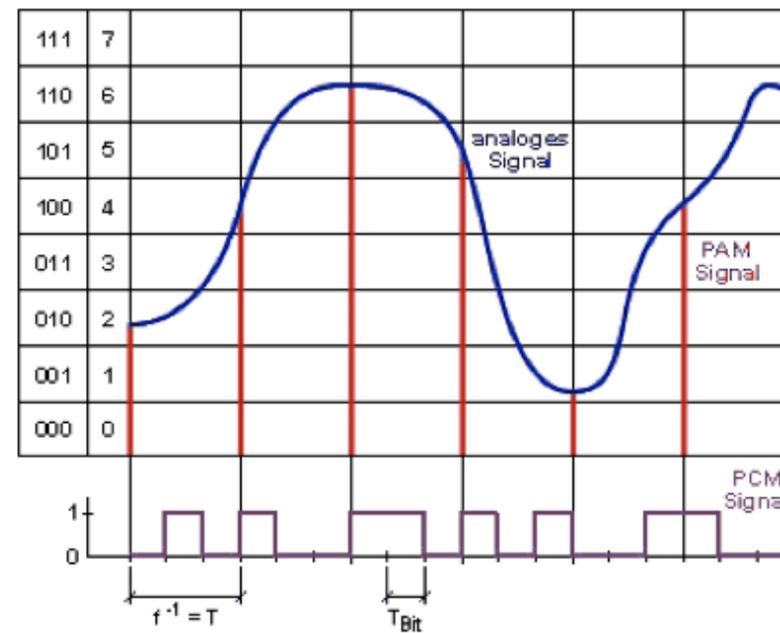
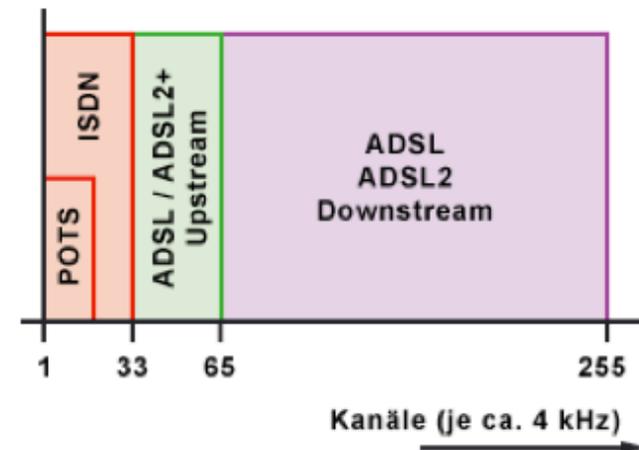
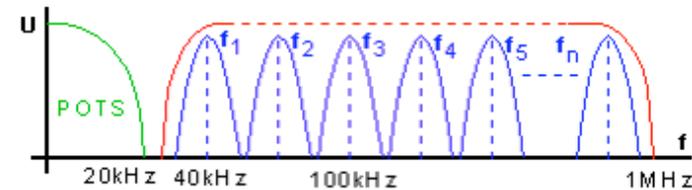
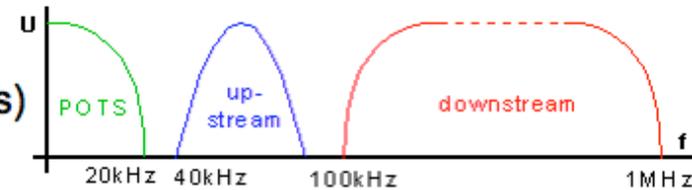


Abb. aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Puls-Code-Modulation>

- Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)
  - momentan der Standard zur Anbindung von Endverbrauchern zu ISP (Internet Service Providers)
  - verwendet herkömmliche Kupferkabel
- Übertragungsverfahren:
  - Carrier-less Amplitude/Phase Modulation CAP (wie QAM)
    - Eine Modulation für Upstream/Downstream
  - Discrete Multitone Modulation (DMT)
    - 256 Kanäle mit je 4 kHz Bandbreite
- DMT: 3 Kanalstränge:
  - POTS/ISDN (public switched telephone network/ Integrated Services Digital Network)
    - bleibt im Frequenzbereich 1-20 kHz von ADSL unberührt
  - Upstream
    - 32 Trägerkanäle für Verbindung zum ISP
  - Downstream
    - 190 Trägerkanäle für Verbindung vom ISP





# Systeme II

2./3. Woche: Bitübertragungsschicht

Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg