

Systeme II



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Christian Schindelhauer
Sommersemester 2007
3. Vorlesungswoche
30.04.-04.05.2007
schindel@informatik.uni-freiburg.de



Basisband und Breitband

➤ Basisband (baseband)

- Das digitale Signal wird direkt in Strom- oder Spannungsveränderungen umgesetzt
- Das Signal wird mit allen Frequenzen übertragen
 - z.B. Durch NRZ (Spannung hoch = 1, Spannung niedrig = 0)
- Problem: Übertragungseinschränkungen

➤ Breitband (broadband)

- Die Daten werden durch einen weiten Frequenzbereich übertragen
- Weiter Bereich an Möglichkeiten:
 - Die Daten können auf eine Trägerwelle aufgesetzt werden (Amplitudenmodulation)
 - Die Trägerwelle kann verändert (moduliert) werden (Frequenz/Phasenmodulation)
 - Verschiedene Trägerwellen können gleichzeitig verwendet werden



Struktur einer digitalen Basisband-Übertragung

➤ Quellkodierung

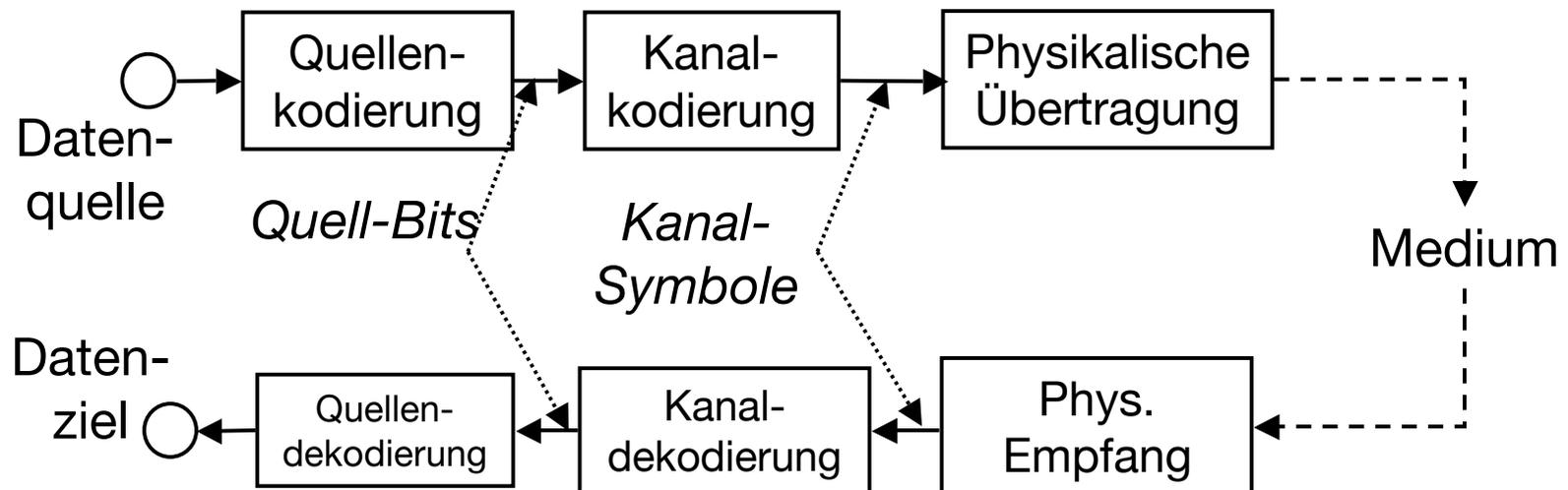
- Entfernen redundanter oder irrelevanter Information
- Z.B. mit verlustbehafteter Komprimierung (MP3, MPEG 4)
- oder mit verlustloser Komprimierung (Huffman-Code)

➤ Kanalkodierung

- Abbildung der Quellbits auf Kanal-Symbole
- Möglicherweise Hinzufügen von Redundanz angepasst auf die Kanaleigenschaften

➤ Physikalische Übertragung

- Umwandlung in physikalische Ereignisse



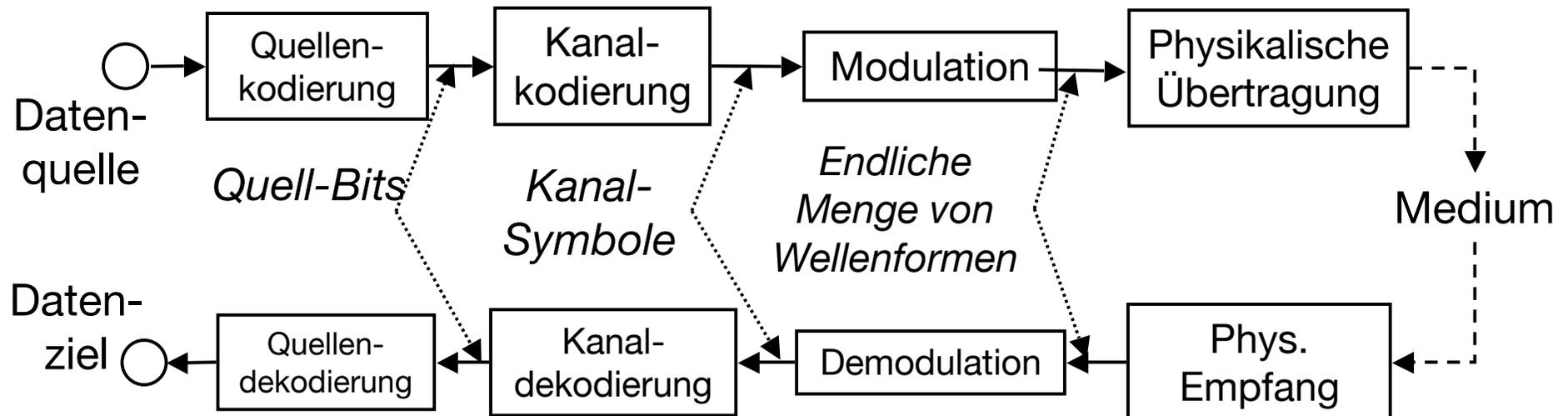


Struktur einer digitalen Breitband-Übertragung

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

➤ Modulation/DEModulation

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

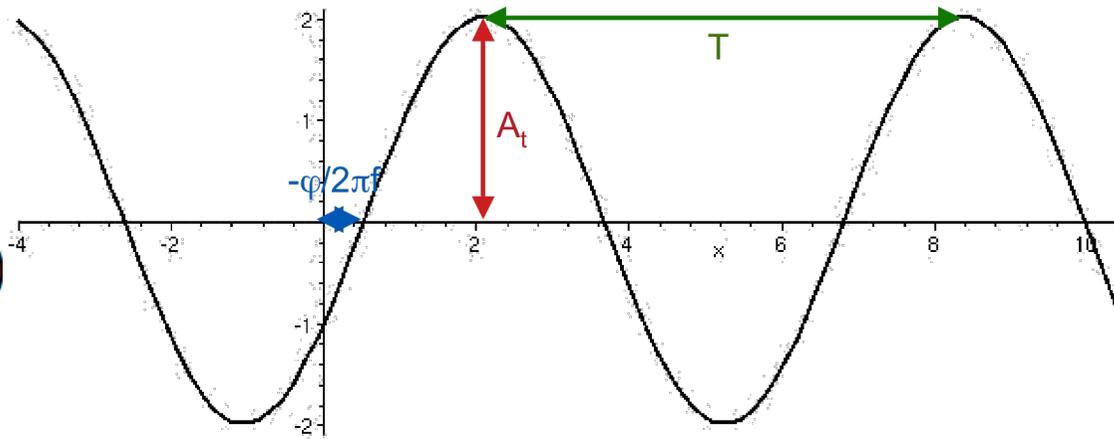




Breitband

- **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 ϕ

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





Amplitudenmodulation

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

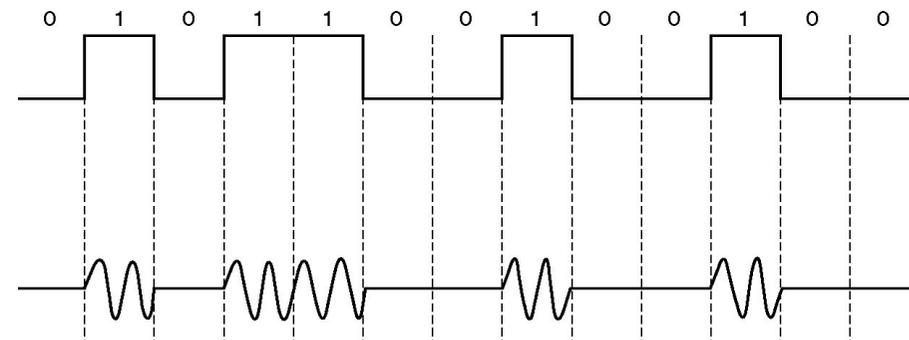
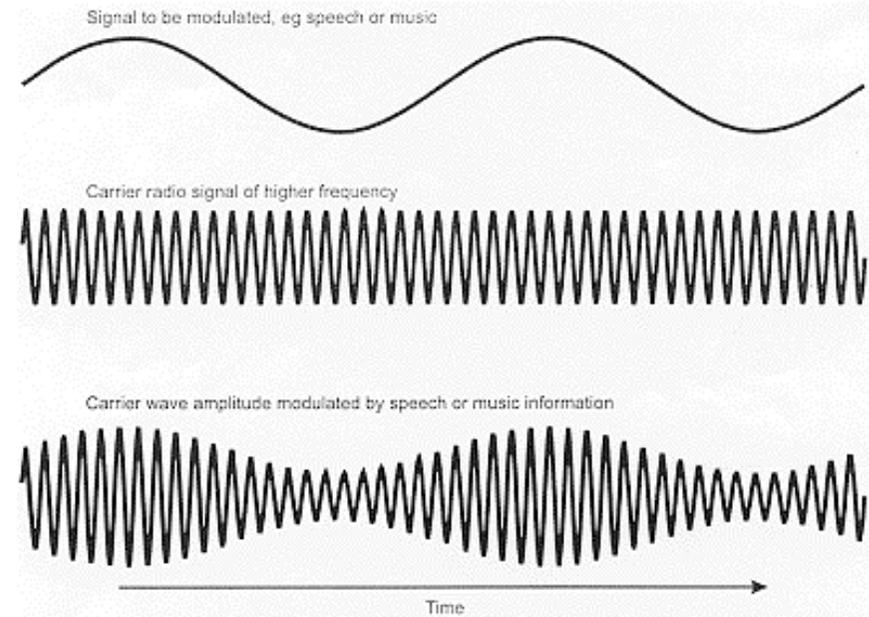
$$f_A(t) = s(t) \sin(2\pi ft + \phi)$$

- **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**





Frequenzmodulation

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

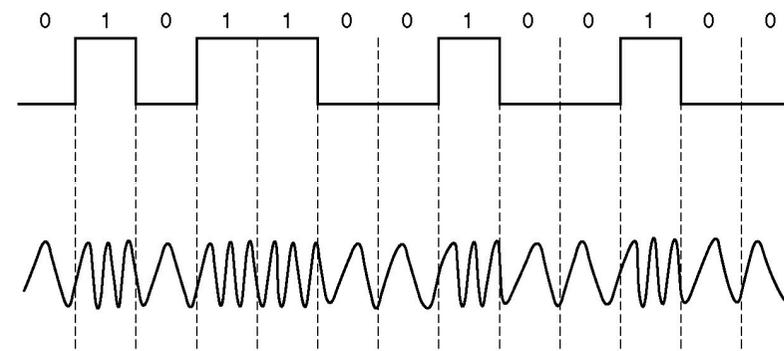
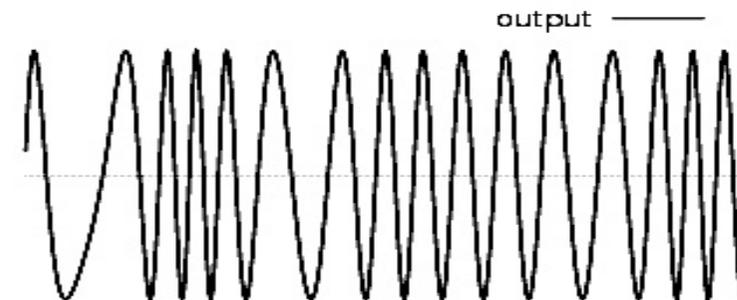
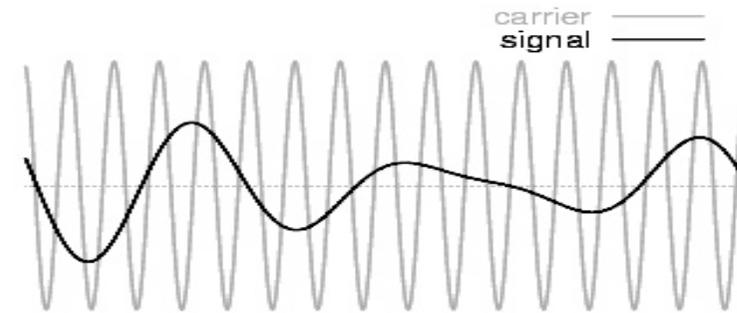
$$f_F(t) = a \sin(2\pi s(t)t + \phi)$$

- Analoges Signal

- Frequency Modulation (FM)
- Kontinuierliche Funktion in der Zeit

- Digitales Signal

- Frequency Shift Keying (FSK)
- Z.B. durch Symbole gegeben als Frequenzen





Phasenmodulation

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

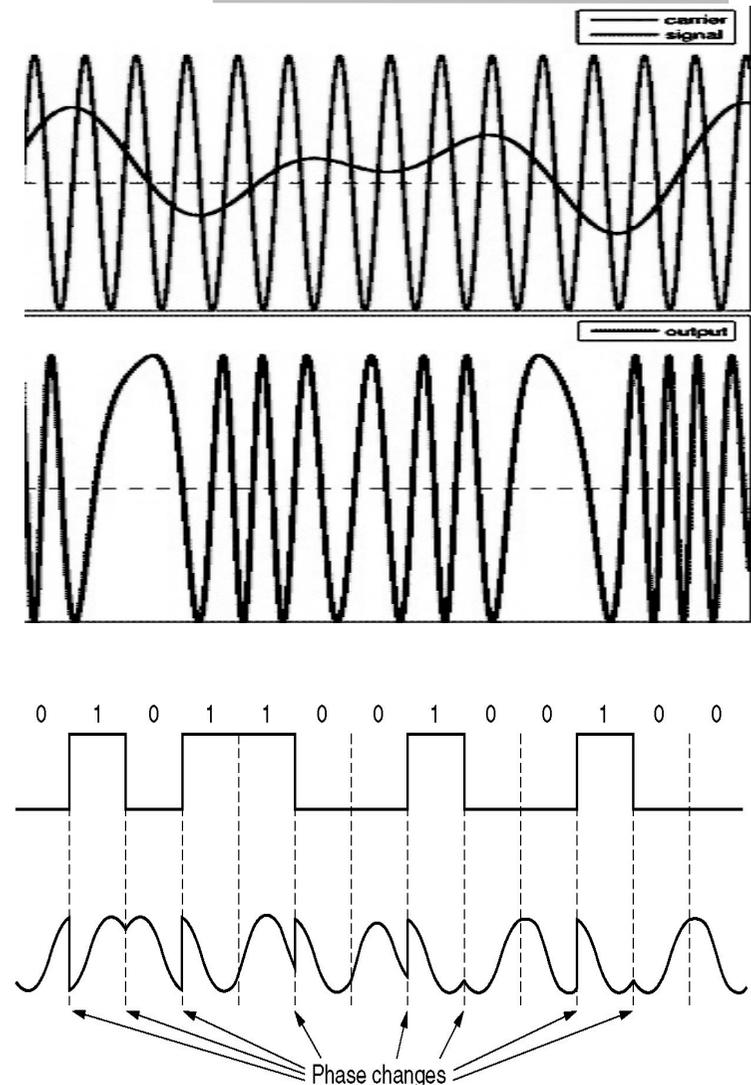
$$f_P(t) = a \sin(2\pi ft + s(t))$$

- Analoges Signal

- Phase Modulation (PM)
- Sehr ungünstige Eigenschaften
- Wird nicht eingesetzt

- Digitales Signal

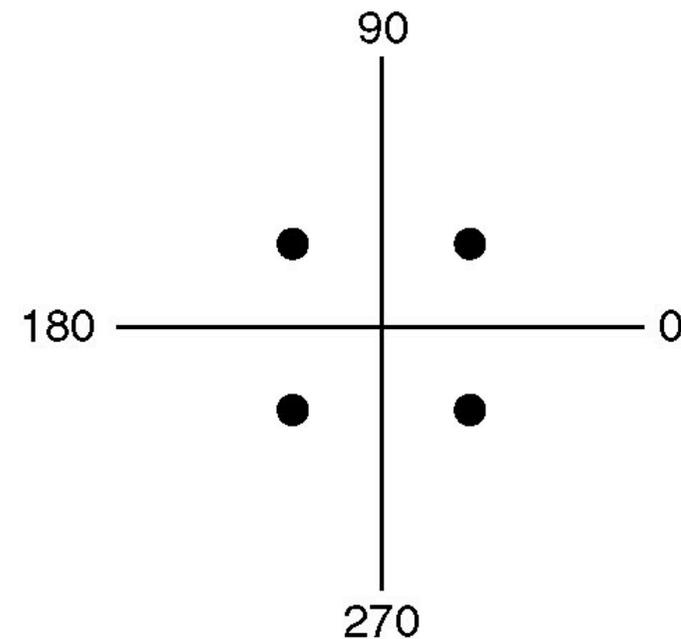
- Phase-Shift Keying (PSK)
- Z.B. durch Symbole gegeben als Phasen





PSK mit verschiedenen Symbolen

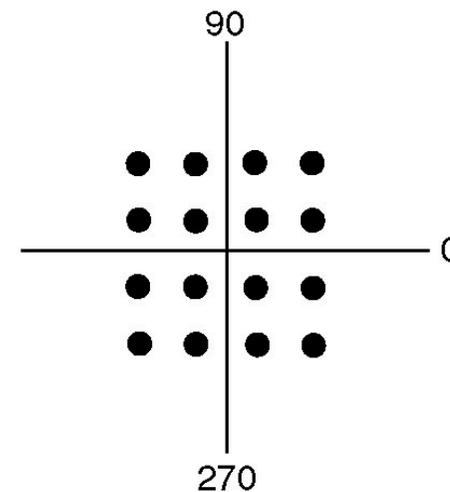
- **Phasenverschiebungen können vom Empfänger sehr gut erkannt werden**
- **Kodierung verschiedener Symbole sehr einfach**
 - Man verwendet Phasenverschiebung z.B. $\pi/4$, $3/4\pi$, $5/4\pi$, $7/4\pi$
 - selten: Phasenverschiebung 0 (wegen Synchronisation)
 - Bei vier Symbolen ist die Datenrate doppelt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





Amplituden- und Phasenmodulation

- **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**

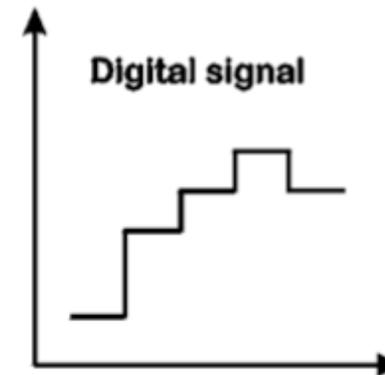
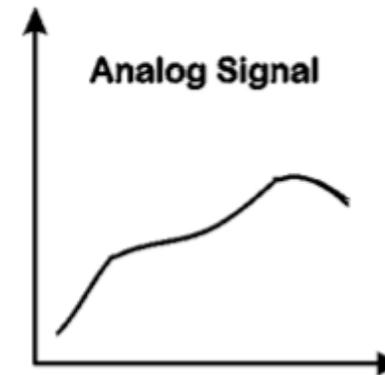
- Endliche Menge von diskreten Signalen
- Z.B. endliche Menge von Spannungsgrößen/Stromstärken

– **Analoge Übertragung**

- Unendliche (kontinuierliche) Menge von Signalen
- Z.B. Signal entspricht Strom oder Spannung im Draht

➤ **Vorteil der digitalen Signale:**

- Es gibt die Möglichkeit Empfangungenauigkeiten zu reparieren und das ursprüngliche Signal zu rekonstruieren
- Auftretende Fehler in der analogen Übertragung können sich weiter verstärken





Die Bitfehlerhäufigkeit und das Signalrauschverhältnis

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

- 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

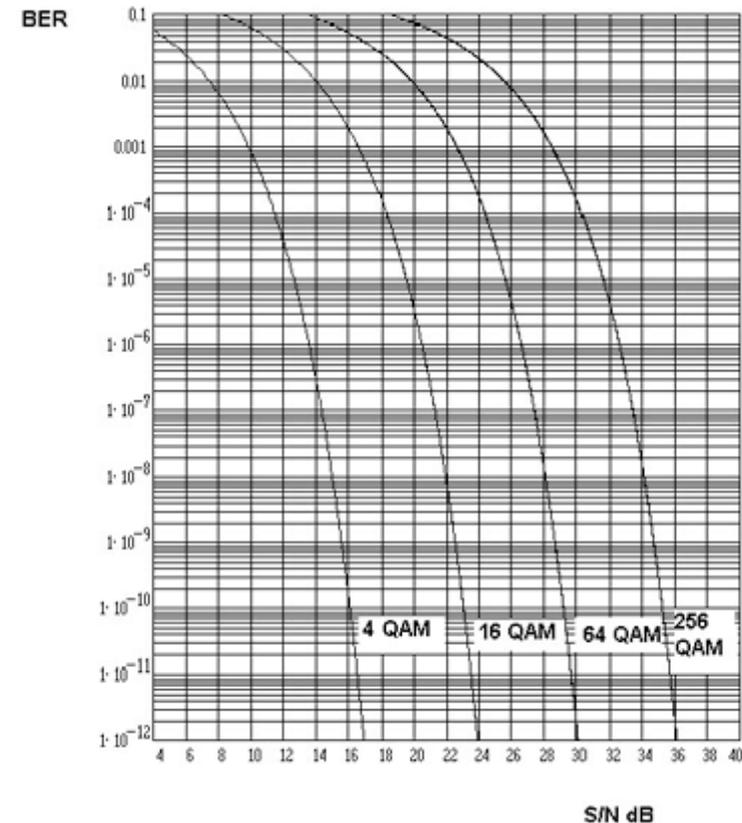


Abb. aus http://www.blondertongue.com/QAM-Transmodulator/Digital_Signal_Analysis.php



Physikalische Medien

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

➤ **Leitungsgebundene Übertragungsmedien**

- Kupferdraht – Twisted Pair
- Kupferdraht – Koaxialkabel
- Glasfaser

➤ **Drahtlose Übertragung**

- Funkübertragung
- Mikrowellenübertragung
- Infrarot
- Lichtwellen



Twisted Pair



(a)



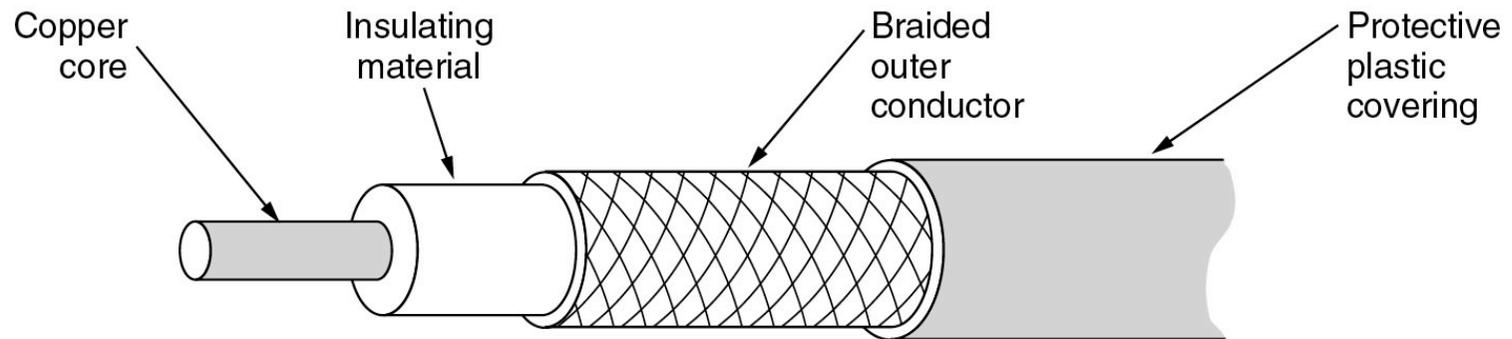
(b)

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

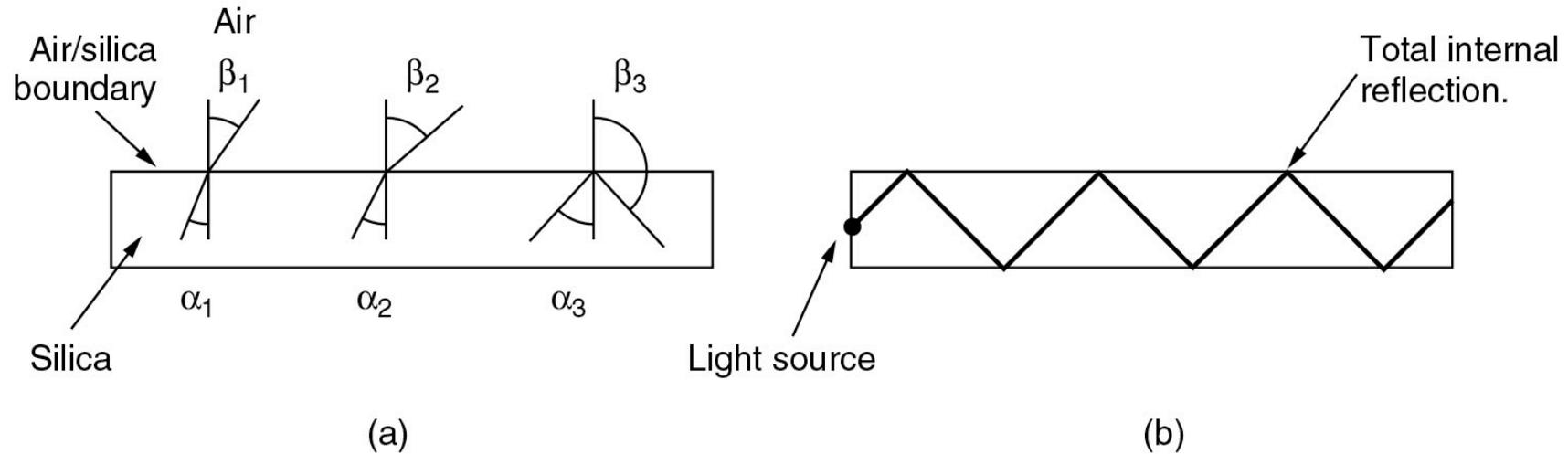


Koaxialkabel





Glasfaser



Gesetz von Snellius:
$$\frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = \frac{c_{\text{Glas}}}{c_{\text{Luft}}}$$

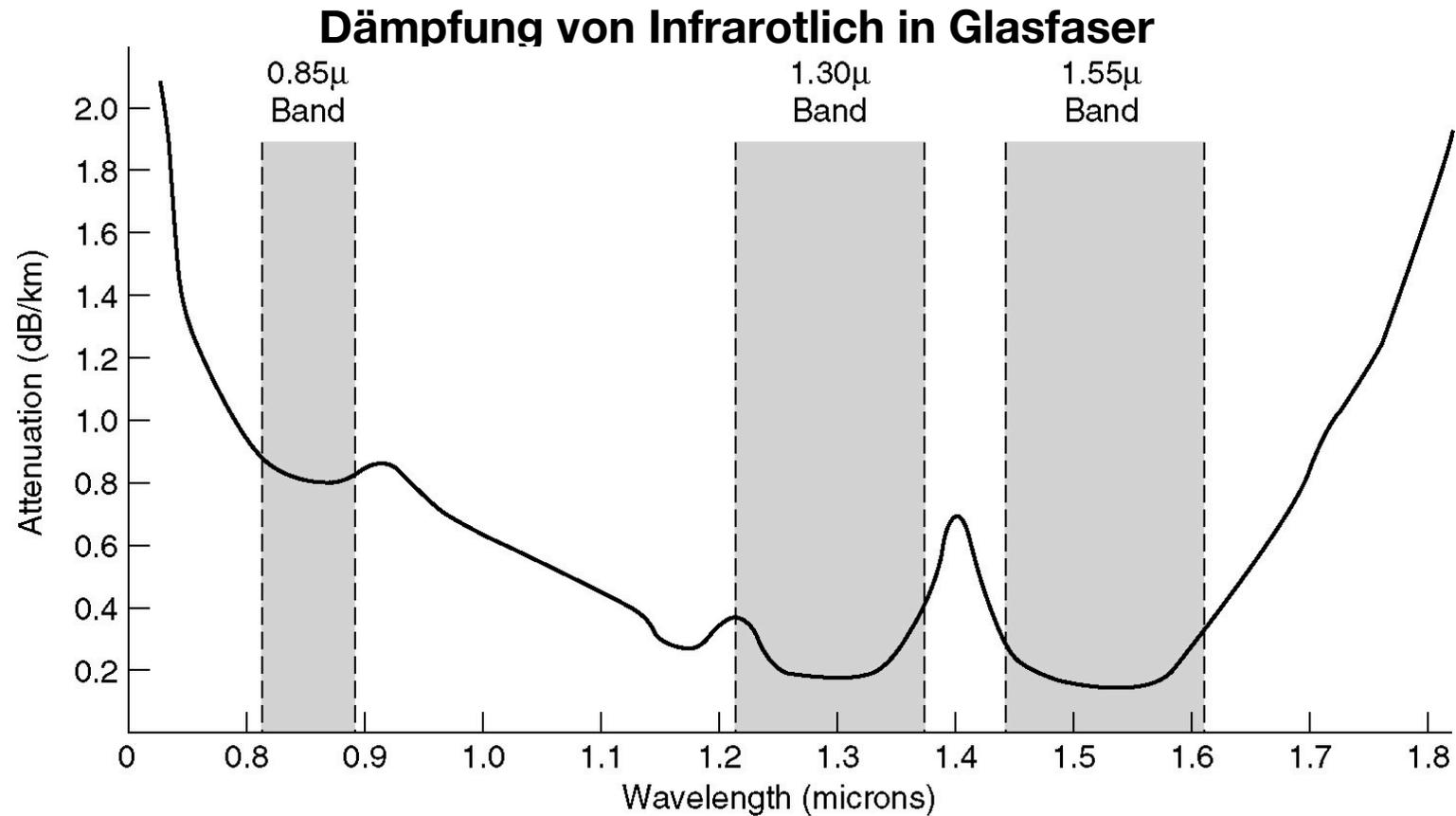
(a) Beugung und Reflektion an der Luft/Silizium-Grenze bei unterschiedlichen Winkeln

(b) Licht gefangen durch die Reflektion



Übertragung von Licht durch Glasfaser

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

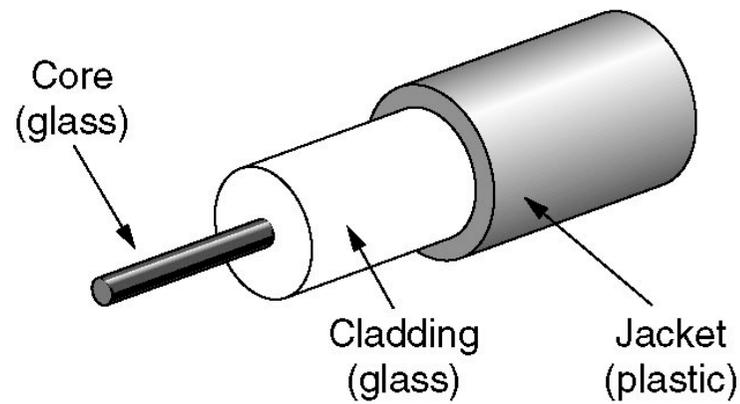




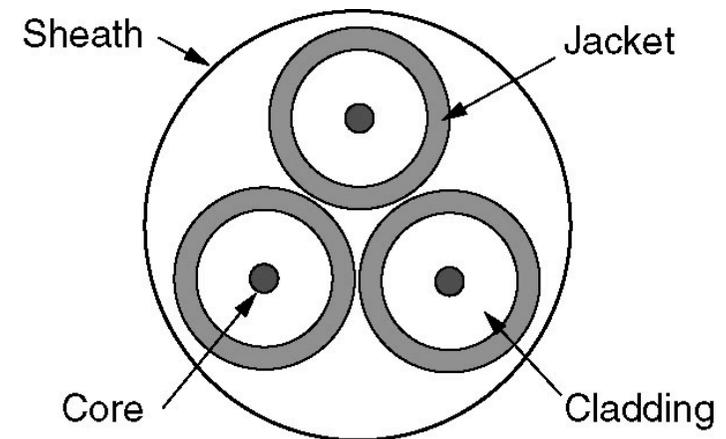
Glasfaser

(a) Seitenansicht einer einfachen Faser

(b) Schnittansicht eines Dreier-Glasfaserbündels



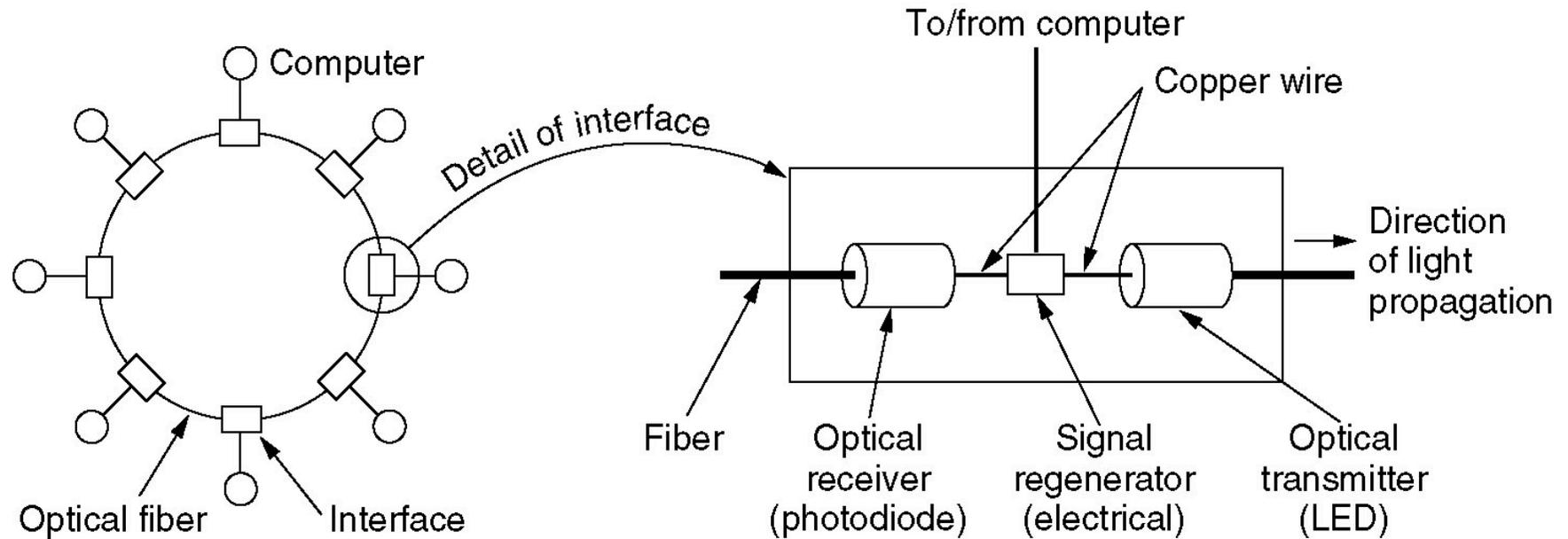
(a)



(b)



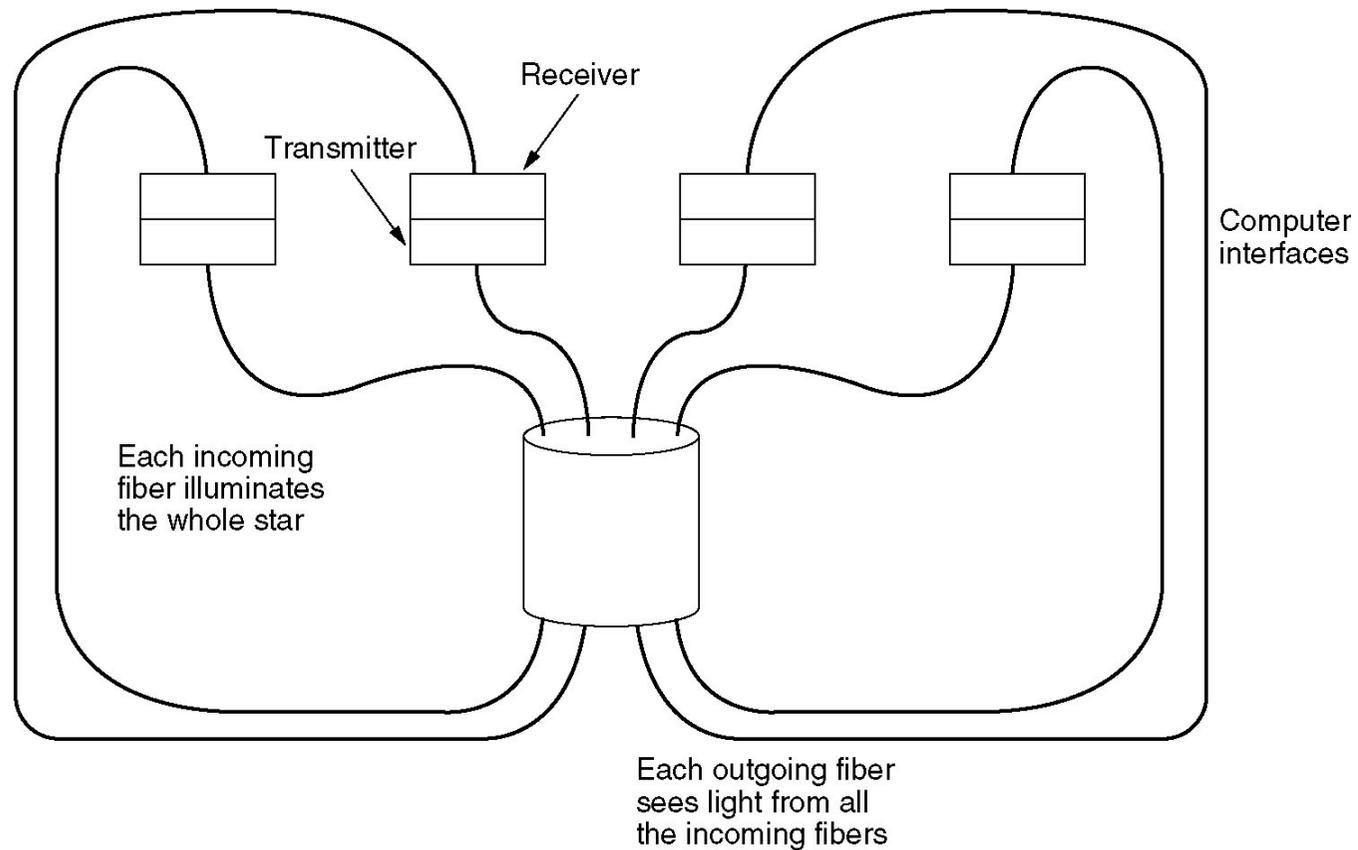
Glasfaserring mit aktiven Repeatern





Glasfaser-Netzwerke

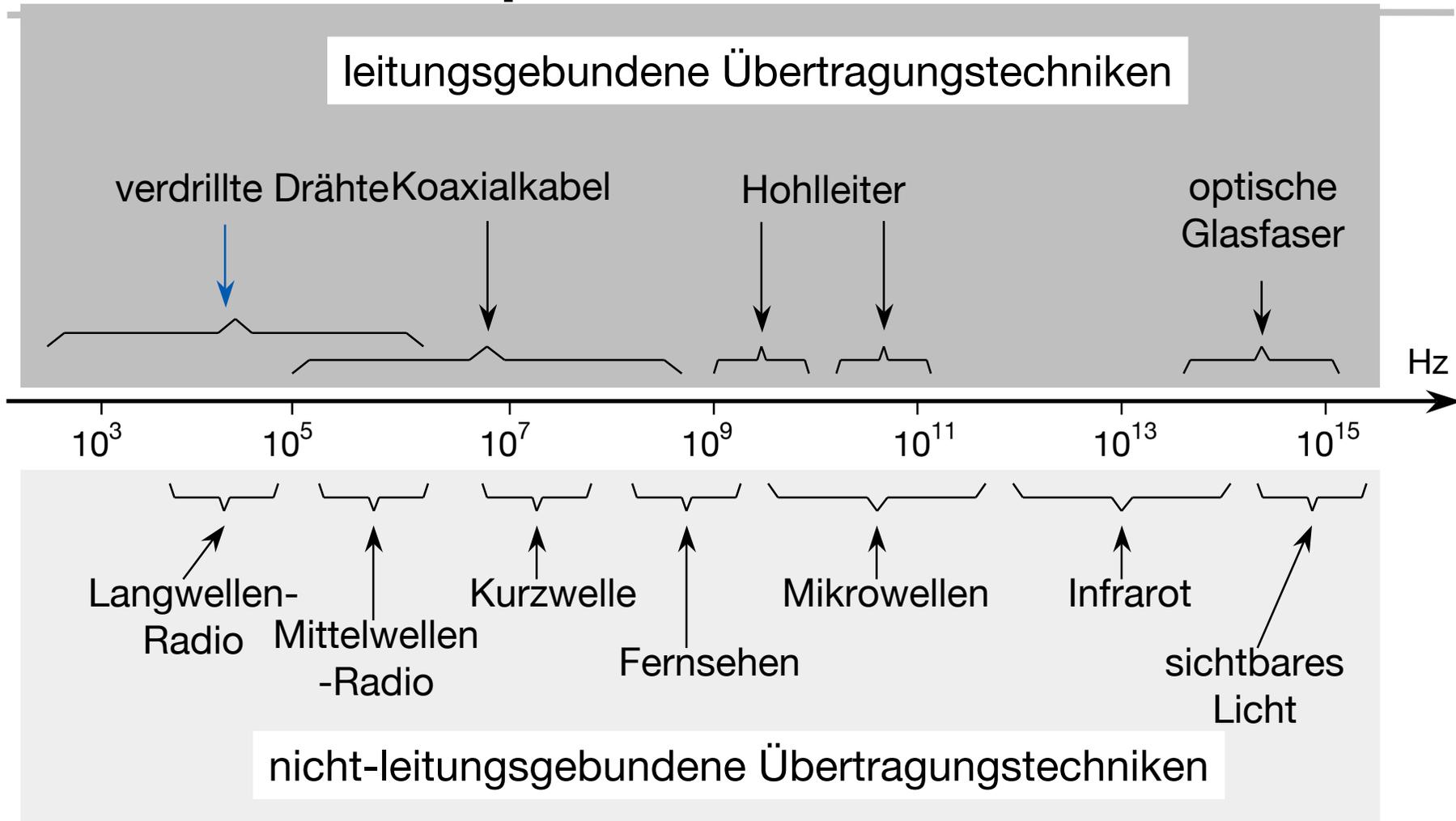
Eine passive Sternverbindung in einem Glasfasernetz





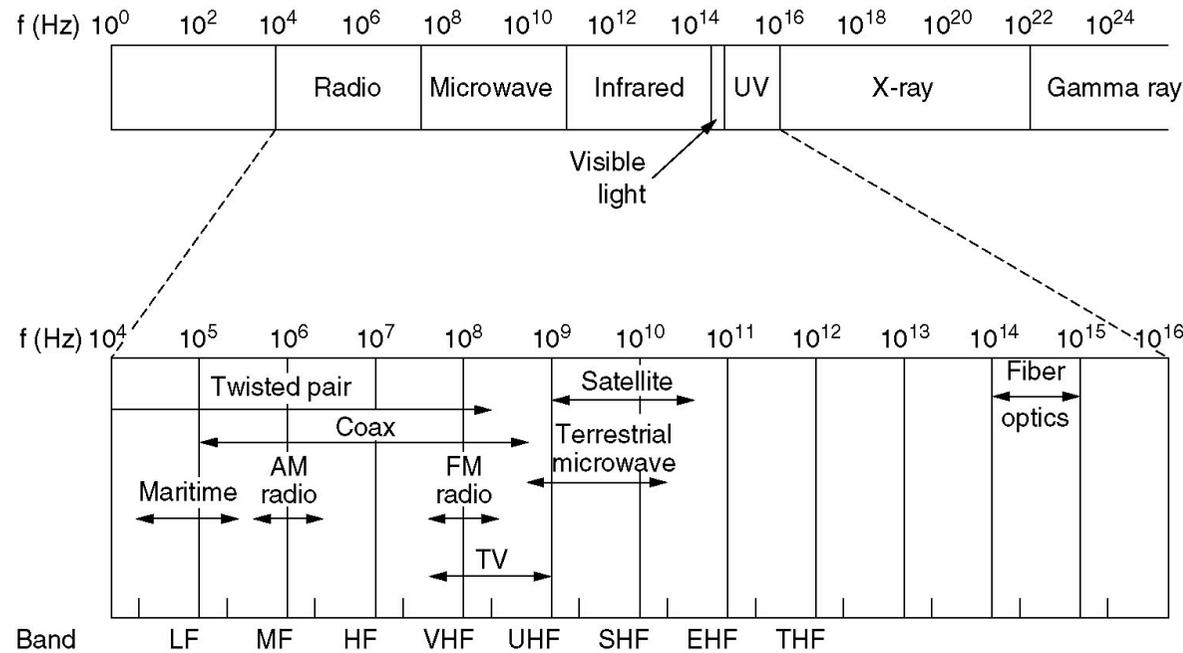
Das elektromagnetische Spektrum

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer





Frequenzbereiche



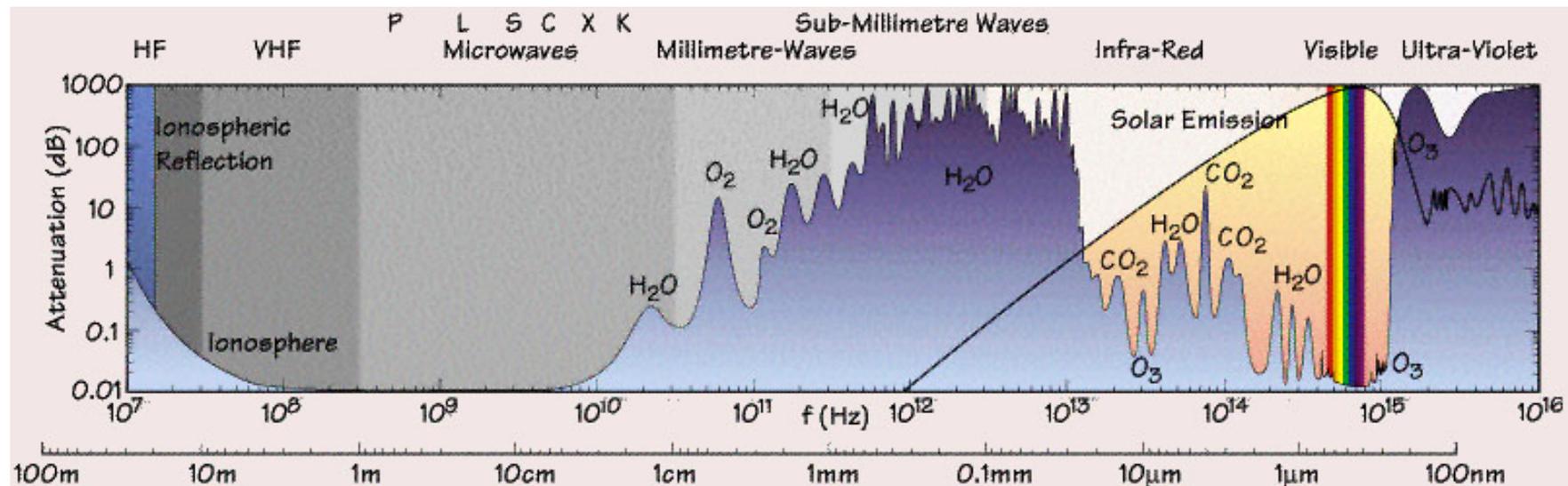
- LF** Low Frequency =
- LW** Langwelle =
- MF** Medium Frequency =
- MW** Mittelwelle =
- HF** High Frequency =
- KW** Kurzwelle =
- VHF** Very High Frequency =
- UKW** Ultrakurzwelle =
- UHF** Ultra High Frequency =
- SHF** Super High Frequency =
- EHF** Extra High Frequency =
- UV** Ultraviolettes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



Dämpfung in verschiedenen Frequenzbereichen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

- Frequenzabhängige Dämpfung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre



http://www.geographie.uni-muenchen.de/iggf/Multimedia/Klimatologie/physik_arbeit.htm



Frequenzbänder für Funknetzwerke

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- **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



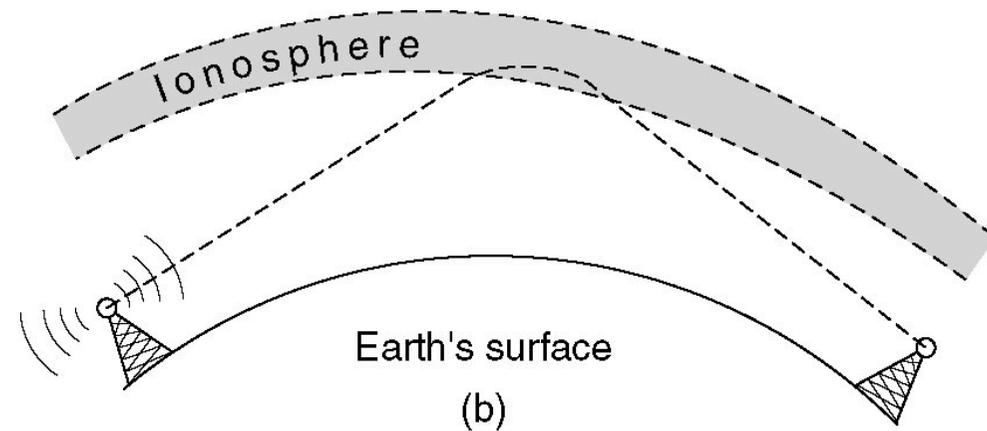
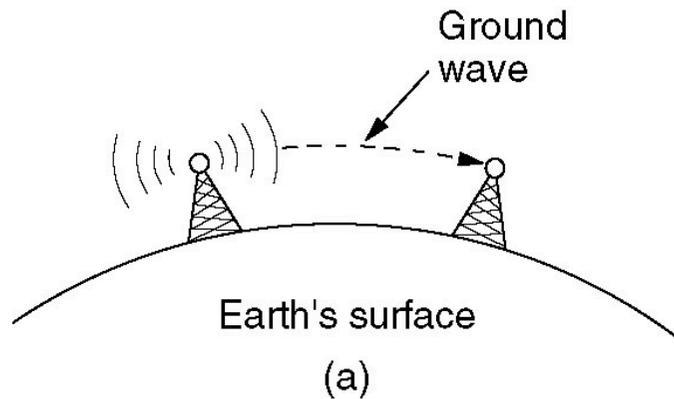
Ausbreitungsverhalten (I)

- **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



Ausbreitungsverhalten (II)

- **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**





Ausbreitungsverhalten (III)

➤ 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



Mehrfachnutzung des Mediums

➤ 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

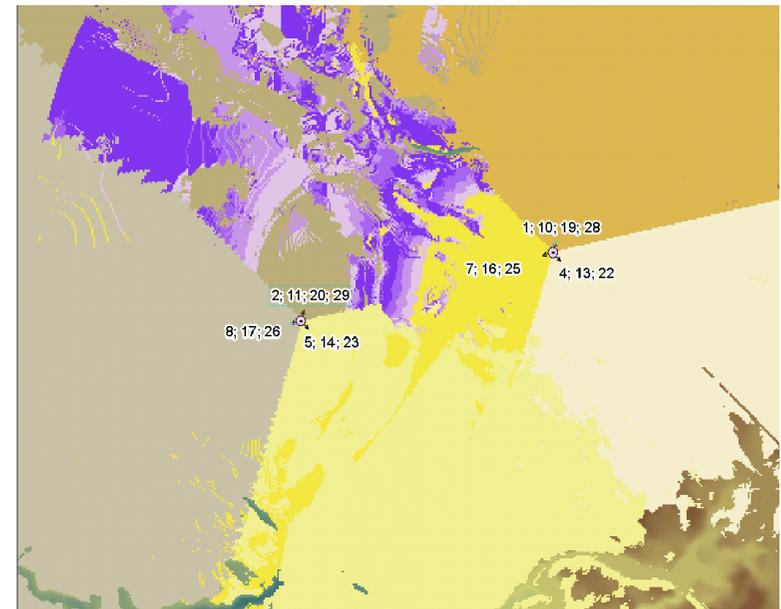
➤ Codemultiplexverfahren

- 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





➤ Frequenzmultiplex

- Aufteilung der Bandbreite in Frequenzabschnitte
- Spreizen der Kanäle und Hopping
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
 - Xor eines Signals mit einer Folge Pseudozufallszahlen beim Sender und Empfänger (Verwandt mit Codemultiplex)
 - Fremde Signale erscheinen als Hintergrundrauschen
 - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
 - Frequenzwechsel durch Pseudozufallszahlen
 - Zwei Versionen
 - * Schneller Wechsel (fast hopping): Mehrere Frequenzen pro Nutzdatenbit
 - * Langsamer Wechsel (slow hopping): Mehrere Nutzdatenbits pro Frequenz



Zeit

➤ 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)



Internet über Telefon

➤ 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

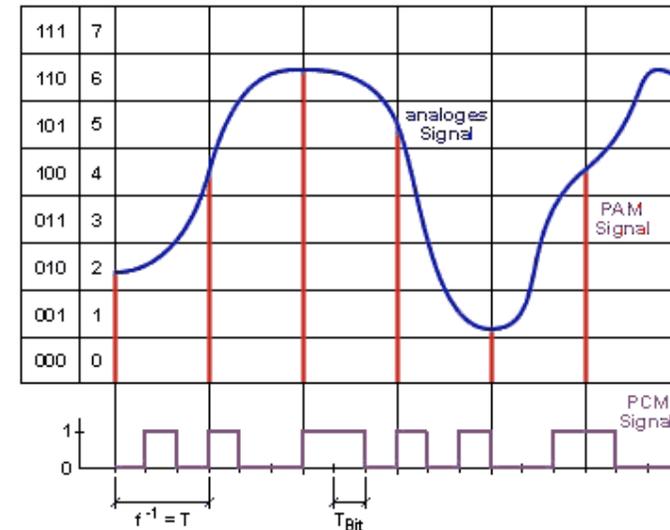


Abb. aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Puls-Code-Modulation>



Beispiel DSL

➤ Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

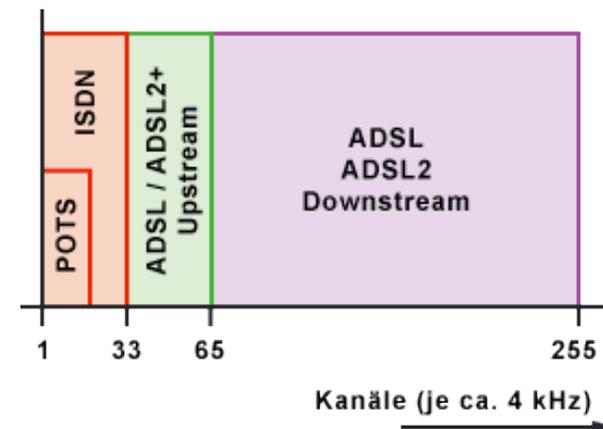
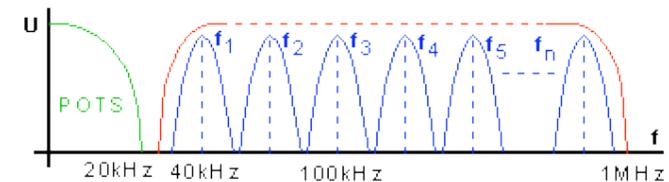
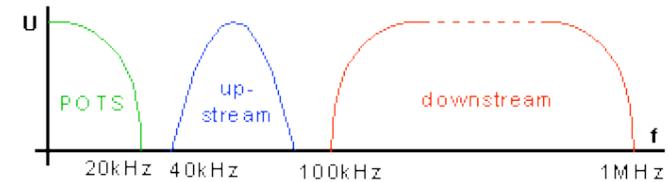
- momentan der Standard zur Anbindung von Endverbrauchern zu ISP (Internet Service Providers)
- verwendet herkömmliche Kupferkabel

➤ 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



Abbildungen aus: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0305235.htm>

Ende der

3. Vorlesungswoche



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Systeme II
Christian Schindelhauer
schindel@informatik.uni-freiburg.de