

Systeme II



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

Christian Schindelhauer

Sommersemester 2006

5. Vorlesung

10.04.2006

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 allen Frequenzen übertragen
- Z.B. Durch NRZ (Spannung hoch = 1, Spannung niedrig = 0)
- Problem:
 - Übertragungseinschränkungen

➤ Breitband (broadband)

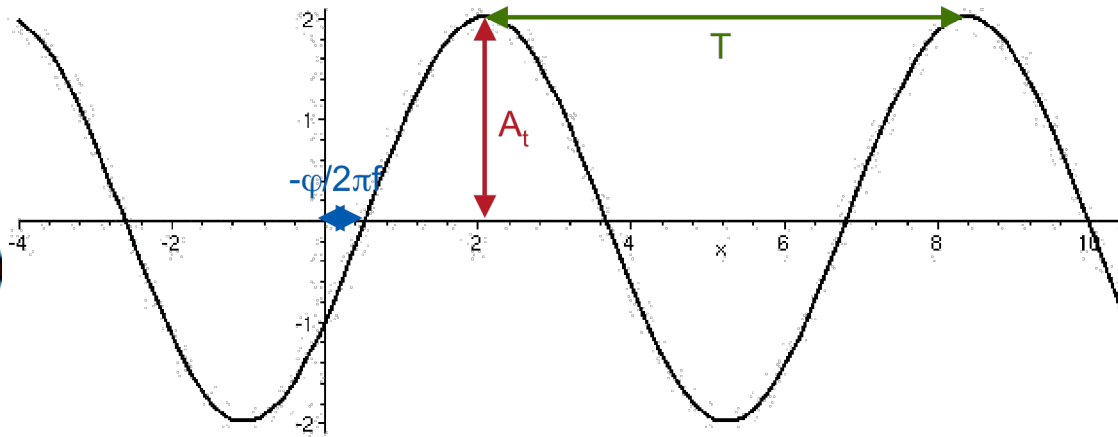
- Die Daten werden durch einen weiten Frequenzbereich übertragen
- Weiter Bereich an Möglichkeiten:
 - Die Daten können auf eine Trägerwelle aufgesetzt werden (Amplitudenmodulation)
 - Die Trägerwelle kann verändert (moduliert) werden (Frequenz/Phasenmodulation)
 - Verschiedene Trägerwellen können gleichzeitig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



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:

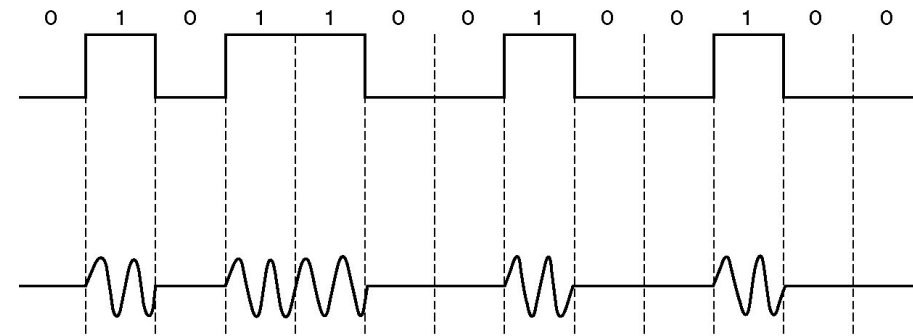
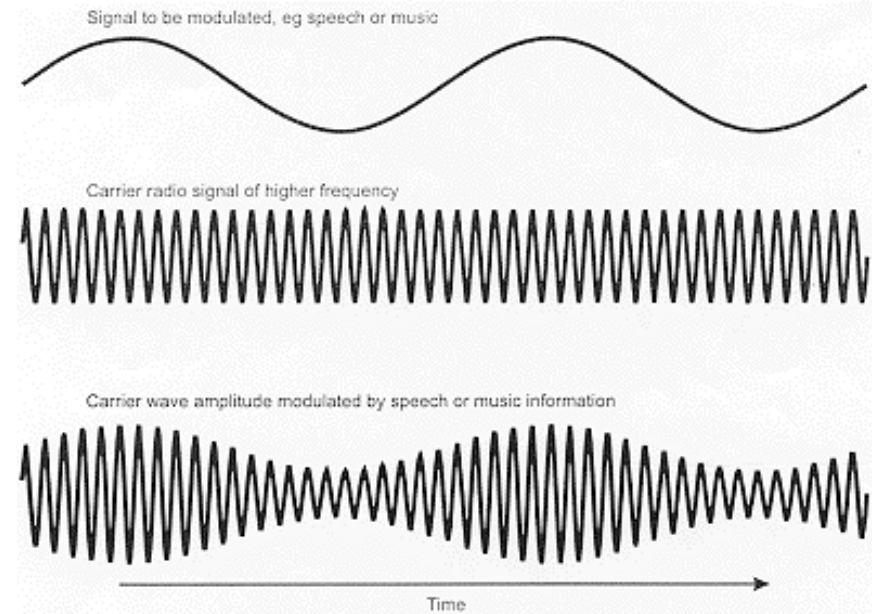
$$f_A(t) = s(t) \sin(2\pi ft + \phi)$$

- 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:

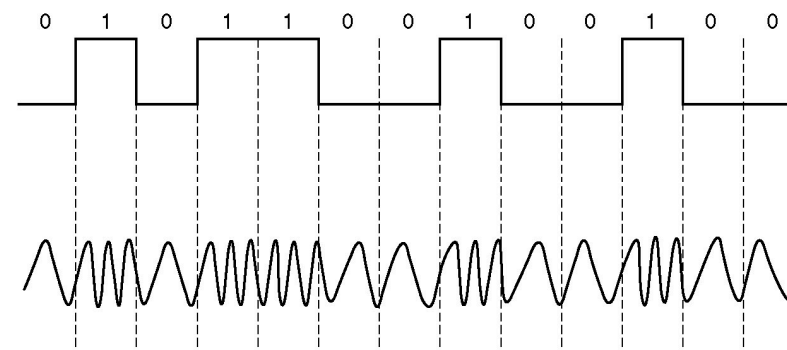
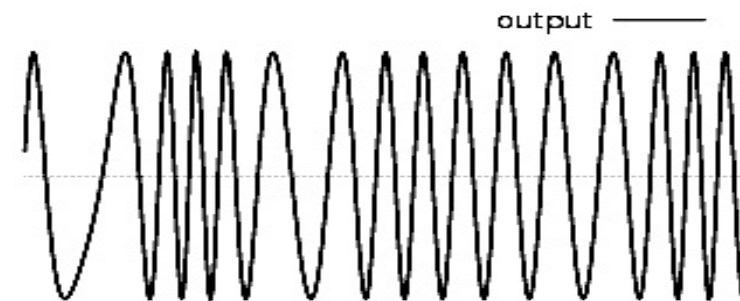
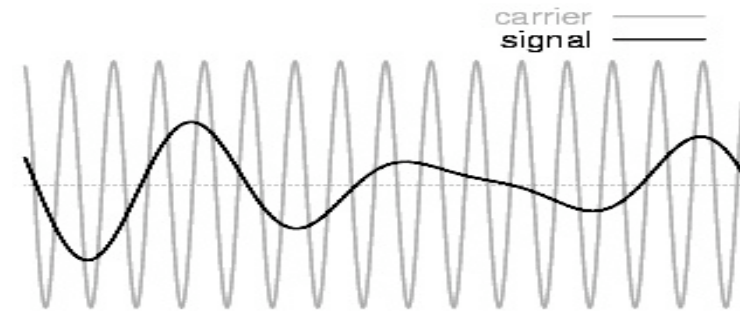
$$f_F(t) = a \sin(2\pi s(t)t + \phi)$$

- Analoges Signal

- Frequency Modulation
- 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:

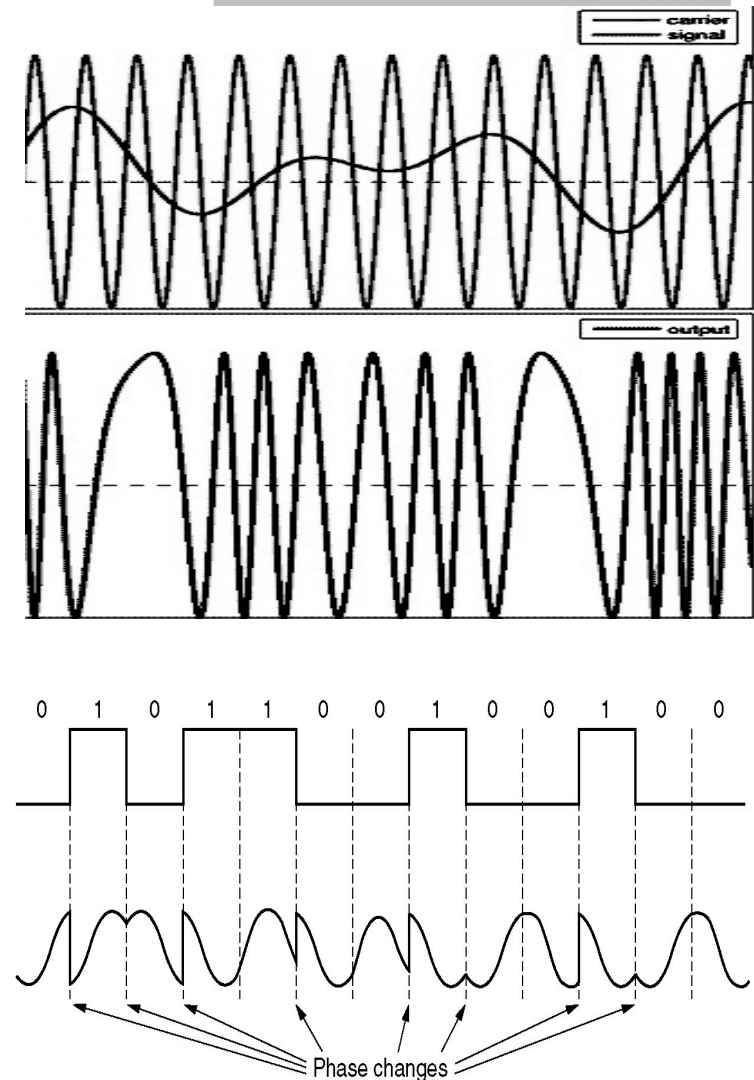
$$f_P(t) = a \sin(2\pi ft + s(t))$$

- Analoges Signal

- Phase Modulation
- Sehr ungünstige Eigenschaften
- Wird nicht eingesetzt

- Digitales Signal

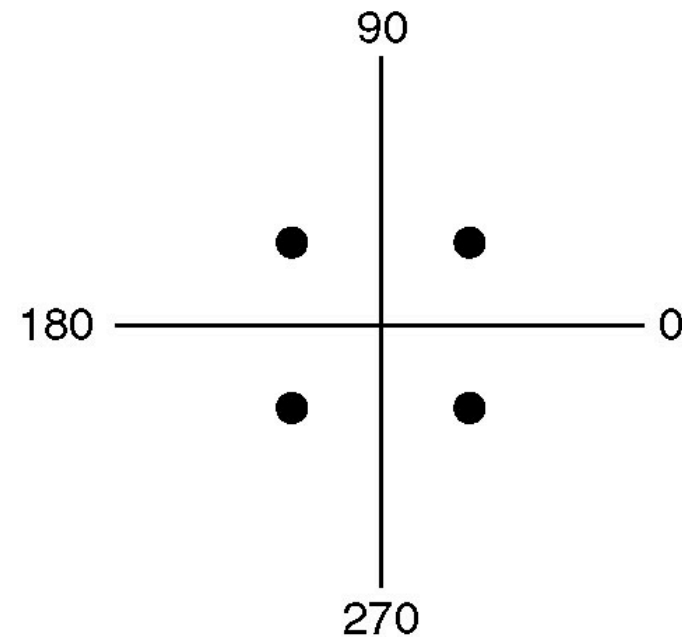
- Phase-Shift Keying (PSK)
- Z.B. durch Symbole gegeben als Phasen





PSK mit verschiedenen Symbolen

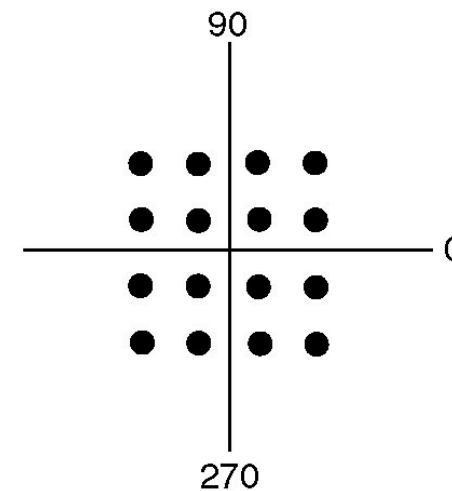
- **Phasenverschiebungen können vom Empfänger sehr gut erkannt werden**
- **Kodierung verschiedener Symbole sehr einfach**
 - Man verwendet Phasenverschiebung z.B. $\pi/4$, $3/4\pi$, $5/4\pi$, $7/4\pi$
 - selten: Phasenverschiebung 0 (wegen Synchronisation)
 - Bei vier Symbolen ist die Datenrate doppelt 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

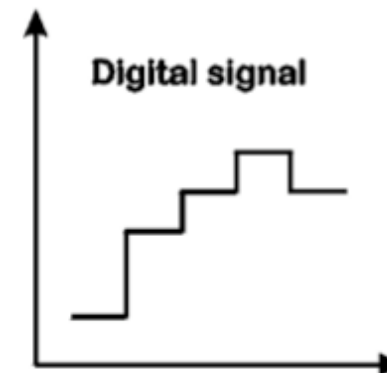
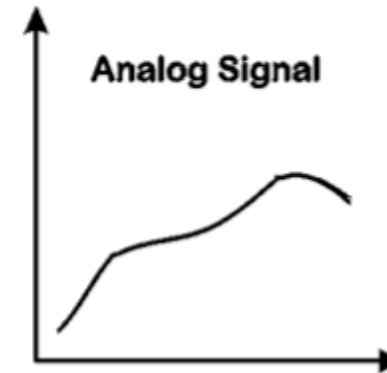
- Endliche Menge von diskreten Signalen
- Z.B. endliche Menge von Spannungsgrößen/Stromstärken

– 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 Schindelhauer

- **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
- **Eine typische Abhängigkeit der Bitfehlerhäufigkeit (BER) vom Signal-Rausch-Verhältnis**
 - Beispiel: DPSK (differential phase-shift keying)

$$\text{BER}(\text{SNR}) = 0,5 \cdot e^{-\text{SNR}}$$



Struktur einer digitalen Basisband-Übertragung

➤ Quellkodierung

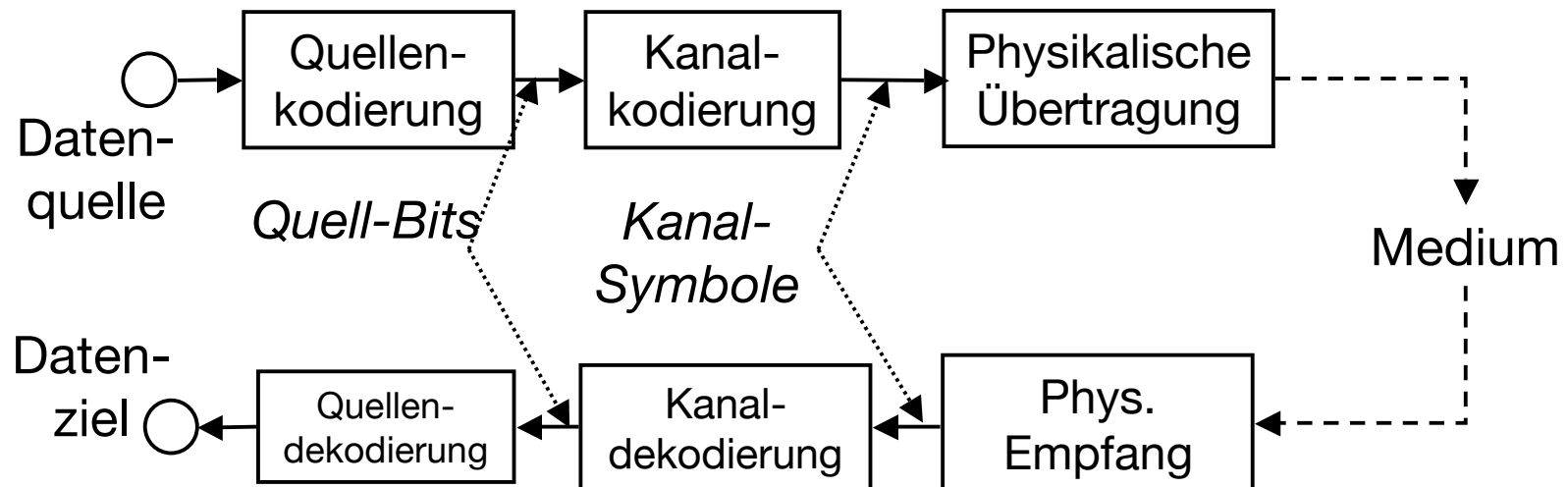
- Entfernen redundanter oder irrelevanter Information
- Z.B. mit verlustbehafteter Komprimierung (MP3, MPEG 4)
- oder mit verlustloser Komprimierung (Huffman-Code)

➤ Kanalkodierung

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

➤ Physikalische Übertragung

- Umwandlung in physikalische Ereignisse

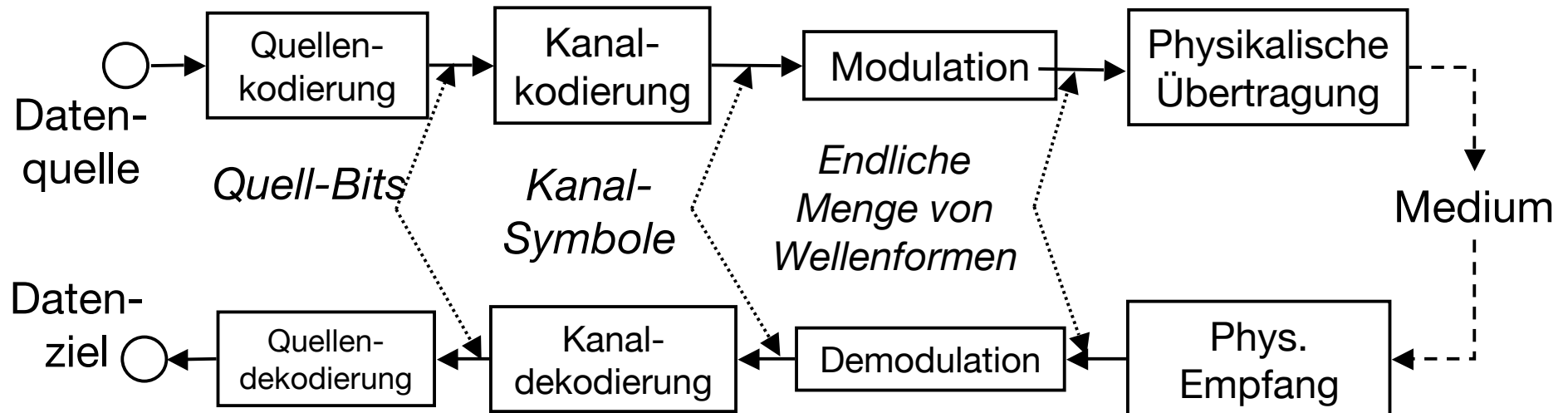




Struktur einer digitalen Breitband-Übertragung

➤ MODulation/DEModulation

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





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)



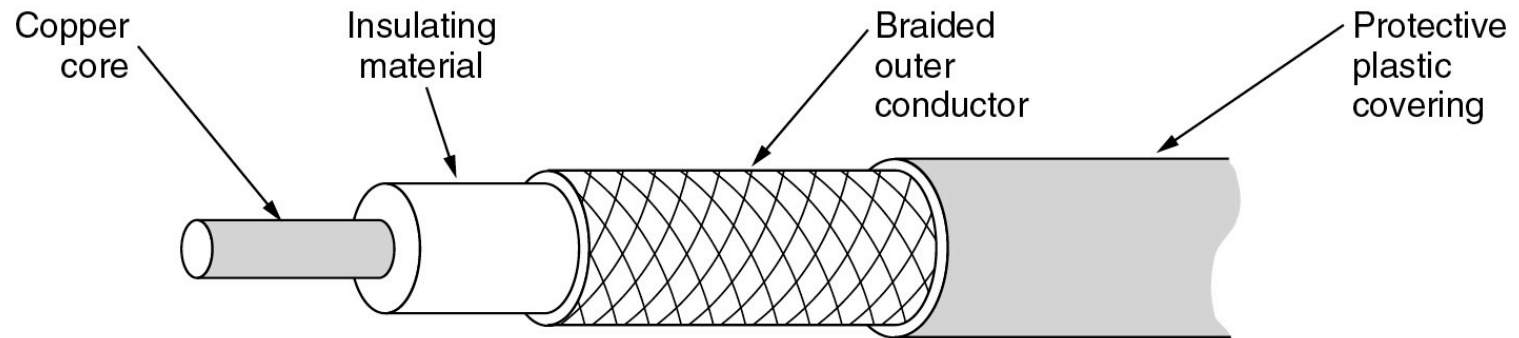
(b)

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

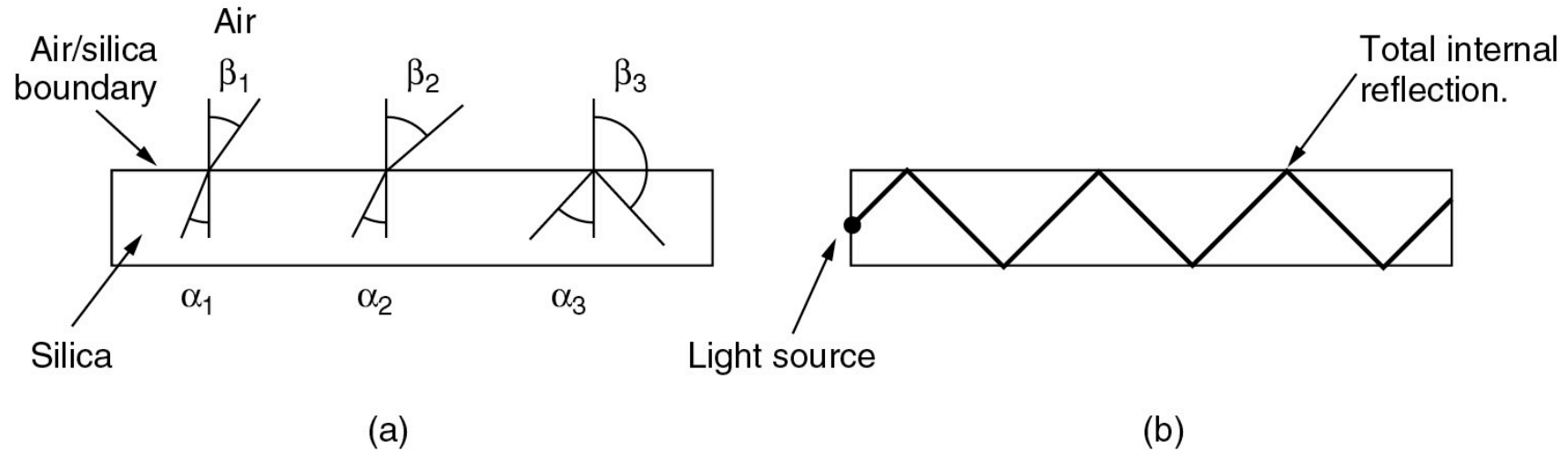


Koaxialkabel





Glasfaser



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

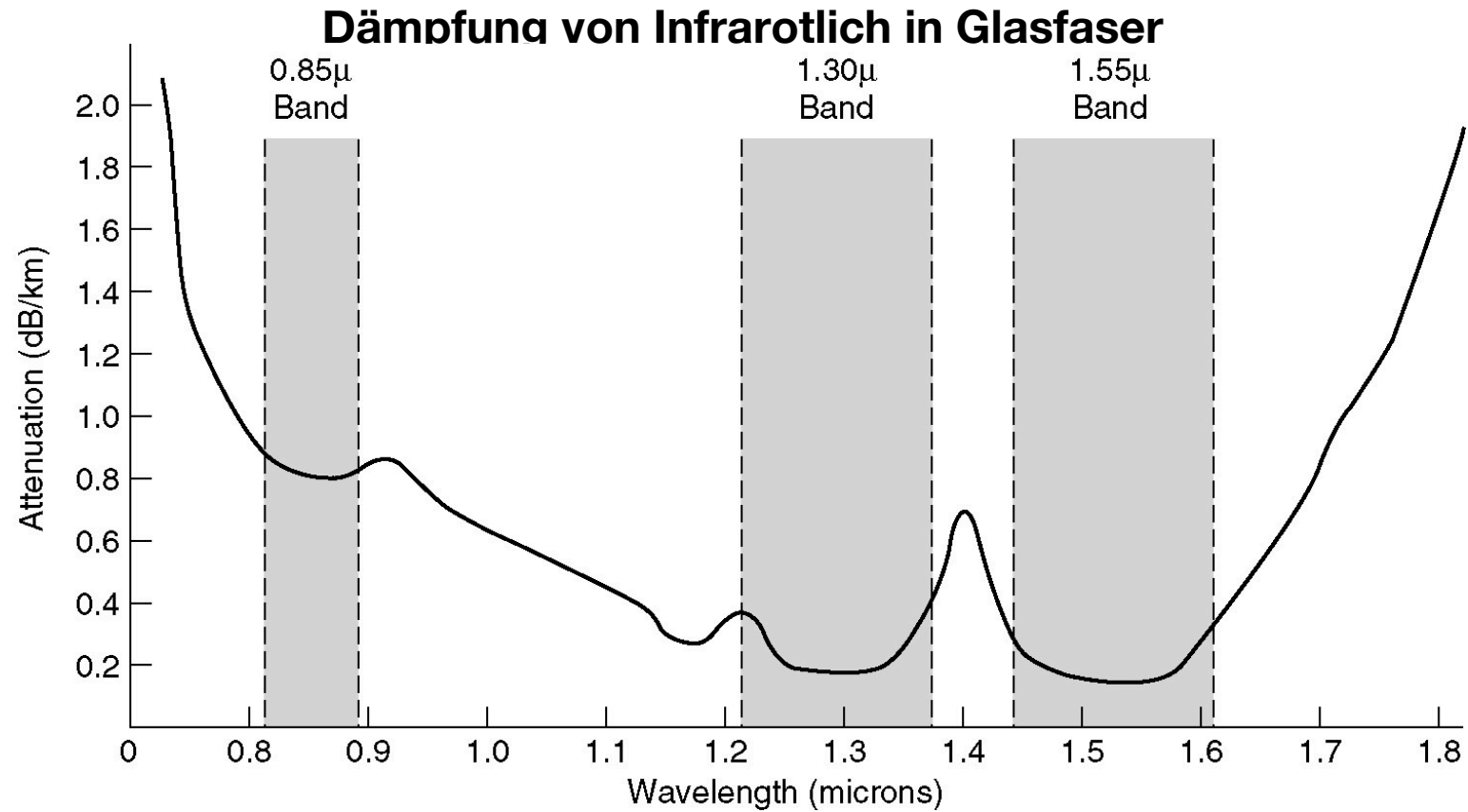
(a) Beugung und Reflektion an der Luft/Silizium-Grenze bei unterschiedlichen Winkeln

(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

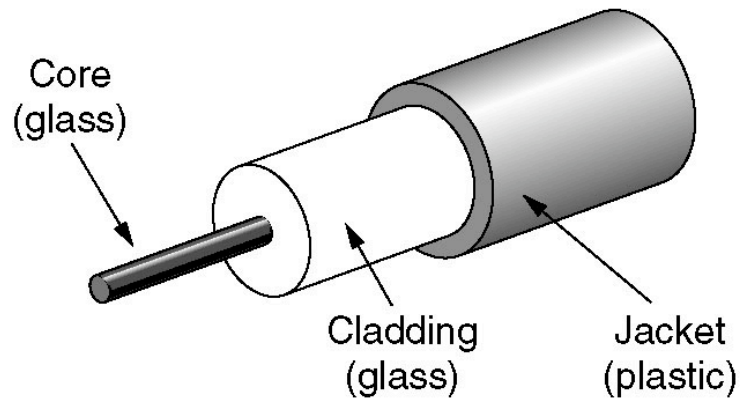




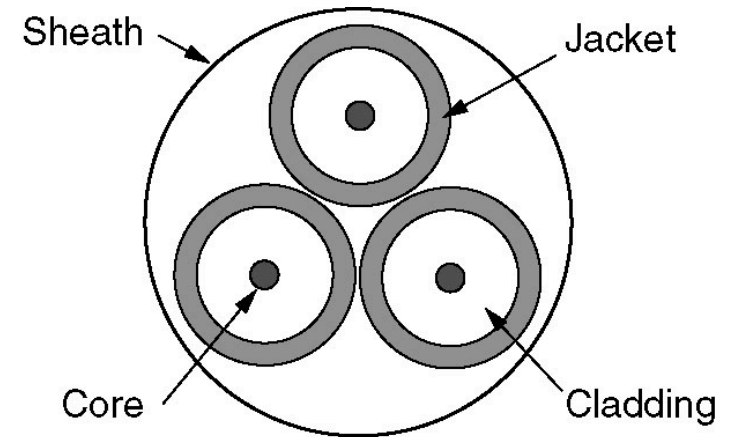
Glasfaser

(a) Seitenansicht einer einfachen Faser

(b) Schnittansicht eines Dreier-Glasfaserbündels



(a)

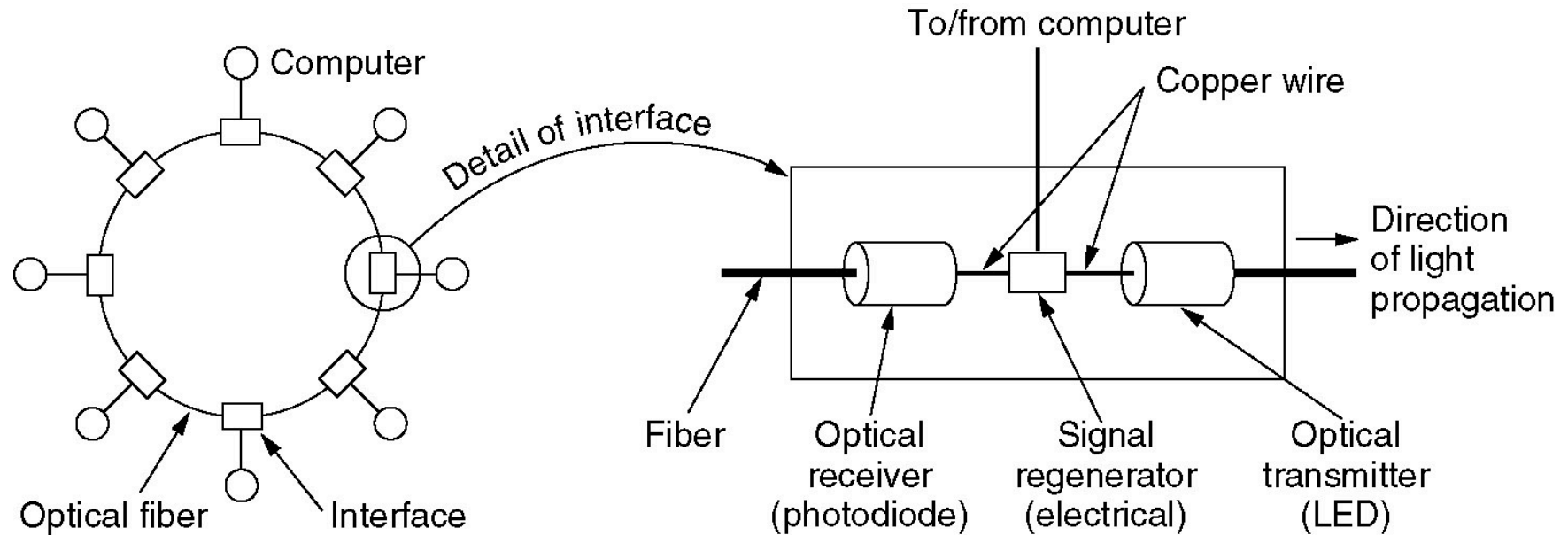


(b)



Glasfaser-Netzwerke

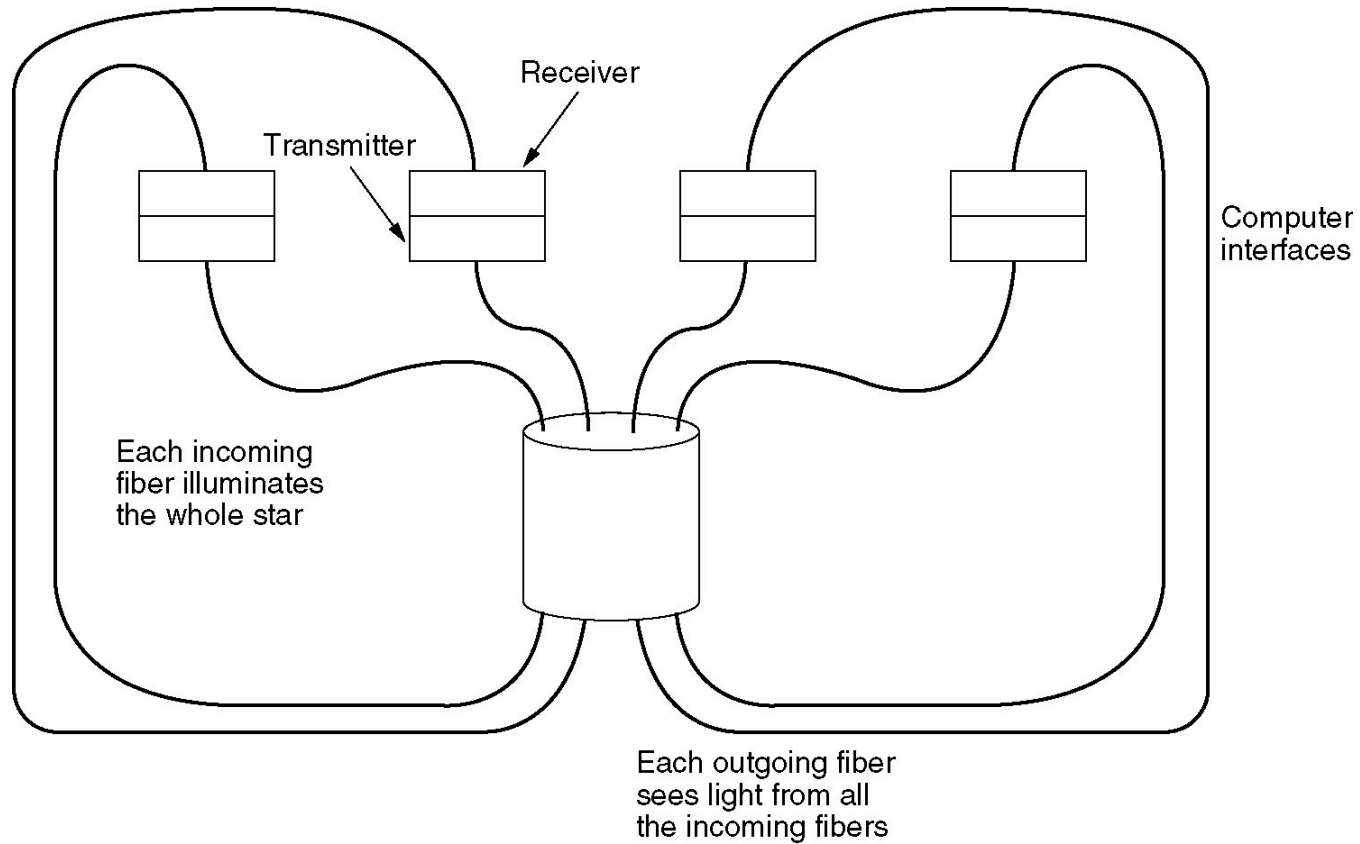
Glasfaserring mit aktiven Repeatern





Glasfaser-Netzwerke

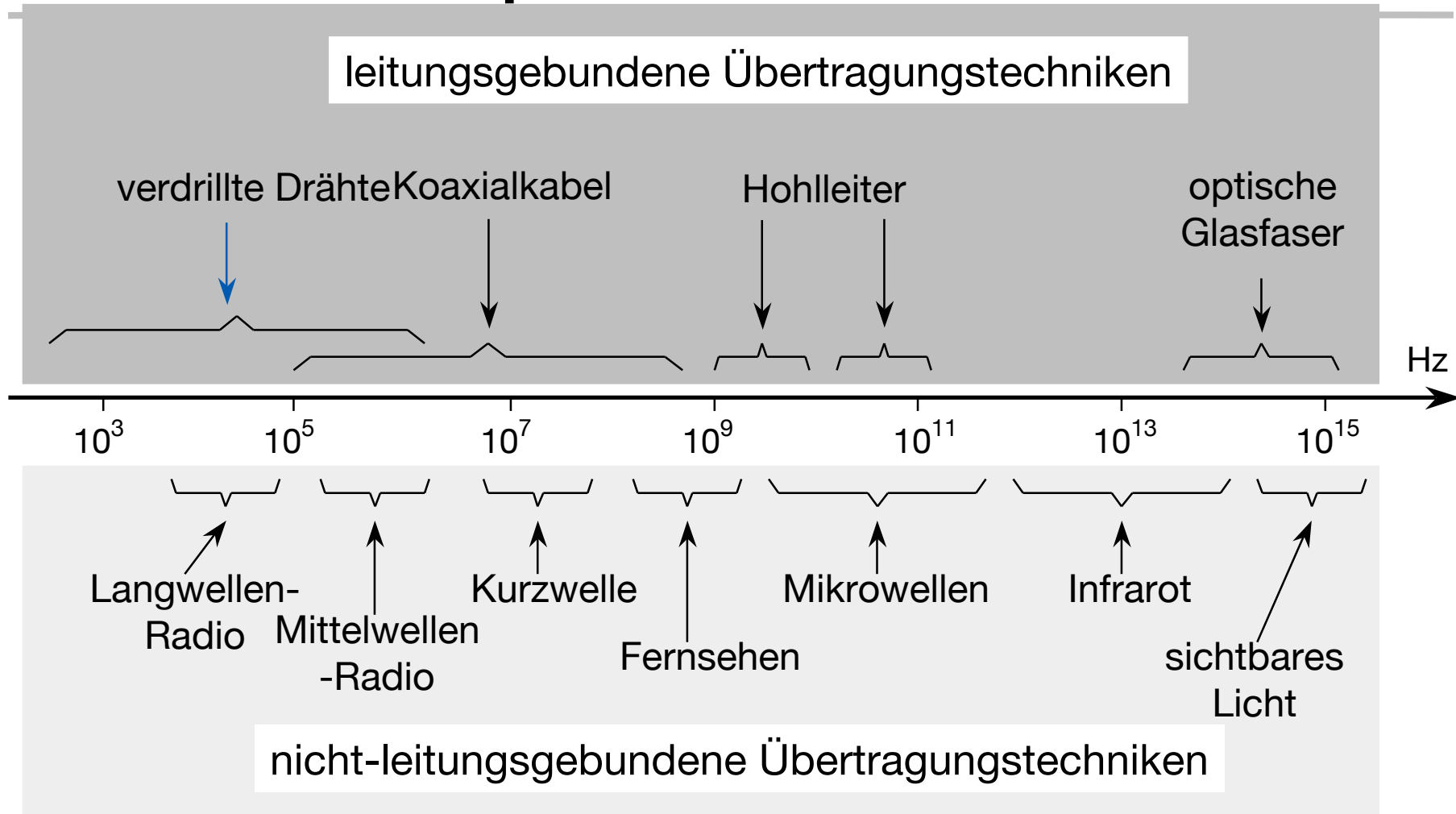
Eine passive Sternverbindung in einem Glasfasernetz





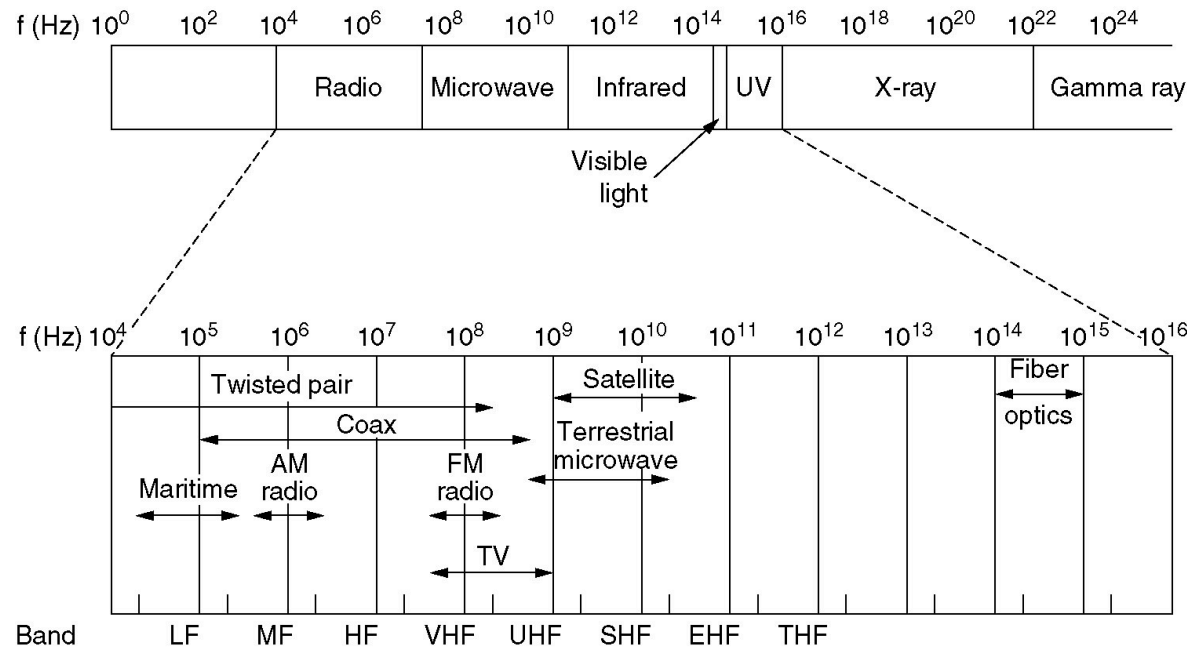
Das elektromagnetische Spektrum

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





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

Ende der

5. Vorlesung



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

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