

# Systeme II

## 2. Die physikalische Schicht

Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Version 26.04.2017

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

# Twisted Pair



(a)

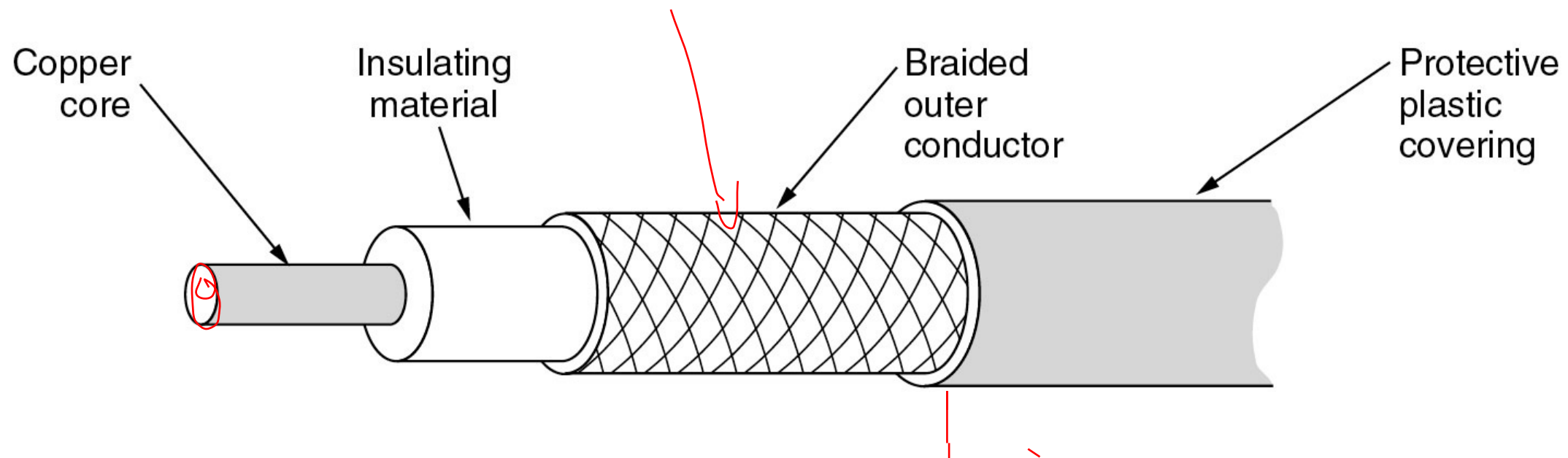


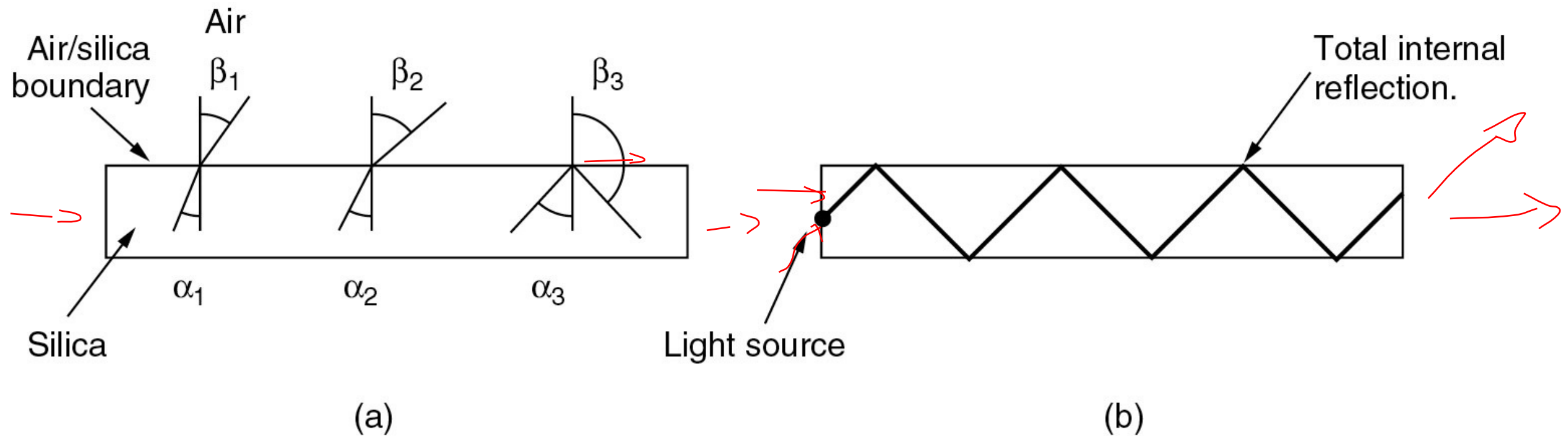
(b)

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

# Koaxialkabel



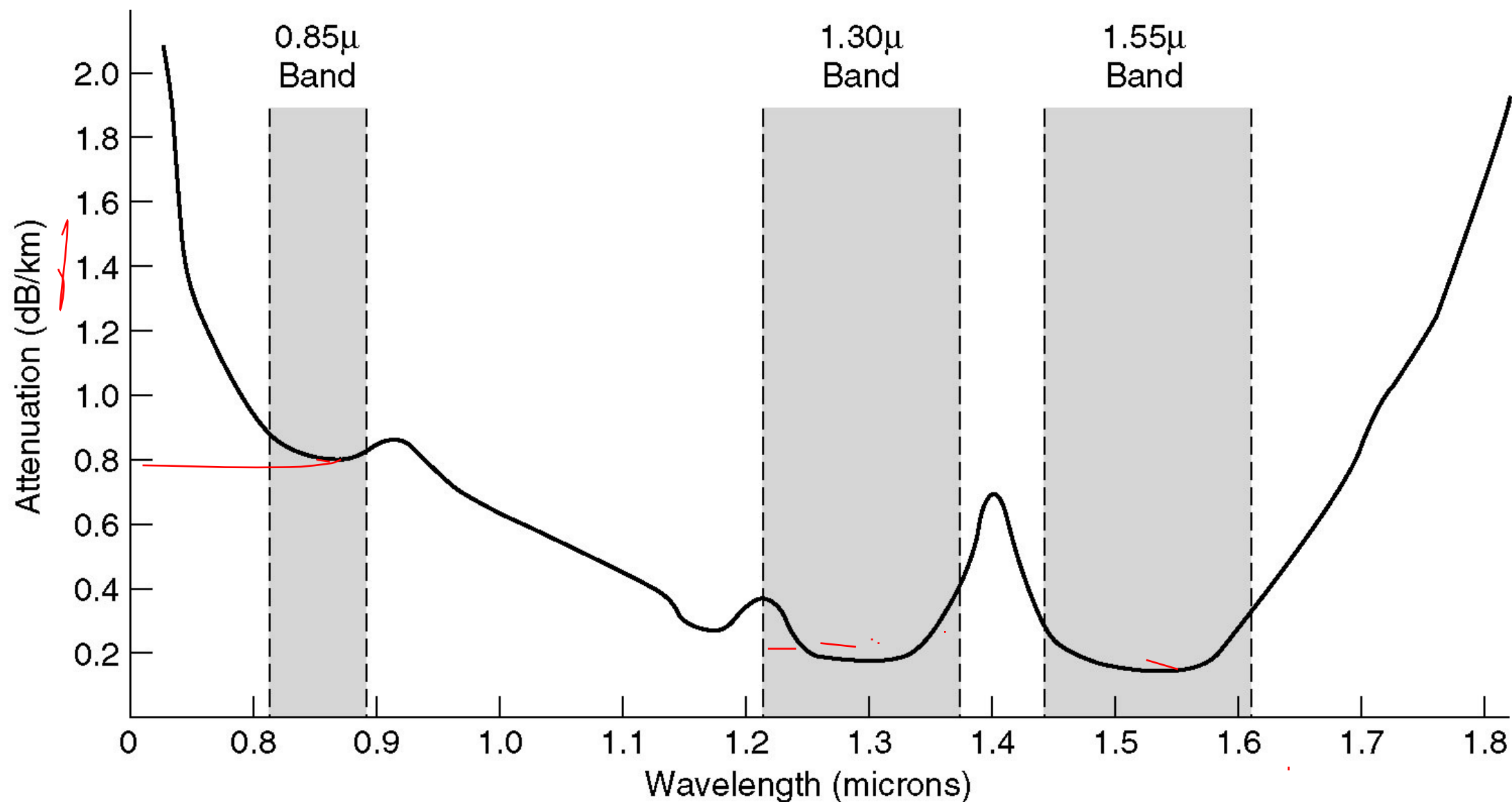


**Gesetz von Snellius:**

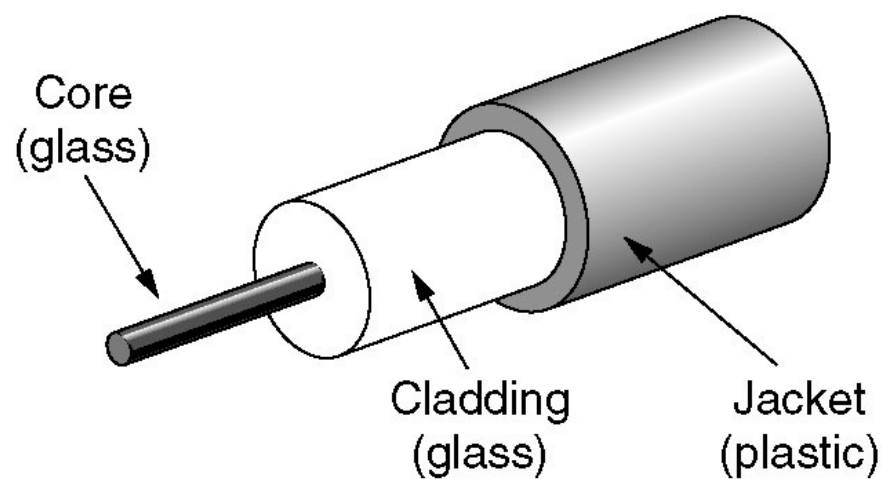
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_{\text{Glas}}}{c_{\text{Luft}}}$$

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

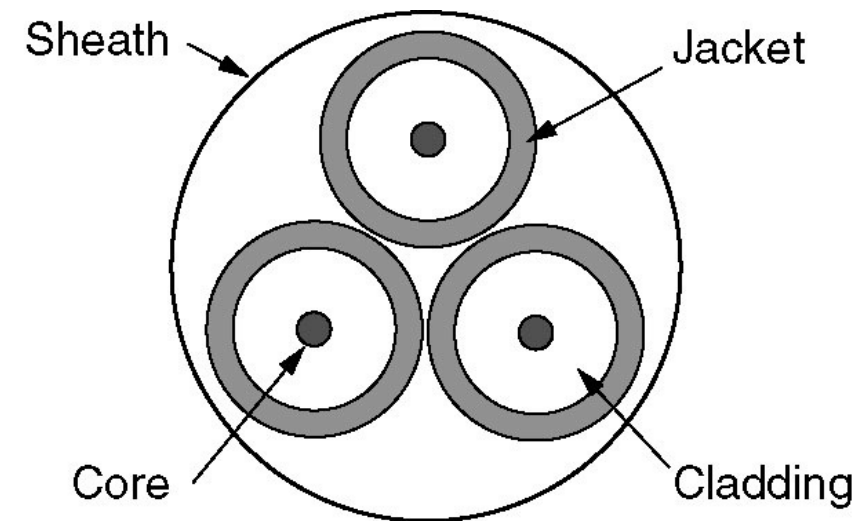
- Dämpfung von Infrarotlicht in Glasfaser



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



(a)



(b)

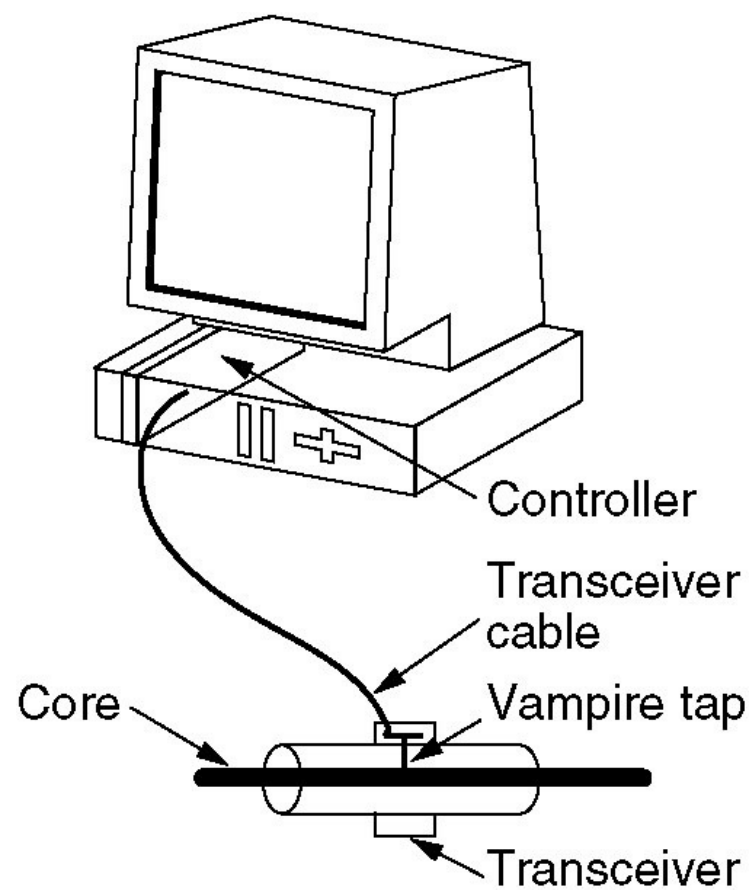
- Beispiel aus der Praxis mit Mediumzugriff:  
Ethernet
  - IEEE Standard 802.3
- Punkte im Standard
  - ↳ Verkabelung
  - ↳ Bitübertragungsschicht
  - ↳ Sicherungsschicht mit Mediumzugriff



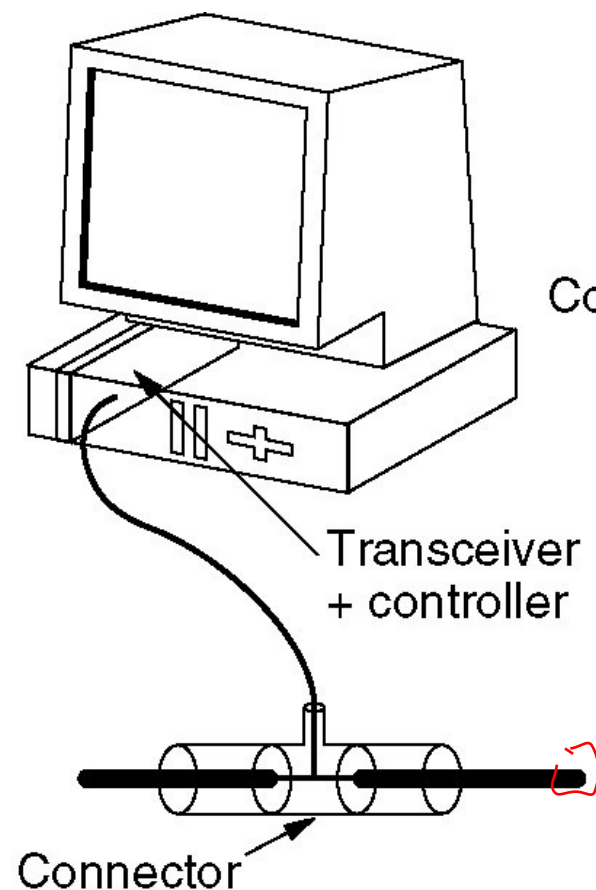
- Mediumabhängig
- Typisch: Manchester encoding
  - mit +/- 0.85 V
- Code-Verletzung zeigt Frame-Grenzen auf

# Ethernet cabling

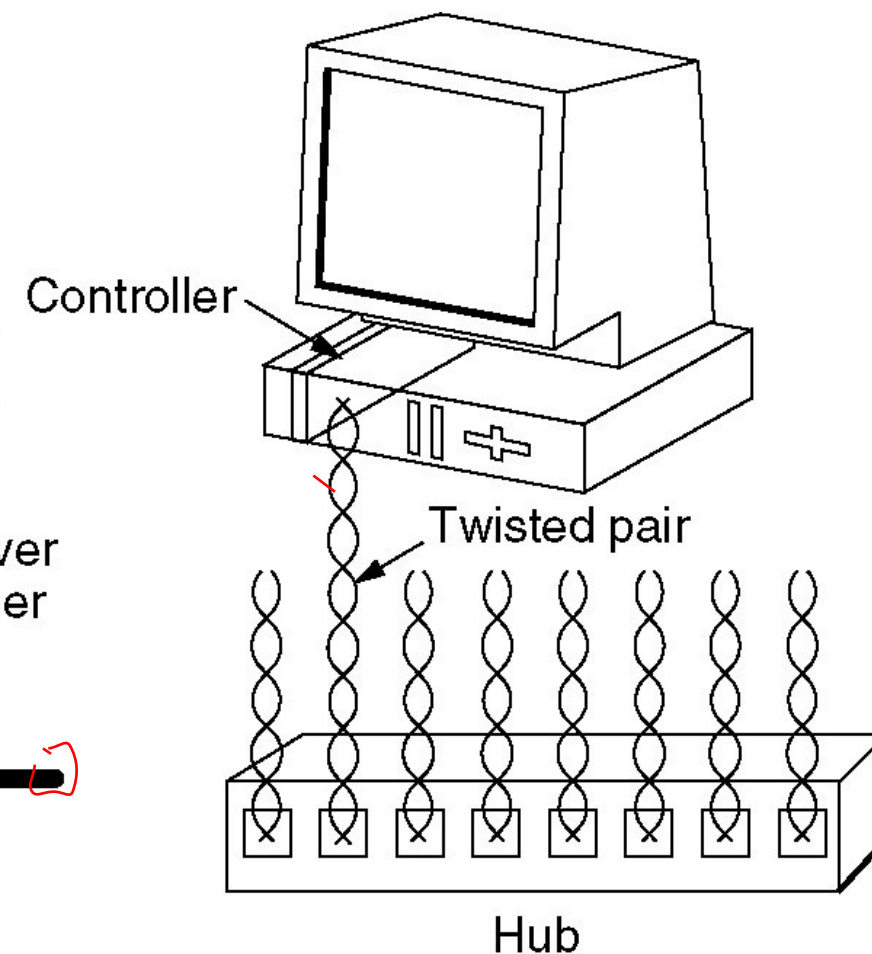
Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings



10Base5

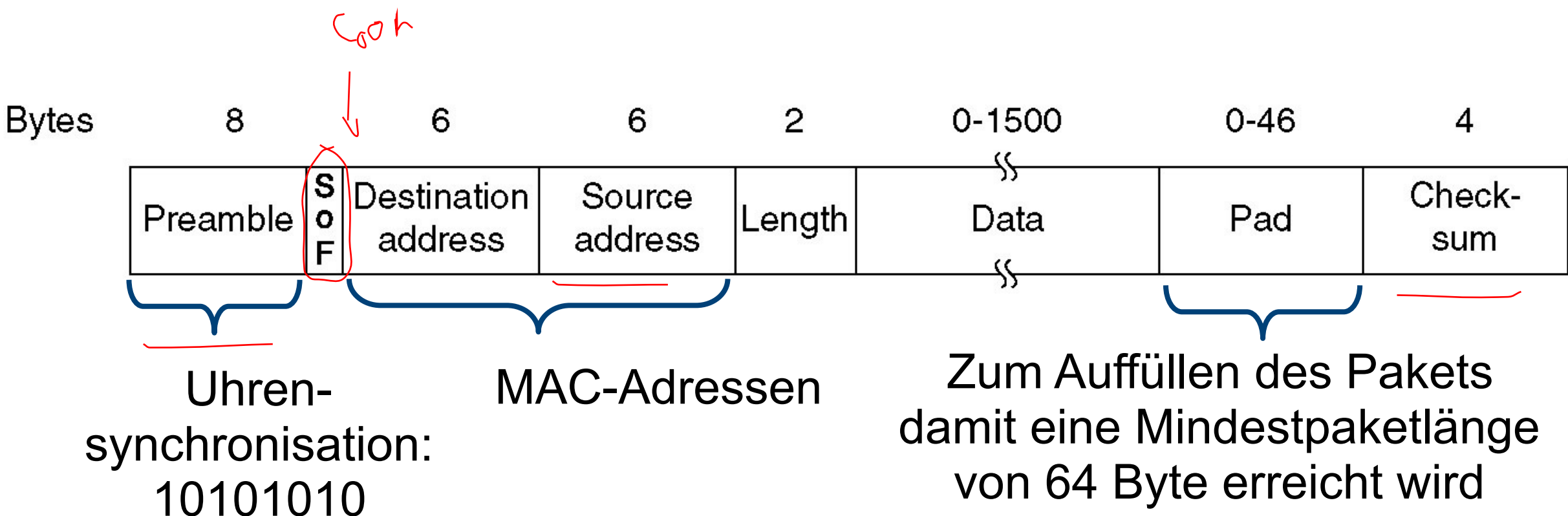


10Base2



10BaseT

- Im wesentlichen: CSMA/CD mit binary exponential backoff
- Frame-Format



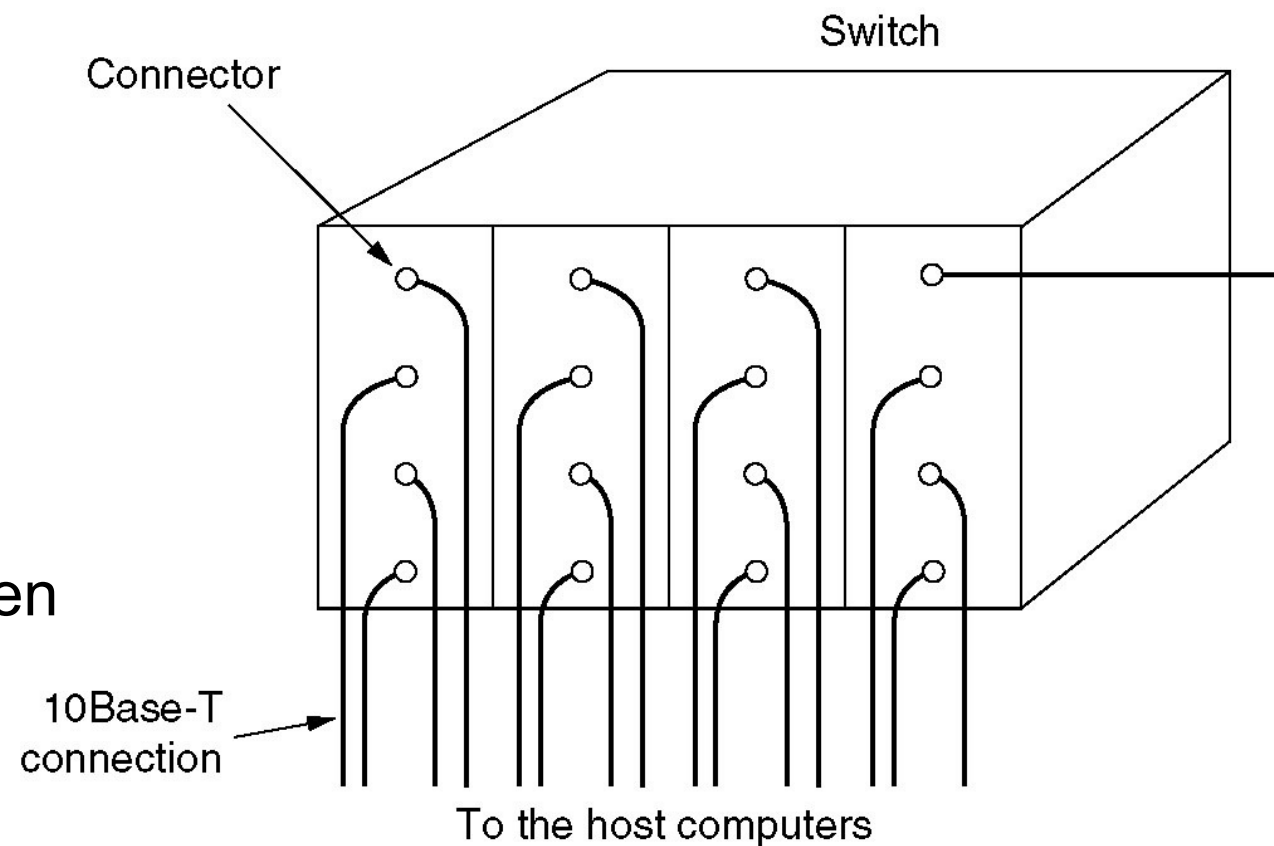
# Switch versus Hub

## ■ Hub

- verknüpft Ethernet-Leitungen nabenförmig
- jede Verbindung hört alles
- Durch CSMA/CD wird die Übertragungsrate reduziert

## ■ Switch

- unterteilt die eingehenden Verbindungen in kleinere Kollisionsteilmengen
- die Prüfsumme eines eingehenden Pakets wird überprüft
- Kollisionen werden nicht weiter gegeben
- interpretiert die Zieladresse und leitet das Paket nur in diese Richtung weiter

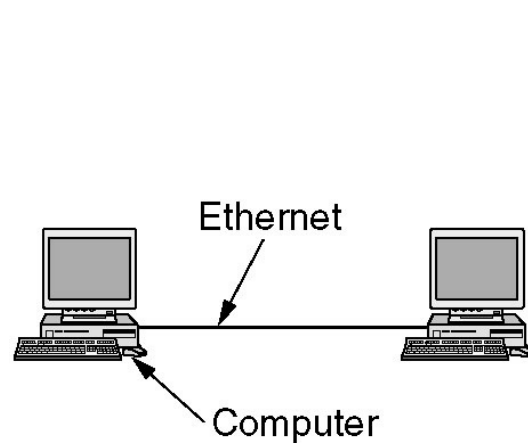


- Ursprünglich erreichte Ethernet 10 MBit/s
- 1992: Fast Ethernet
  - Ziele: Rückwärtskompatibilität
  - Resultat: 802.3u
- Fast Ethernet
  - Frame-Format ist gleichgeblieben
  - Bit-Zeit wurde von 100 ns auf 10 ns reduziert
  - Dadurch verkürzt sich die maximale Kabellänge (und die minimale Paket-Größe steigt).
    - Unvermeidbare Kollisionen CSMA

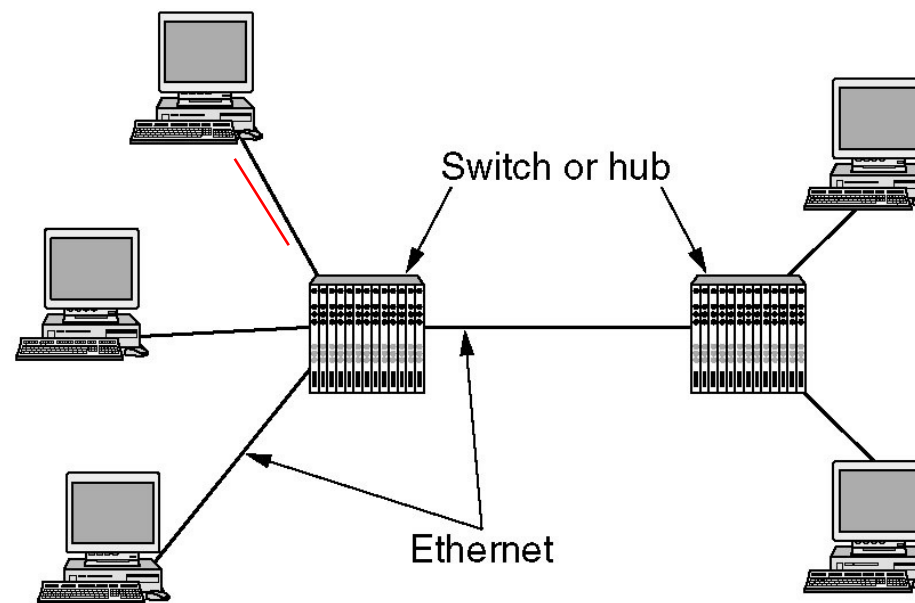
- Standard Cat-3 twisted pair unterstützt nicht 200 MBaud über 100 m
  - Lösung: Verwendung von 2 Kabelpaaren bei reduzierter Baudrate
- Wechseln von Manchester auf 4B/5B-Kodierung auf Cat-5-Kabeln

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	<u>Full duplex</u> at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

- Gigabit-Ethernet: 1995
  - Ziel: Weitgehende Übernahme des Ethernet-Standards
- Ziel wurde erreicht durch Einschränkung auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
  - In Gigabit-Ethernet sind an jedem Kabel genau zwei Maschinen
    - oder zumindestens ein Switch oder Hub



(a)



(b)

- Mit Switch
  - Keine Kollisionen! CSMA/CD unnötig
  - Erlaubt full-duplex für jeden Link
- Mit Hub
  - Kollisionen, nur Halb-Duplex (d.h. abwechselnd Simplex), CSMA/CD
  - Kabellängen auf 25 m reduziert



# Gigabit Ethernet – Cabling

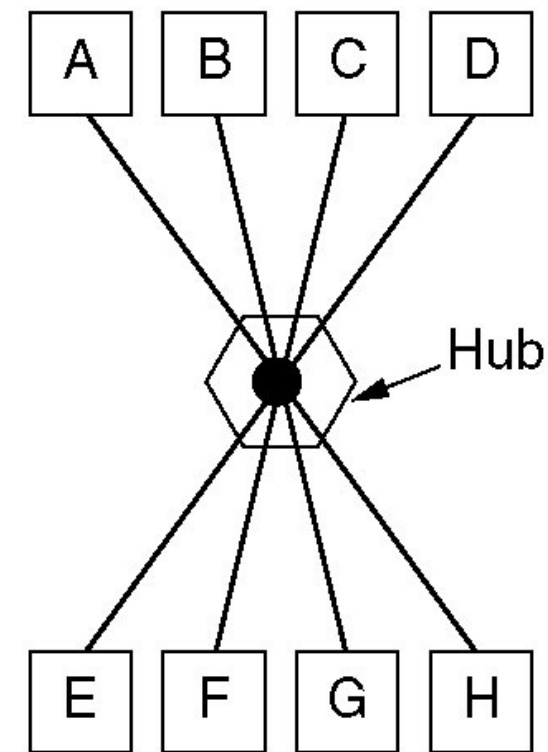
Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 $\mu$ ) or multimode (50, 62.5 $\mu$ )
1000Base-CX	2 Pairs of <u>STP</u>	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

# Verbinden von LANs

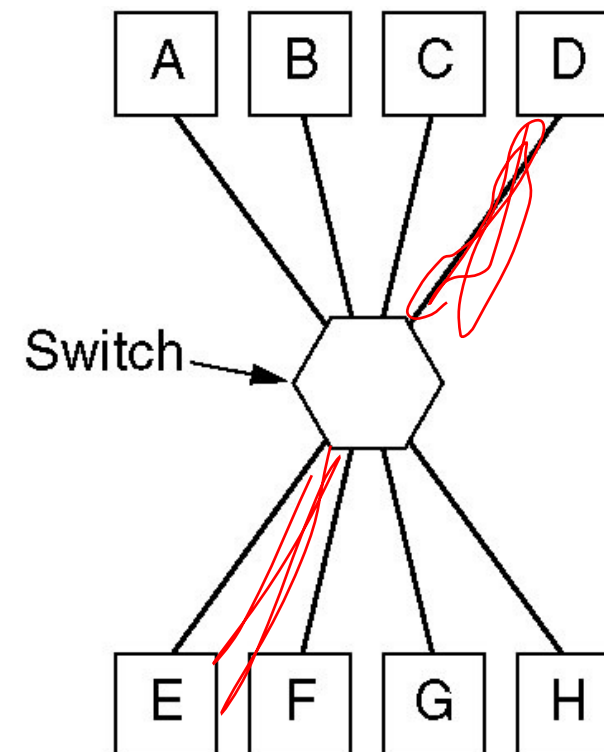
Application layer	Application gateway
<u>Transport layer</u>	Transport gateway
Network layer	<u>Router</u>
Data link layer	<u>Bridge</u> , <u>switch</u>
Physical layer	<u>Repeater</u> , <u>hub</u>

- Signalregenerator
  - Empfängt Signal und bereitet es auf
  - Nur das elektrische und optische Singal wird aufbereitet
  - Information bleibt unbeeinflusst
- Bitübertragungsschicht
- Repeater teilen das Netz in physische Segmente
  - logische Topologien bleiben erhalten

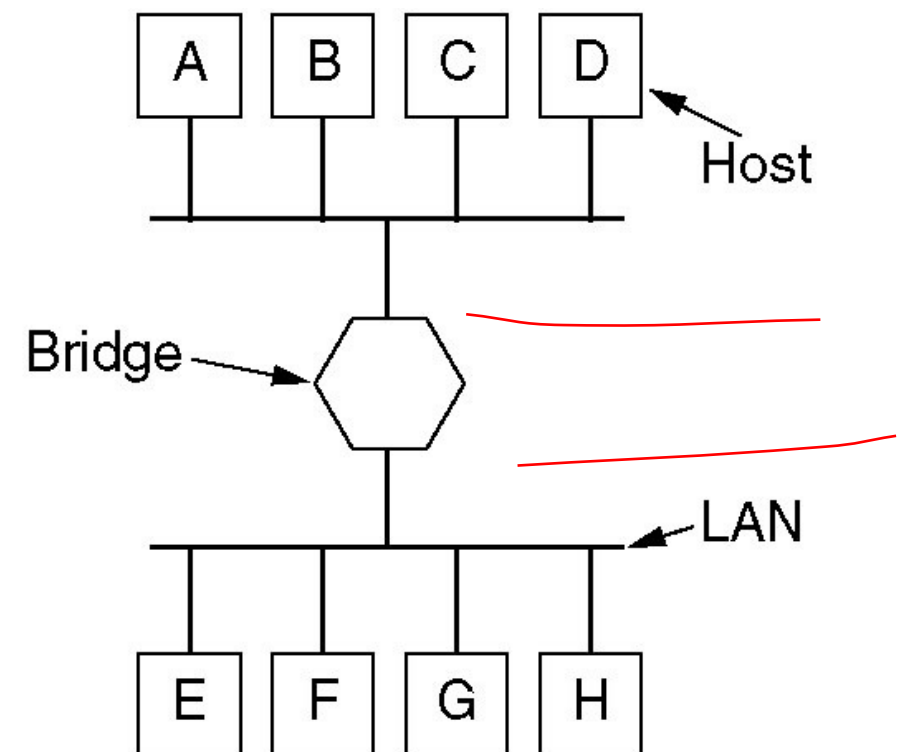
- Verbindet sternförmig Netzsegmente
  - im Prinzip wie ein Repeater
  - Signale werden auf alle angebundenen Leitungen verteilt
- Bitübertragungsschicht
  - Information und Logik der Daten bleibt unberücksichtigt
  - Insbesondere für Kollisionen



- Verbindet sternförmig Netzsegmente
  - Leitet die Daten nur in die betreffende Verbindung weiter
  - Gibt keine Kollisionen weiter
- Sicherungsschicht
  - Signale werden neu erzeugt
  - Kollisionen abgeschirmt und reduziert
  - Frames aber nicht verwendet
  - Rudimentäre Routingtabelle durch Beobachtung, wo Nachrichten herkommen



- Verbindet zwei lokale Netzwerke
  - im Gegensatz zum Switch (dort nur Terminals)
  - trennt Kollisionen
- Sicherungsschicht
  - Weitergabe an die andere Seite, falls die Ziel-Adresse aus dem anderen Netzwerk bekannt ist oder auf beiden Seiten noch nicht gehört wurde
  - Nur korrekte Frames werden weitergereicht
  - Übergang zwischen Bridge und Switch ist fließend



# Beispiel: 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

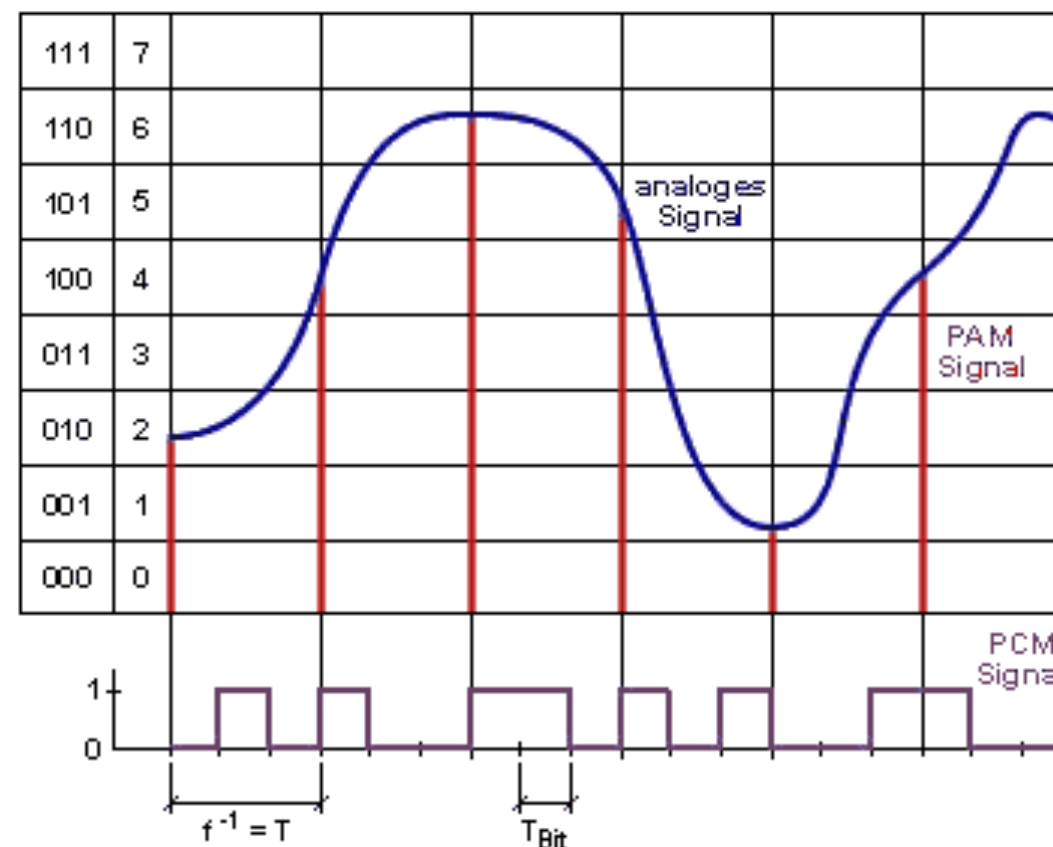


Abb. aus <http://de.wikipedia.org/wiki/Puls-Code-Modulation>

# Beispiel DSL

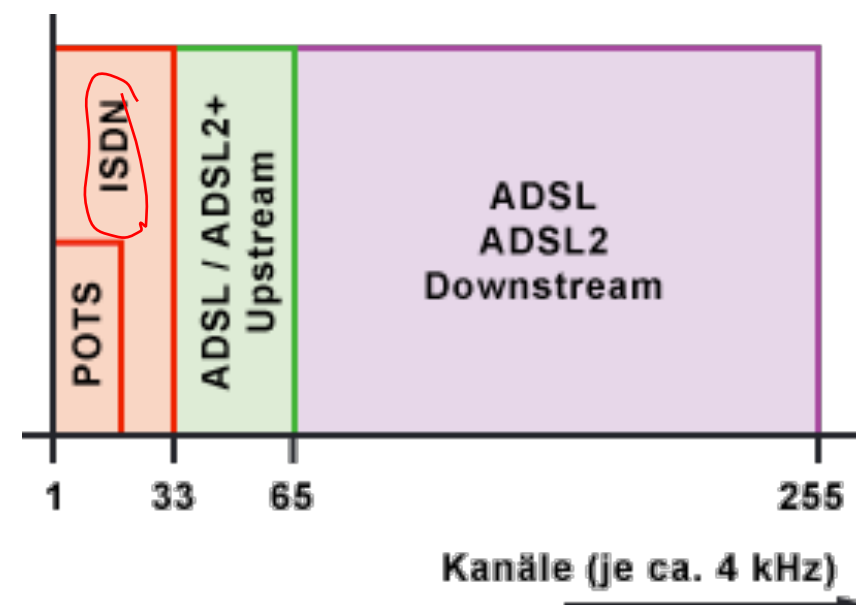
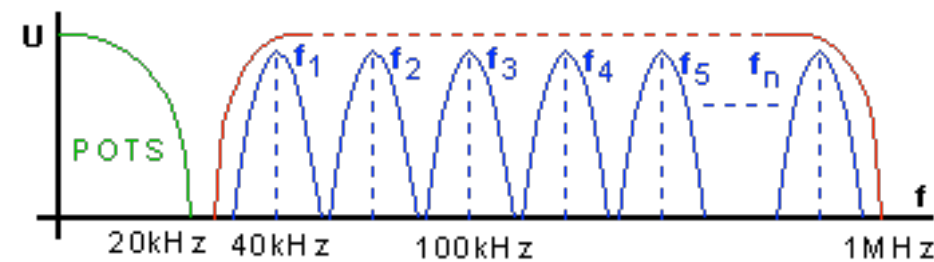
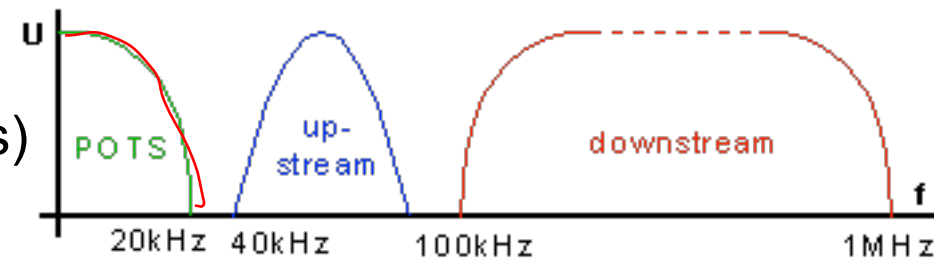
- Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)
  - momentan der Standard zur Anbindung von Endverbrauchern zu ISP (Internet Service Providers)
  - verwendet herkömmliche Kupferkabel

- Übertragungsverfahren:

- Carrierless 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:

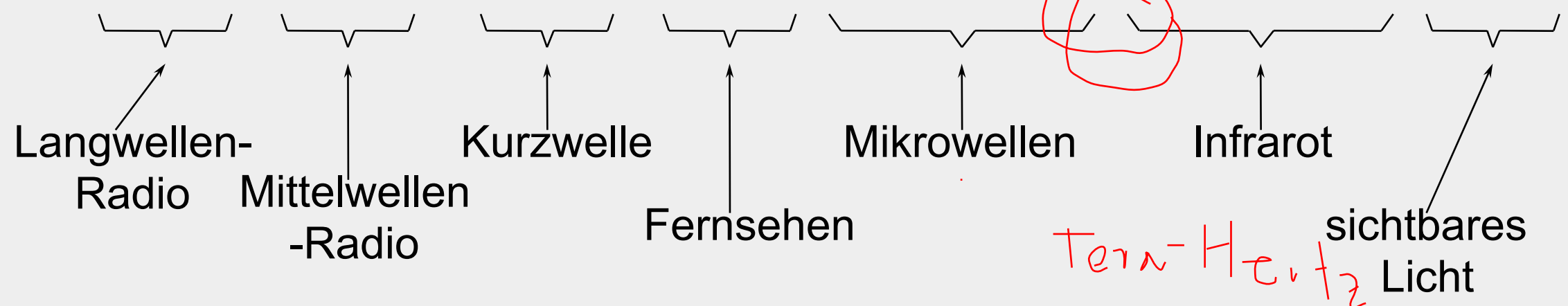
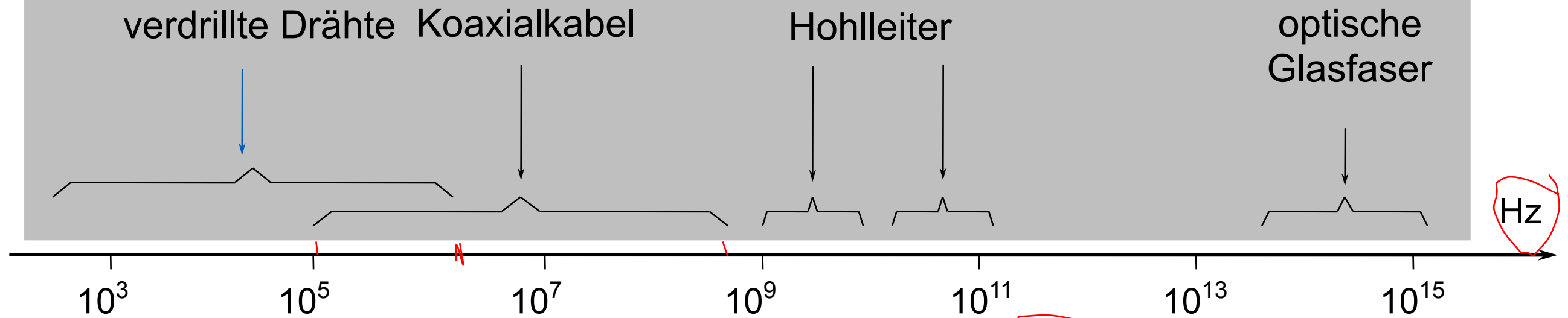
- POTS/ISDN (public switched telephone network/ Integrated Services Digital Network)
  - bleibt im Frequenzbereich 1-20 kHz von ADSL unberührt
- Upstream
  - 32 Trägerkanäle für Verbindung zum ISP
- Downstream
  - 190 Trägerkanäle für Verbindung vom ISP





# Das elektromagnetische Spektrum

## leitungsggebundene Übertragungstechniken



## nicht-leitungsggebundene Übertragungstechniken

# Frequenzbereiche

- LF Low Frequency =

- LW Langwelle

- MF Medium Frequency =

- MW Mittelwelle

- HF High Frequency =

- KW Kurzwelle

- VHF Very High Frequency =

- UKW Ultrakurzwelle

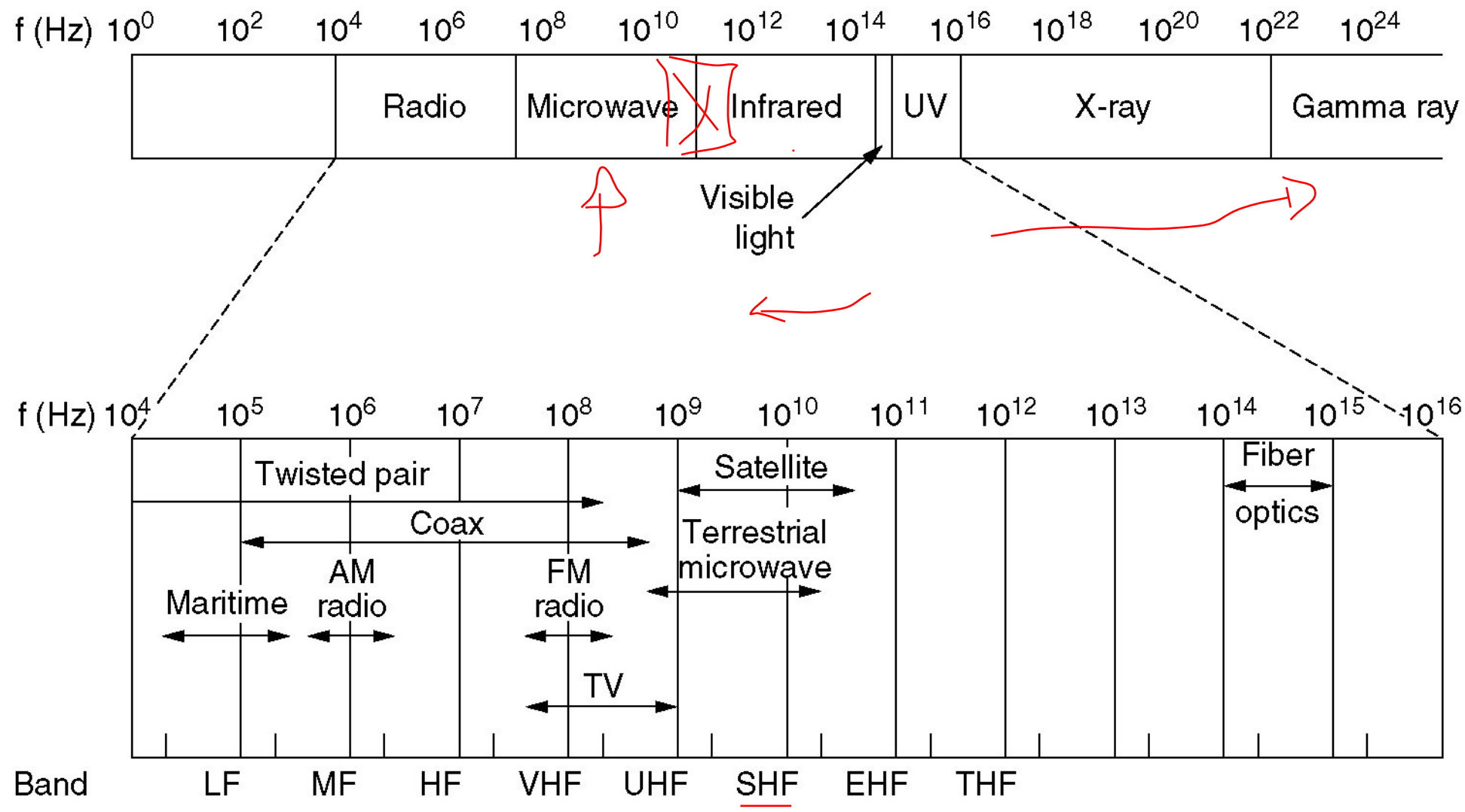
- UHF Ultra High Frequency

- SHF Super High Frequency

- EHF Extra High Frequency

- UV Ultraviolettes Licht

- X-ray Röntgenstrahlung



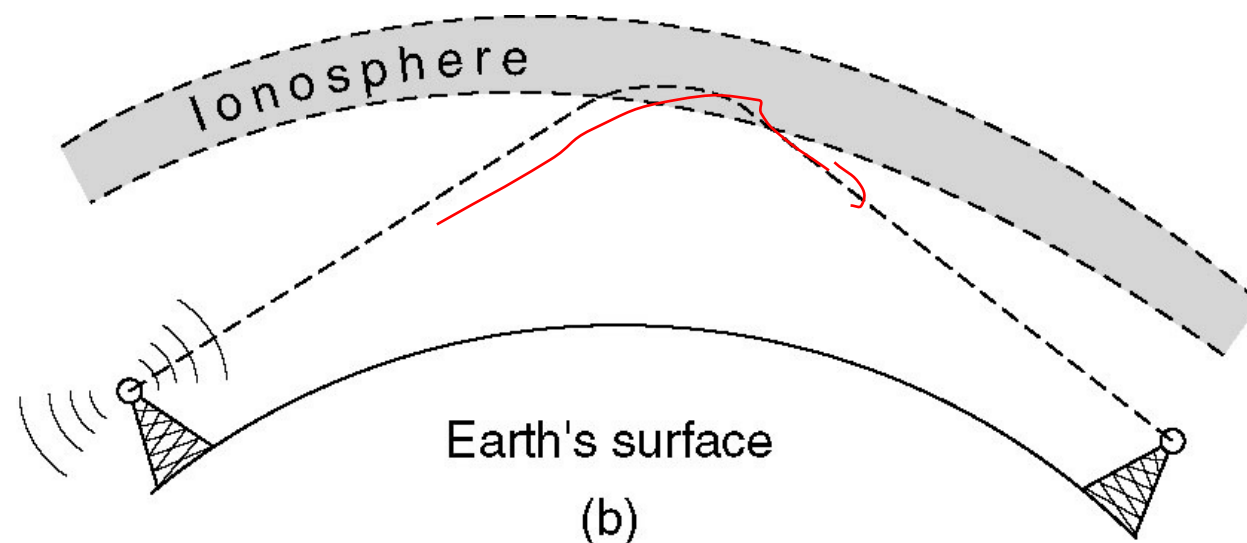
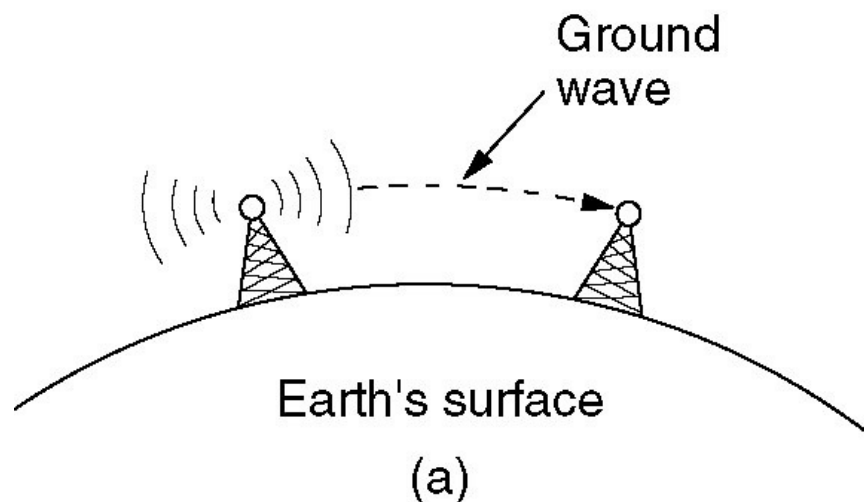


- VHF/UHF für Mobilfunk
  - Antennenlänge
- SHF für Richtfunkstrecken, Satellitenkommunikation
- Drahtloses (Wireless) LAN: UHF bis SHF
  - Geplant: EHF
- Sichtbares Licht
  - Kommunikation durch Laser
- Infrarot
  - Fernsteuerungen
  - Lokales LAN in geschlossenen Räumen

- 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

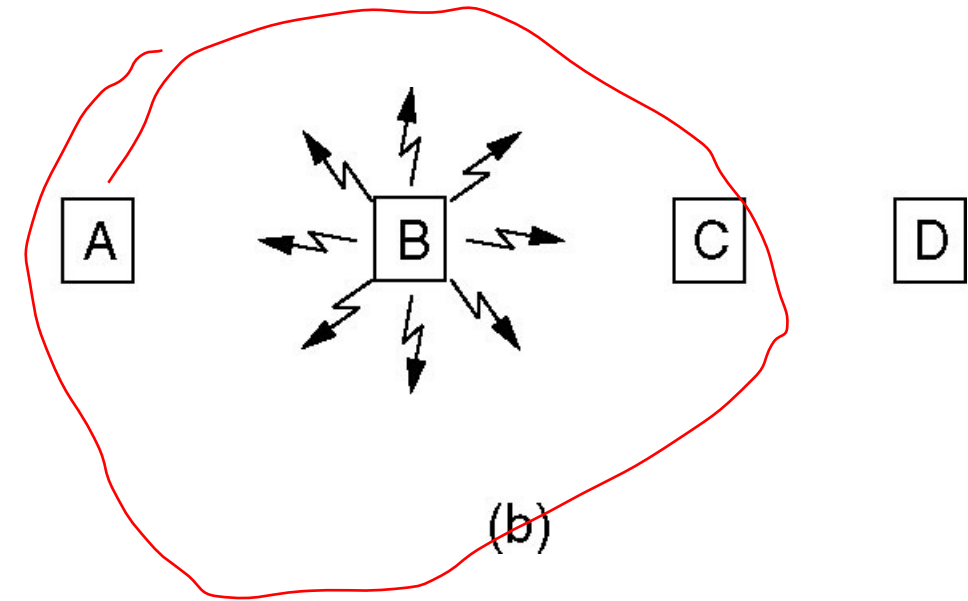
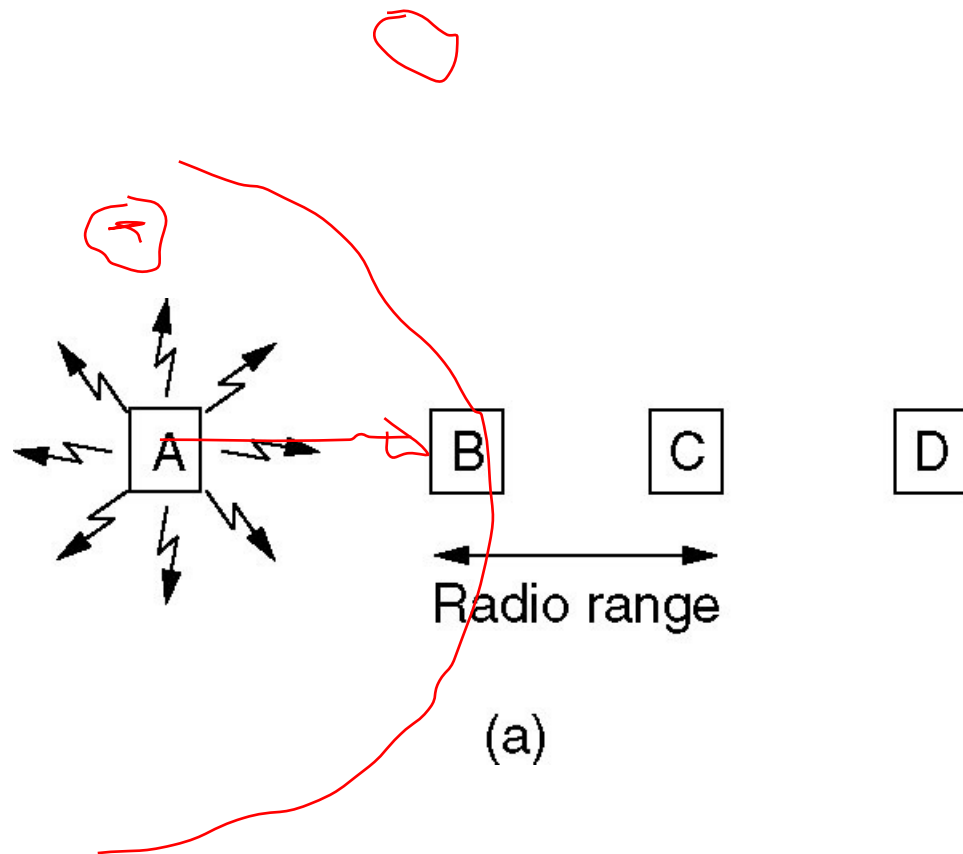
# Ausbreitungsverhalten (II)

- 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



- 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

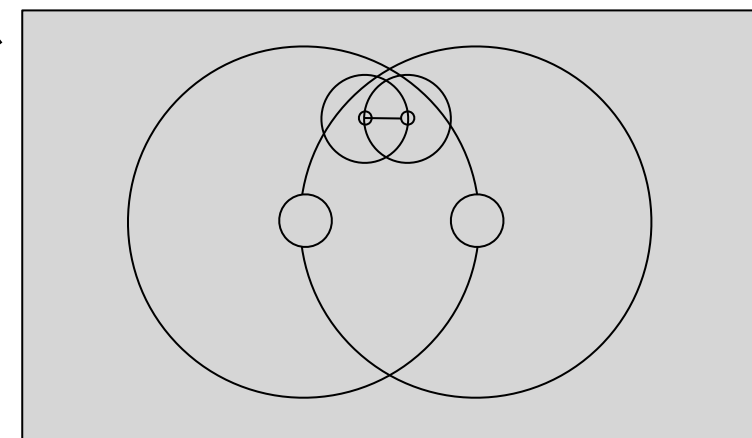
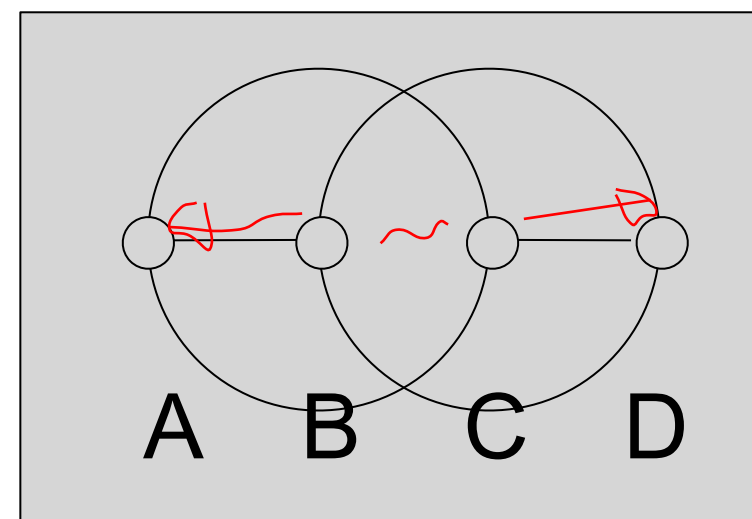
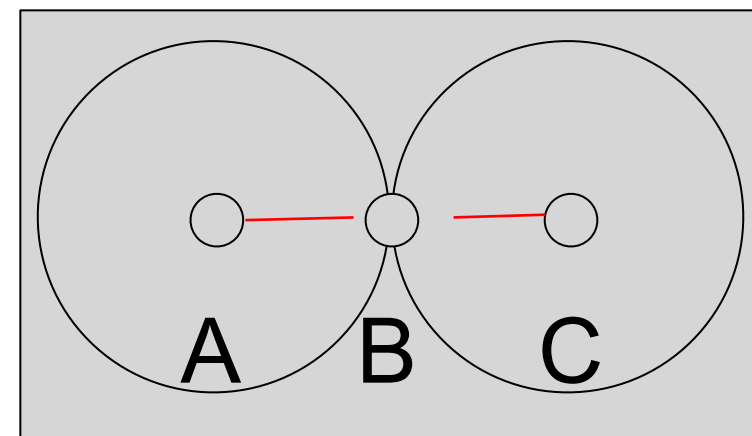




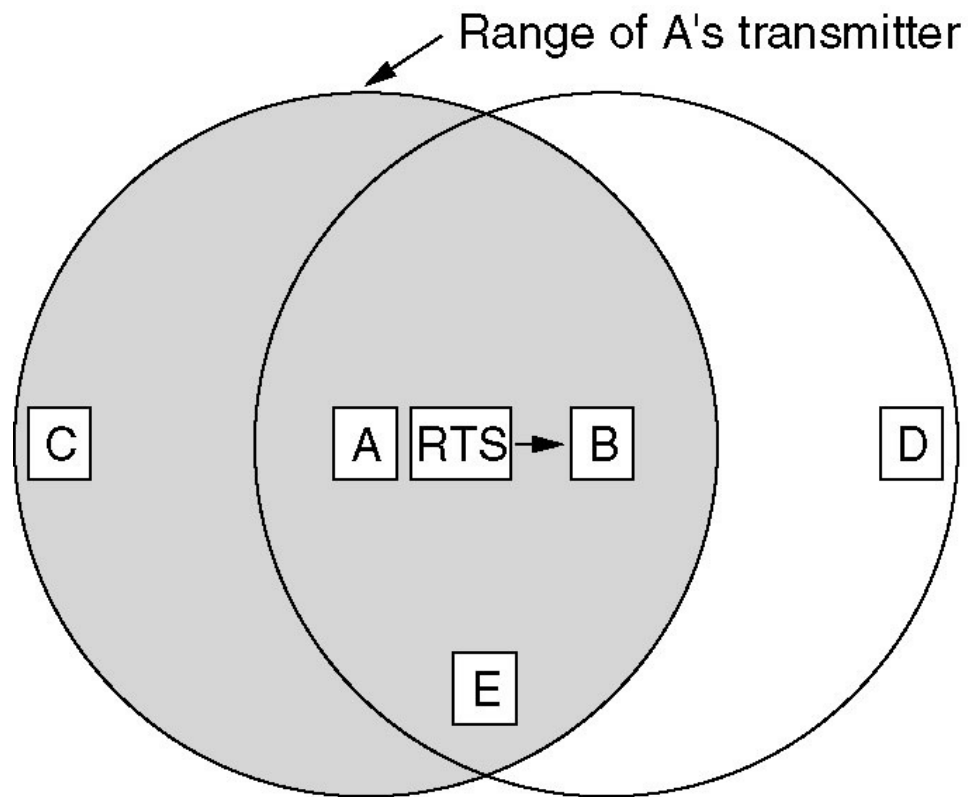


## ■ Interferenzen

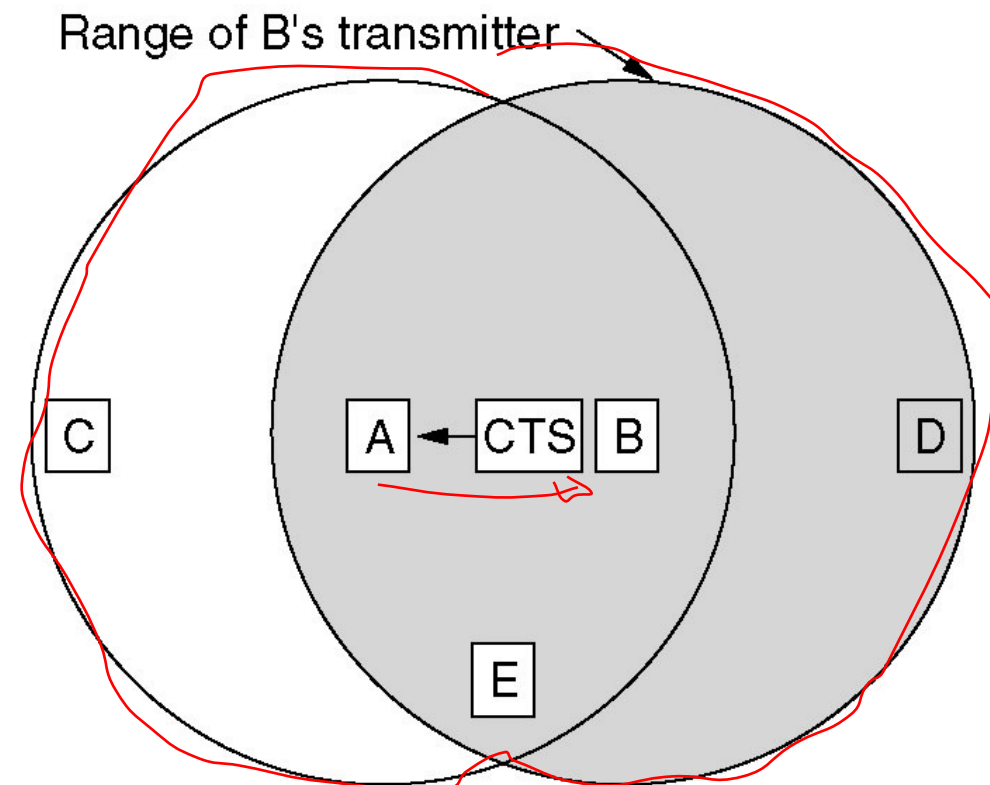
- Hidden Terminal Problem
- Exposed Terminal Problem
- Asymmetrie (var. Reichweite)



# Multiple Access with Collision Avoidance



(a)



(b)

- (a) A sendet Request to Send (RTS) an B.
- (b) B antwortet mit Clear to Send (CTS) an A.