

Netzwerktechnologien

Grundlagen

1. Nachrichtentechnische Grundlagen
 - 1.1 Codierung & Abtastung
 - 1.2 Signale & Übertragung
 - 1.3 Medien: Verkabelung
 - 1.4 Multiplexing
2. Medium Access Layer (MAC)
 - 2.1 Organisation des Zugriffs
 - 2.2 Medienzugriffsverfahren
 - 2.3 MAC-Protokolle
 - 2.4 Aktive Netzwerkkomponenten



Zum Inhalt

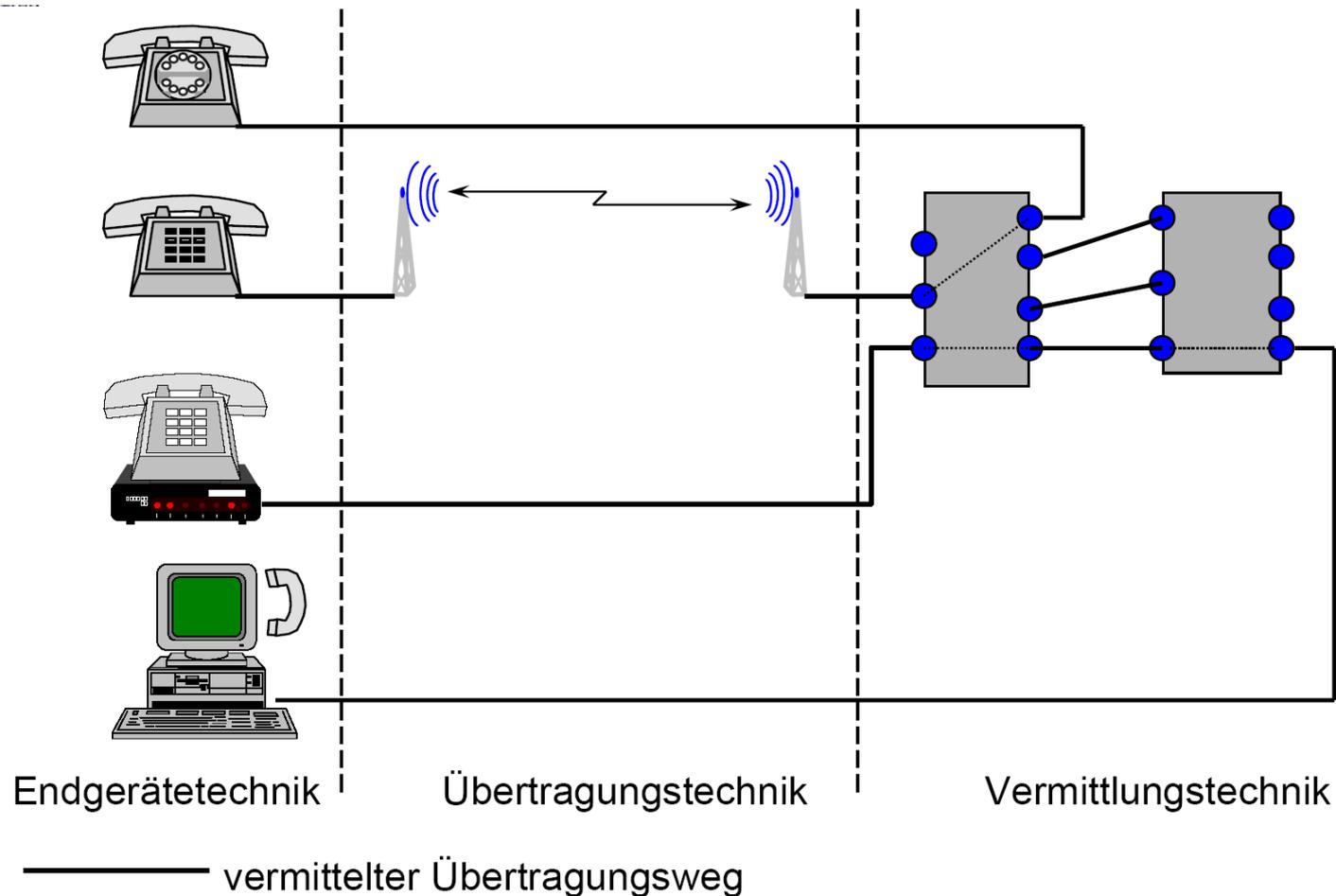
In diesem Kapitel wollen wir einen Überblick gewinnen, der bei der Idee einer Nachrichtenübertragung beginnt und bei den gängigen LAN-Protokollen endet.

Dazwischen liegen die Fragen nach der Übermittlung in Kabeln (welchen?), dem (geteilten) Zugriff auf ein Übertragungsmedium und wie sich Teilnehmer dabei abstimmen, schließlich den gängigen Protokollen (wie Ethernet) und ihren Vermittlungskomponenten.

Die zugehörigen Kapitel im Tanenbaum sind 2 (für den ersten Teil) sowie 3 und 4 (für den zweiten Teil)

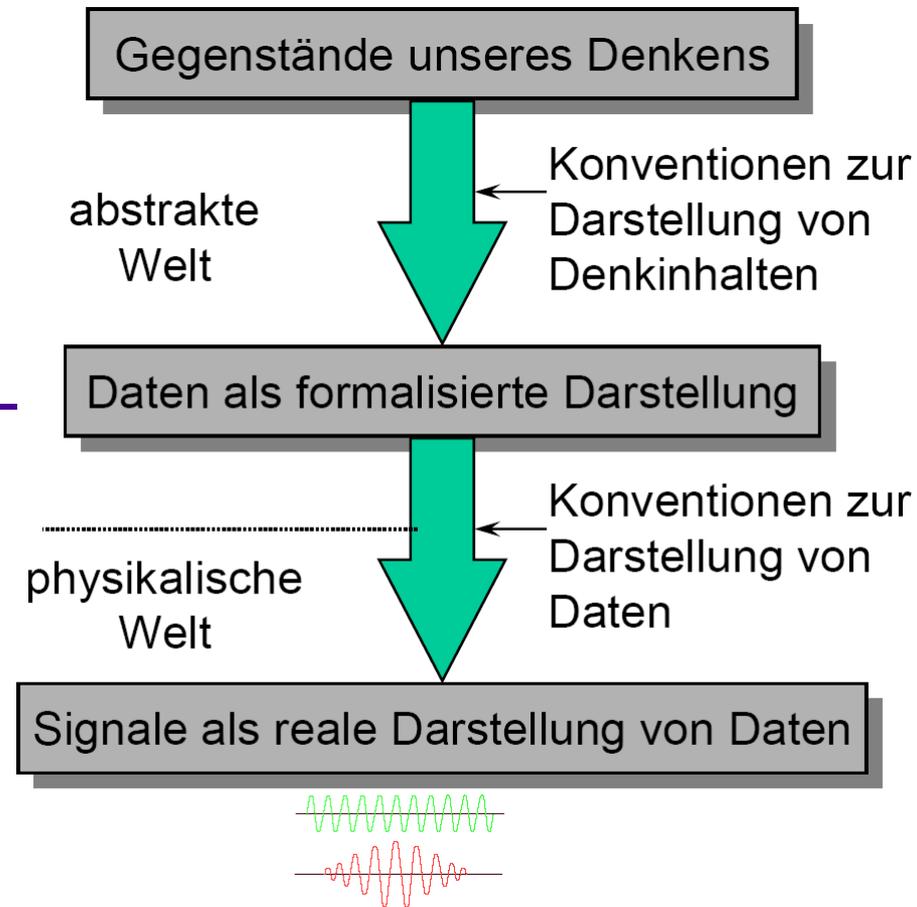


1 Klassisches Modell der Kommunikationstechnologie

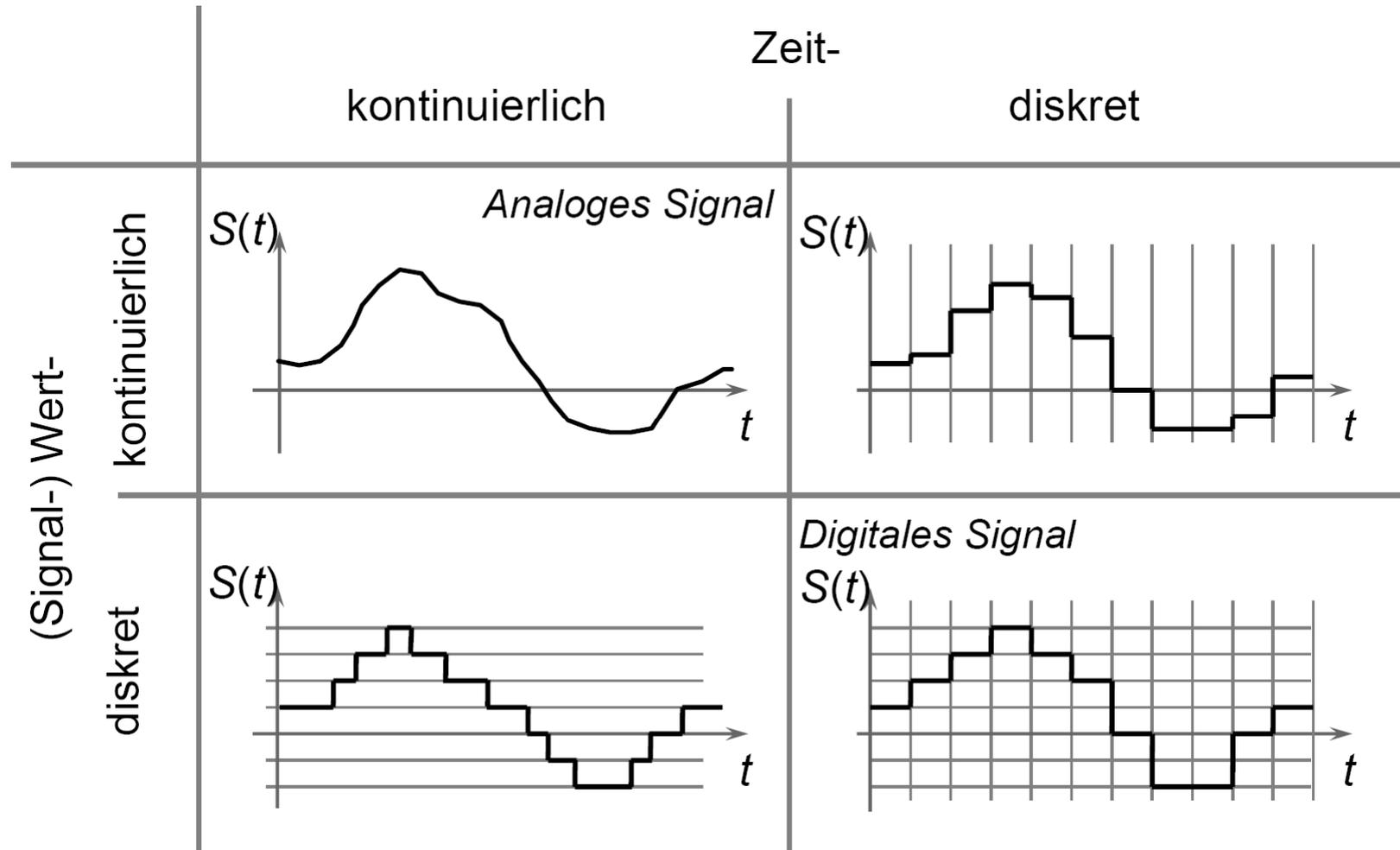


1.1 Datenübertragung durch Signale

- Signale sind physikalische Repräsentation von Daten
- Signale können zeit- und ortsabhängig sein
- Gegenstand der Nachrichtentechnik: Originalgetreuer Transport der Signale von der Quelle zum Empfänger
- Nachrichtentechnik bildet Grundlage für Rechnernetze



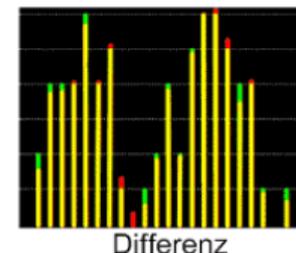
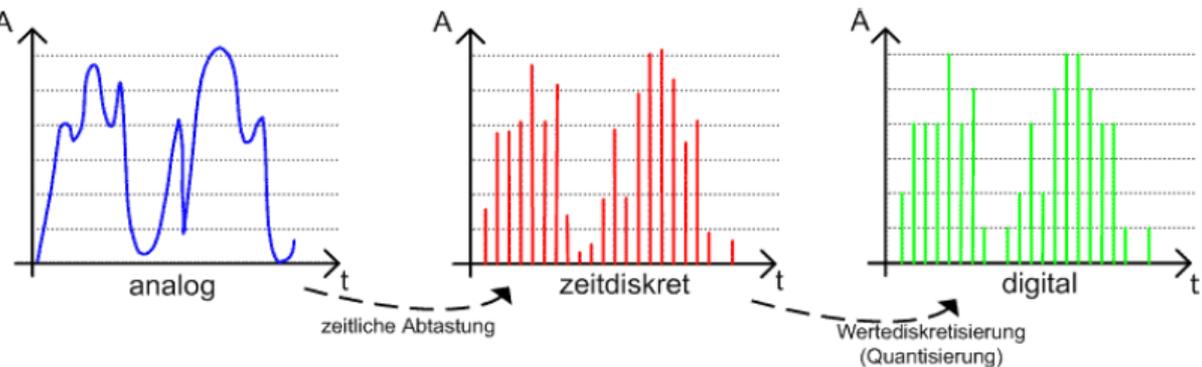
1.1 Signalklassen



1.1 Codierung – Quantisierung - Abtastung

Die Übertragung eines analogen Signals über einen digitalen Kanal erfordert folgende Schritte der Signalwandlung:

- ▶ Abtastung: Diskretisierung in der Zeit
- ▶ Quantisierung: Diskretisierung im Wertebereich
- ▶ Codierung: (ggf. komprimierte) Binärdarstellung der quantisierten Werte



1.1 Abtasttheorem

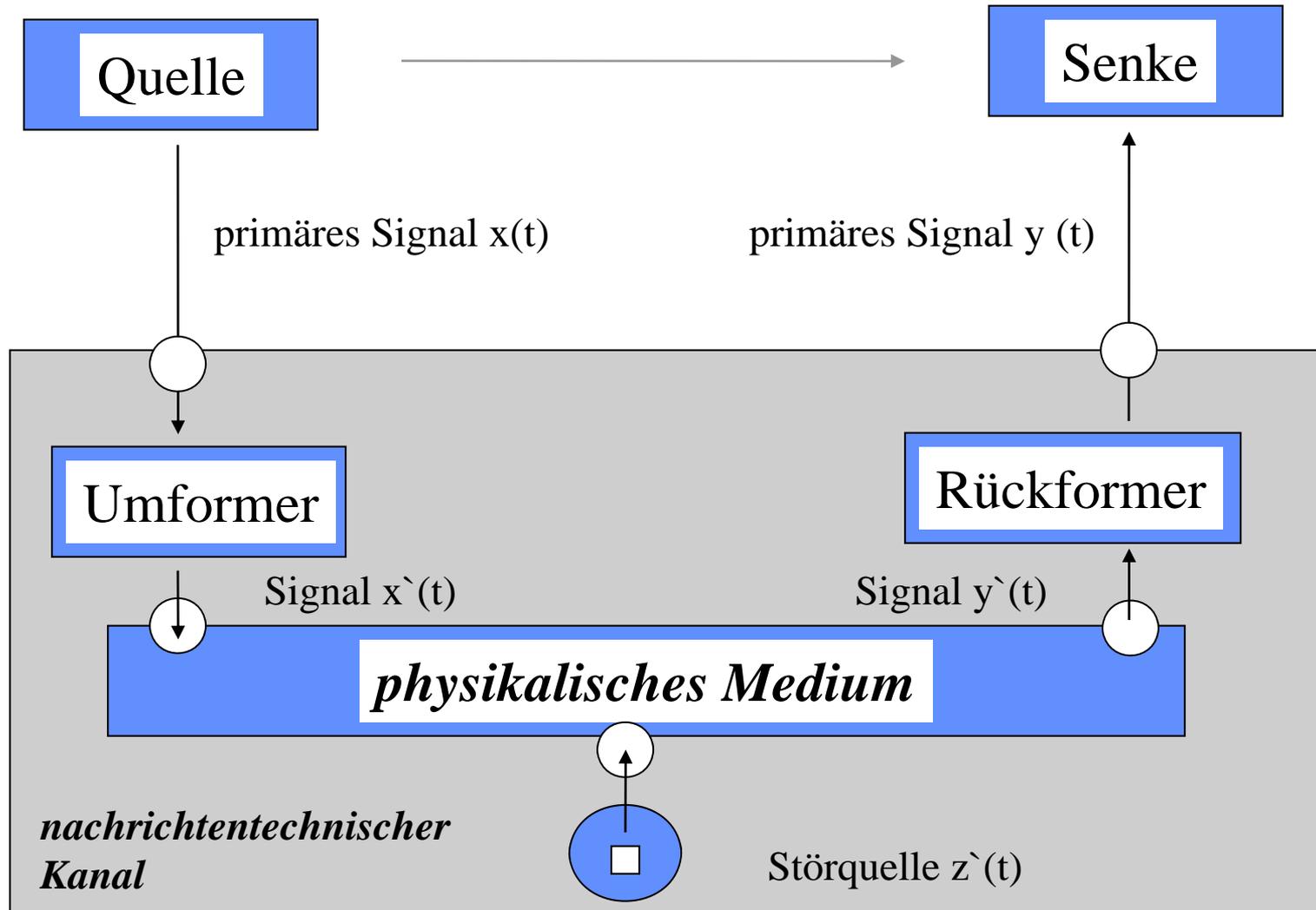
Shannon und Raabe (1939):

Theorem: Eine Signalfunktion, die nur Frequenzen im Frequenzband B enthält, wobei B gleichzeitig die höchste Signalfrequenz ist, wird durch ihre diskreten Amplitudenwerte im Zeitabstand $t = 1/(2 \cdot B)$ vollständig bestimmt.

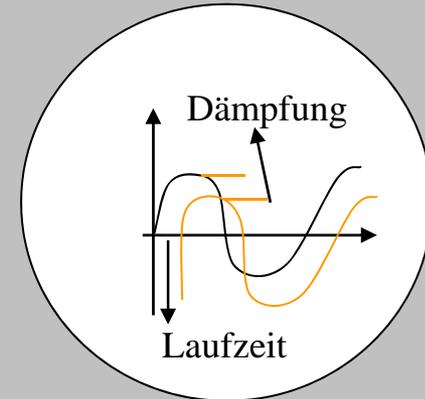
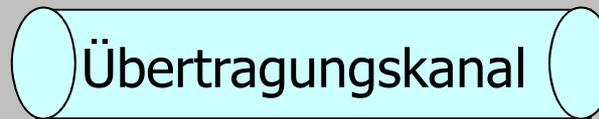
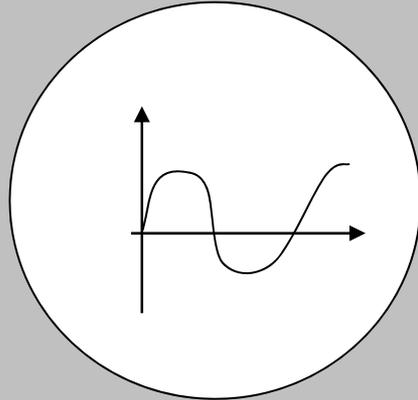
Anders ausgedrückt: Die Abtastfrequenz muss mindestens doppelt so hoch sein wie die höchste vorkommende Signalfrequenz.



1.2 Signalübertragung: Modell



1.2 Signalübertragung: Kanaleinfluss



Signalveränderungen durch

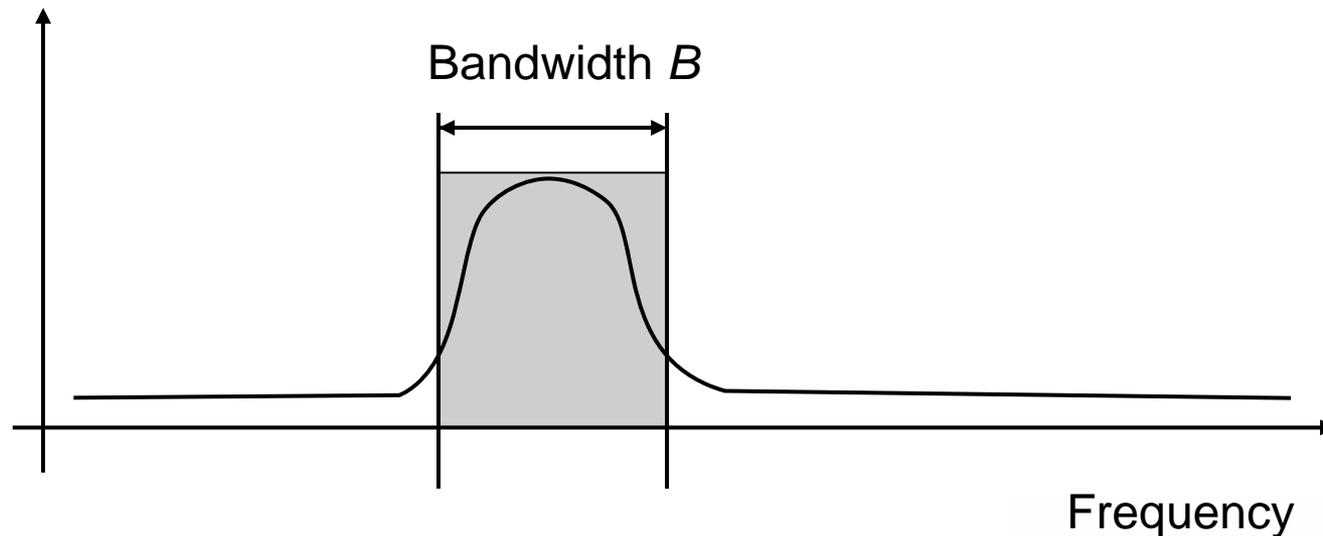
- Kanaleinflüsse (Dämpfung, Reflektion, Nebensprechen)
- Signalausbreitung (Laufzeitunterschiede, Dispersion)



1.2 Bandbreite eines Kanals

- ▶ Signale füllen einen Anteil des verfügbaren Kanalspektrums
- ▶ Der zur Verfügung stehende Anteil am Kanalspektrum bestimmt die Menge der übertragbaren Daten und heißt Bandbreite

Spectral Density



1.2 Übertragungstheoreme

1924 H. Nyquist - Maximale Datenrate für einen rauschfreien Kanal:

$$\max DR = 2 B \log_2 n \text{ bit/s}$$

mit B: Kanalbandbreite
n: diskrete Kanalstufen

Bsp: Kanal mit 3 kHz
binäres Signal

→ max. Datenrate: 6.000 bit/s

1948 C. Shannon – Erweiterung auf Kanal mit zufälligem Rauschen:

$$\max DR = B \log_2 (1 + S/N) \text{ bit/s}$$

mit B: Kanalbandbreite
S/N: Signal-Rauschverh.

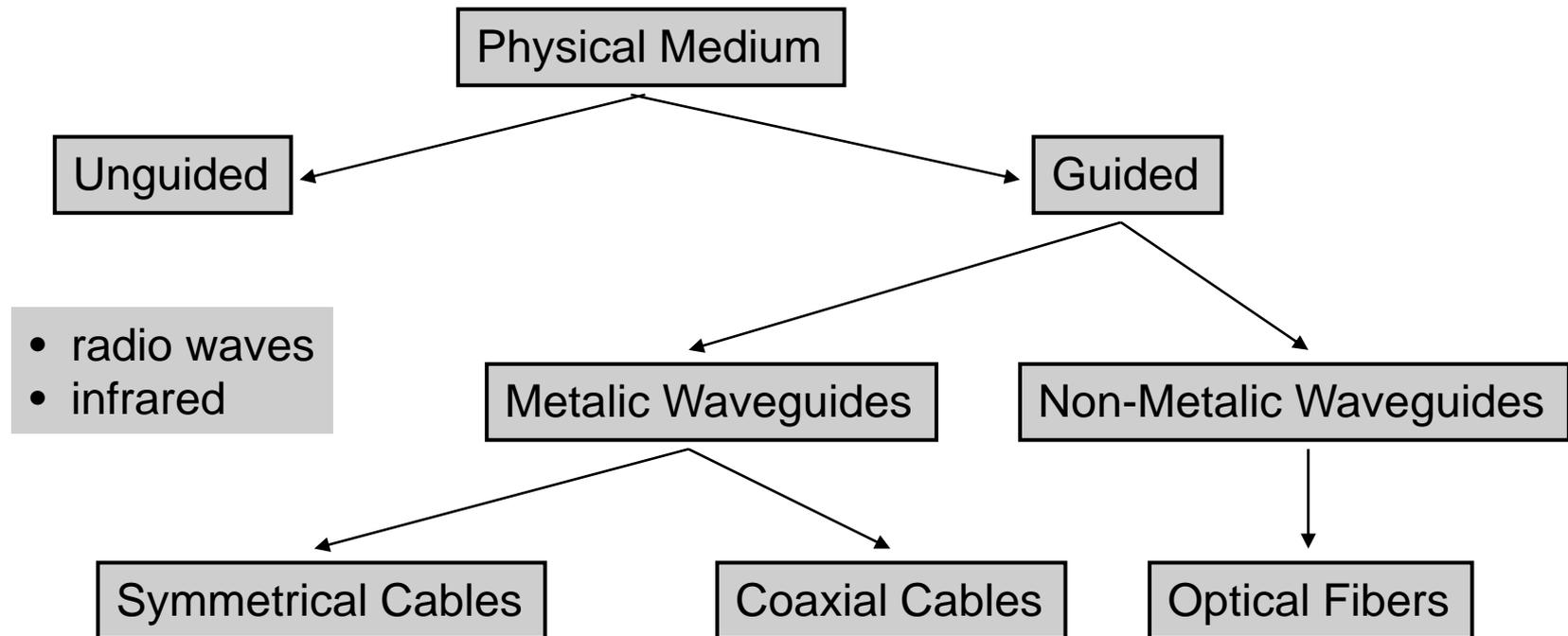
Bsp: Kanal mit 3 kHz
Signal-Rauschverh. von 30 dB

→ max. Übertragungsrate: 30 kbit/s

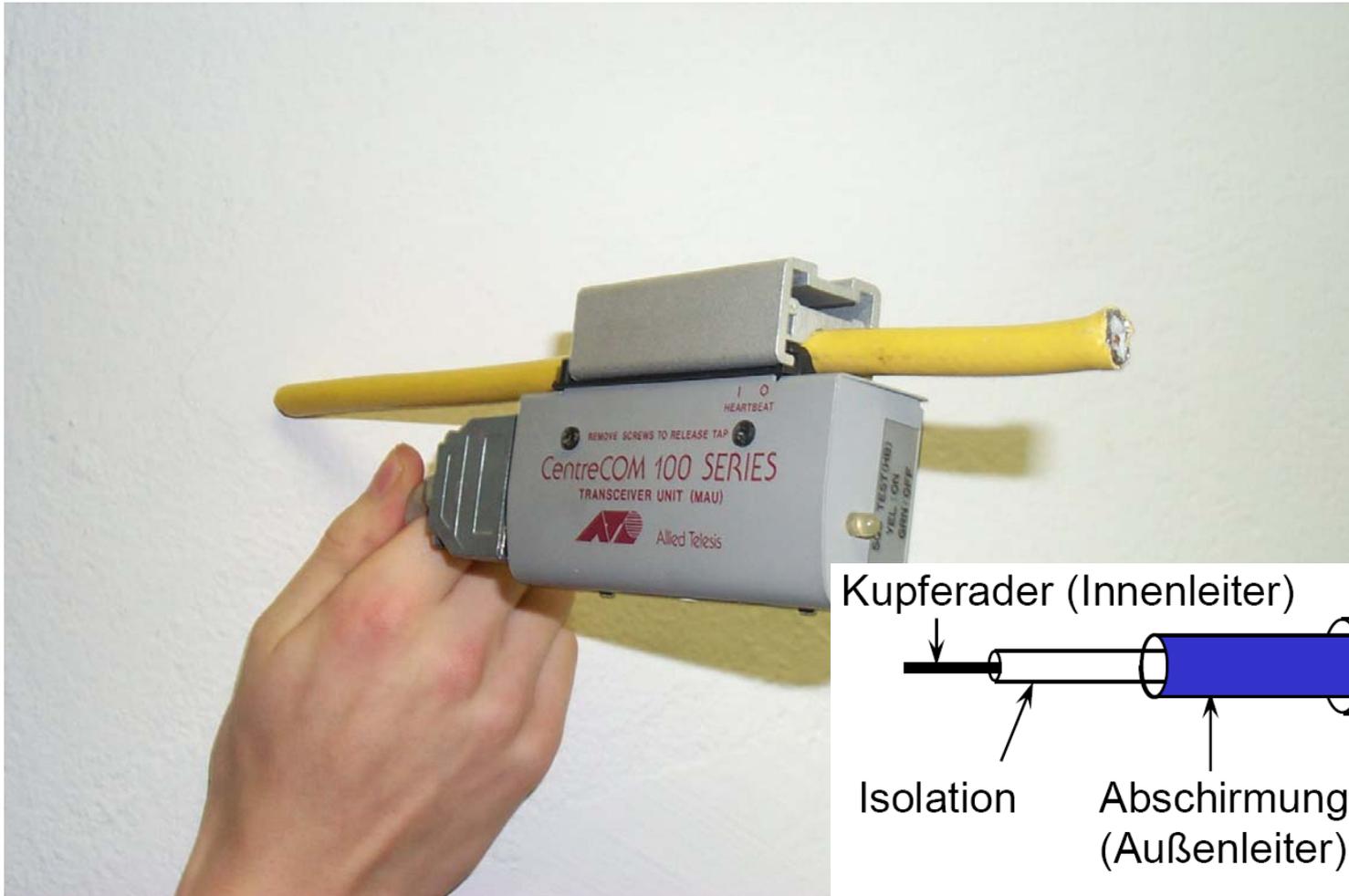
Für die aktuelle Kanalberechnung muss stets das Minimum der beiden Ergebnisse genommen werden!

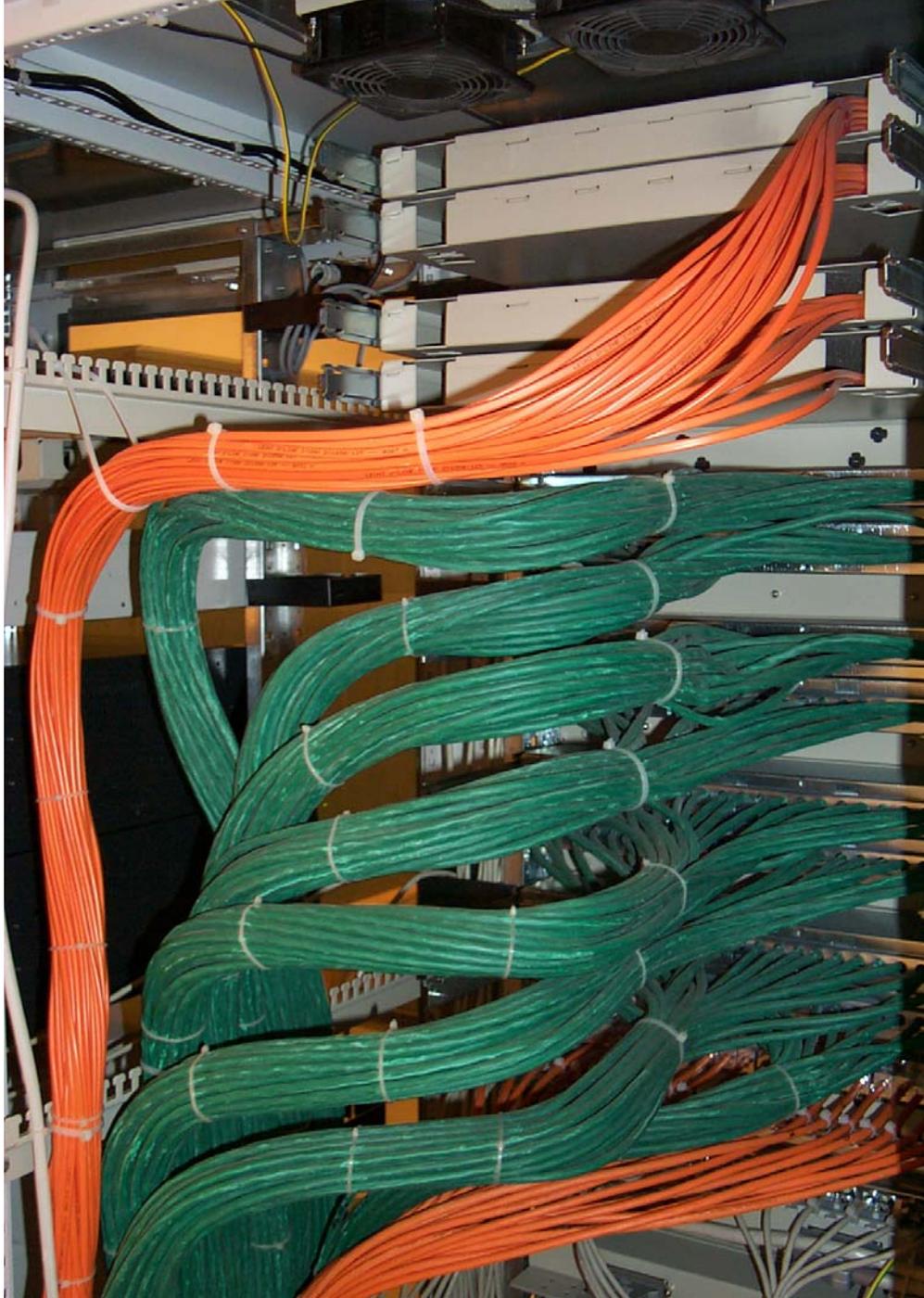


1.3 Medienübertragung



1.3 Verkabelung: Früher Coax

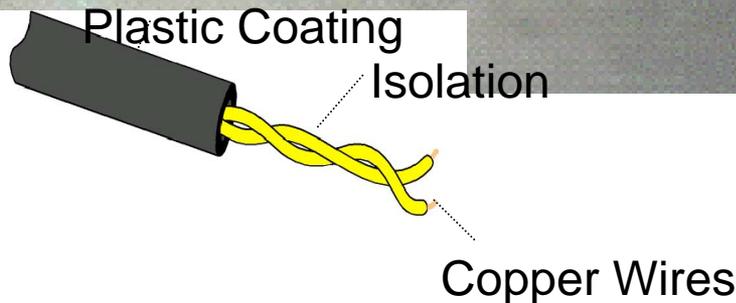
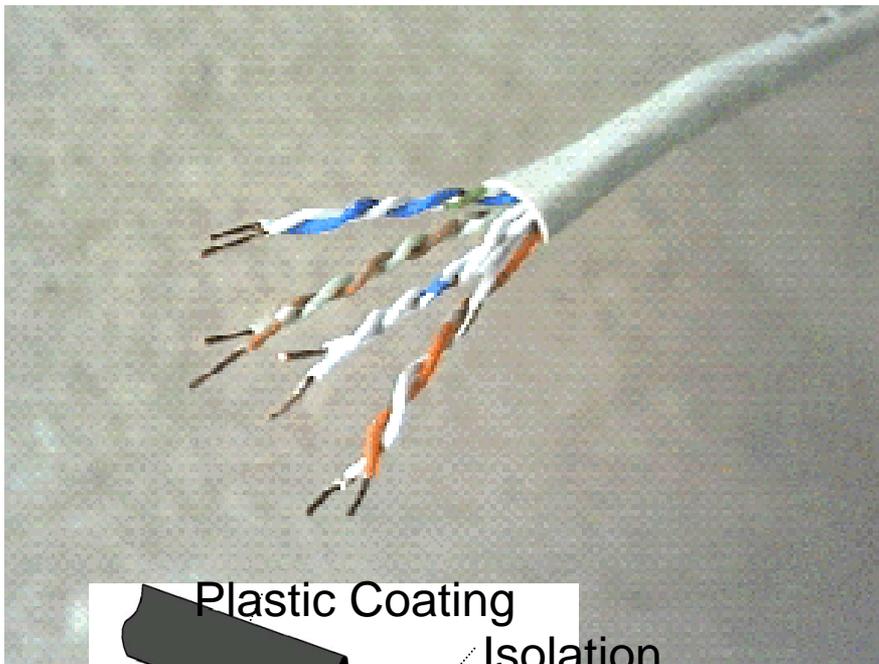




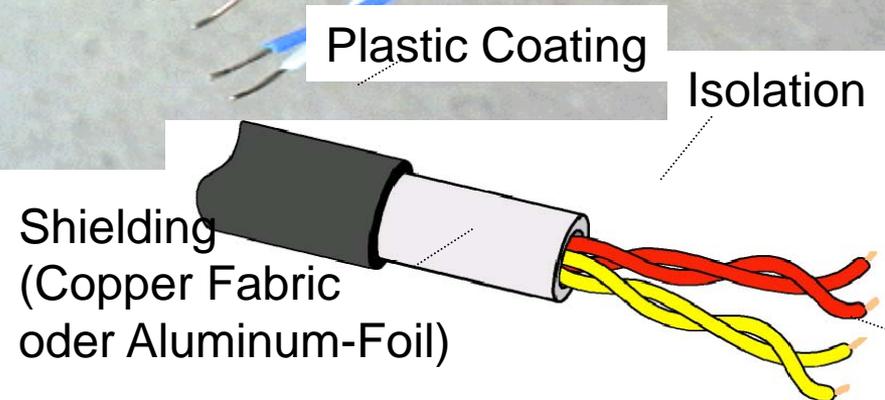
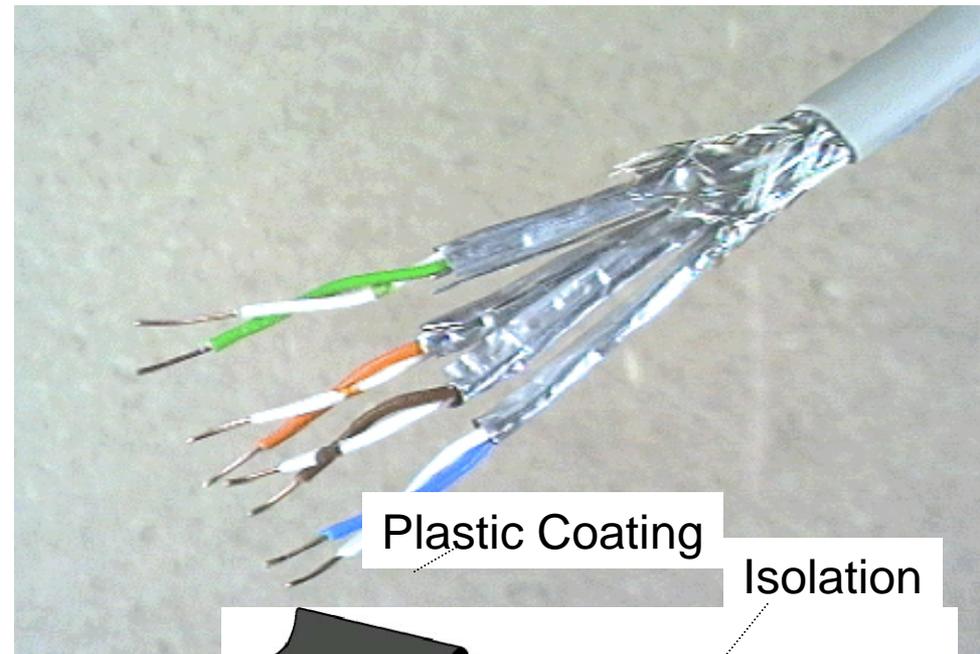
Heute Salat: Verdrillte Kupferadern

1.3 Typen von Kupferkabeln

Unshielded Twisted Pair



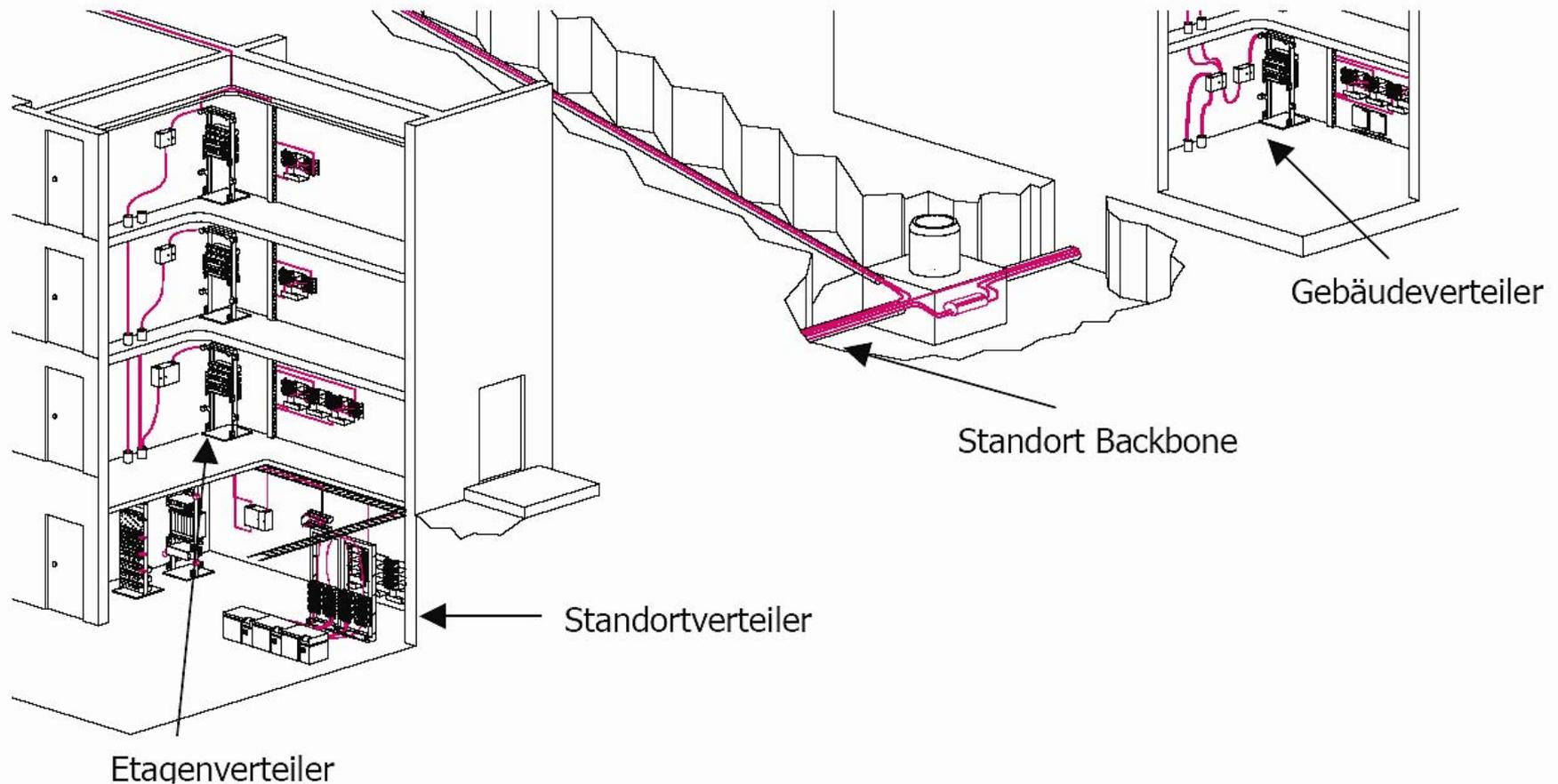
(Screened) Shielded Twisted Pair



1.3 Passive Komponenten

- Grundlage traditioneller LANs bildet eine **strukturierte** (sternförmige), **dienstneutrale** (4-paarige) Gebäudeverkabelung
- **Primärverkabelung** (Backbone) vorw. multimode LWL, Kupfer für kurze, monomode LWL für große Distanzen (über 300/500 m)
- **Sekundärverkabelung** (Gebäudeverteiler) vorw. S/STP Kupfer (max 90 m Festverkabelung)
- **Tertiärverkabelung** bilden die (beweglichen) Patchkabel
- Verkabelungsinstallationen sollten mit einer erwarteten Lebensdauer von 10 – 15 Jahren durchgeführt werden.

1.3 Struktur eines Kabelsystems



1.3 Güteklassen Kupfersysteme

- Kategorie 3 /Klasse C: 16 MHz 10 Mbit/s Ethernet
- Kategorie 5 /Klasse D: 100 MHz 100 Mbit/s Ethernet
- Kategorie 5E /Klasse D neu: 100 MHz 1000 Mbit/s Ethernet
- Kategorie 6 /Klasse E: 250 MHz „Basis-Kategorie“
- Kategorie 6_A /Klasse E_A: 500 MHz 10GBase-T Ethernet

Im Entstehen:

- Kategorie 7 /Klasse F: 600 MHz \geq 10GBase-T
- Kategorie 7_A /Klasse F_A: 1.000 MHz künftige Entwicklungen



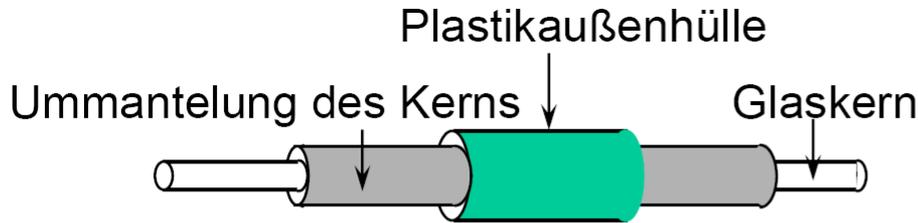
1.3 Leistungsparameter (Kupfer)

Zur Bewertung einer Kabelinstallation ist die Güte-Klasse durch folgende Messwerte ermittelbar:

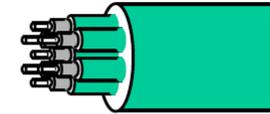
- Verdrahtungsprüfung (korrekte Verbindungen, Schirmungen, etc.)
- Streckenlänge
- Laufzeit und Laufzeitunterschiede
- Schleifenwiderstand
- Signaldämpfung auf allen vier Paaren
- Dual NEXT (Nahnebensprechen) in allen 6 Paarkombinationen
- $ACR = \text{Nebensprechdämpfung} - \text{Dämpfung}$
- $PS\ NEXT = \text{Summe aller Nahnebensprechwerte störender Kabel}$
- $PS\ ACR = PS\ NEXT\ Loss - \text{Dämpfung}$
- $ELFEXT = \text{Fernnebensprechdämpfung} - \text{Dämpfung}$
- $PS\ ELFEXT = PS\ FEXT\ Loss - \text{Dämpfung}$
- Return Loss und Impedanz



1.3 Glasfaser - Typen



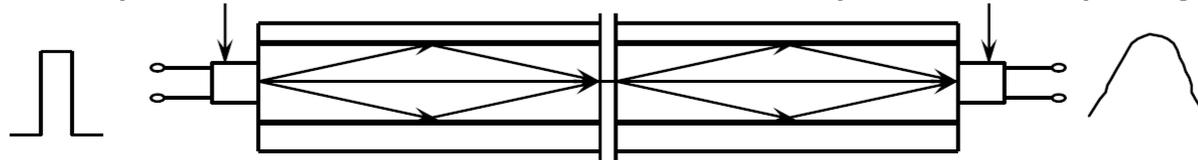
Single core



Multicore

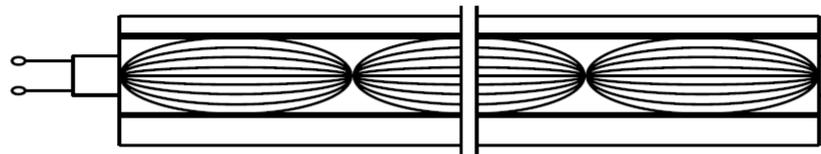
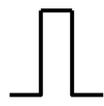
Optischer Sender

Optischer Empfänger



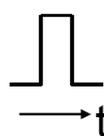
(i) Multimode-Faser mit Stufenindex

Elektrisches
Eingabesignal



(ii) Multimode-Faser mit Gradientenindex

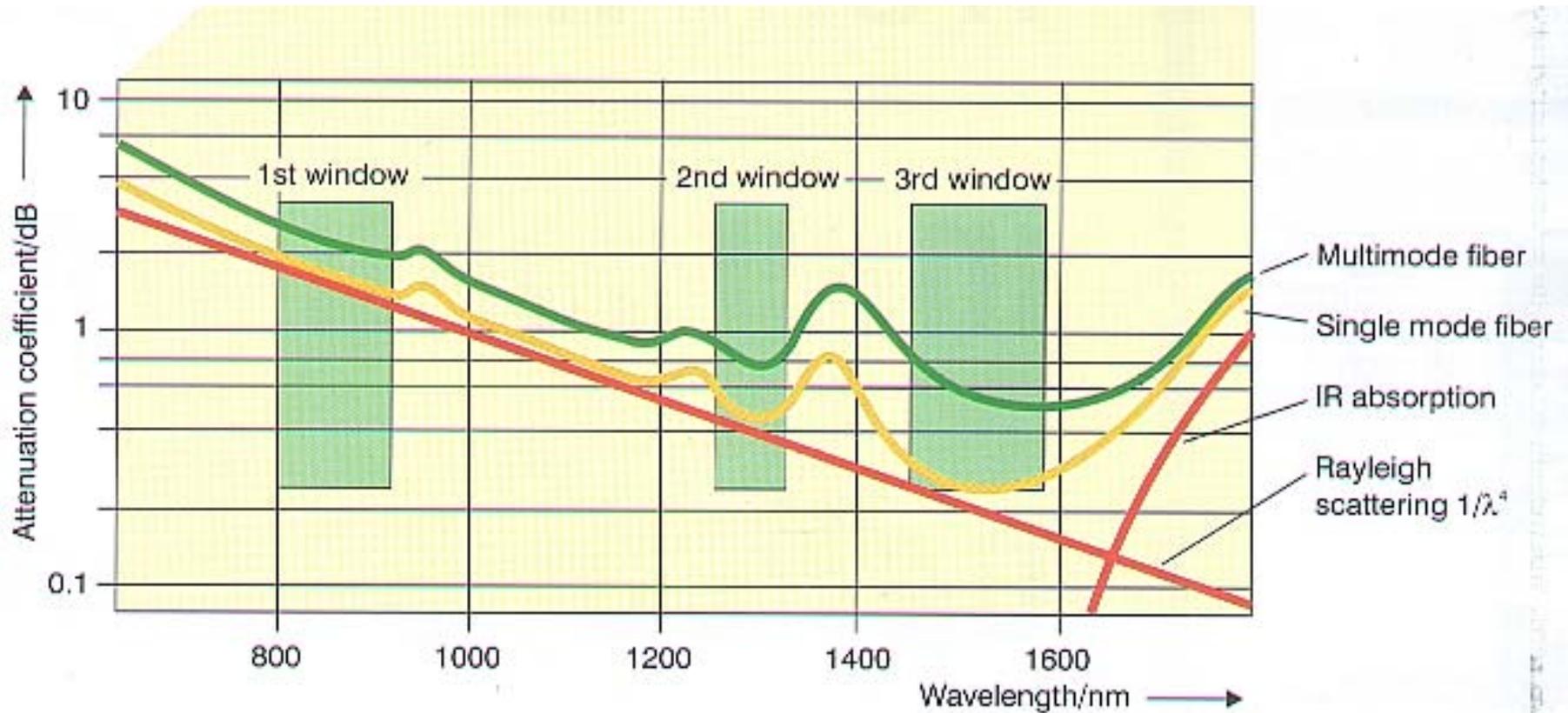
Elektrisches
Ausgabesignal



(iii) Monomode-Faser



1.3 LWL Frequenzfenster



Drei optische Fenster: 850, 1300, 1550 nm



1.3 Leistungsparameter (LWL)

Zur Bewertung einer LWL-Installation ist die Güteklasse durch folgende Meßwerte (bei 850, 1300 nm MMF bzw. 1310, 1550 nm SMF) ermittelbar

- ▶ Streckenlänge
- ▶ Örtliche Auflösung von Spleißen, Steckern, Faserbrüchen, ...
- ▶ Dämpfung
- ▶ Rückstreuverluste
- ▶ Brechzahl
- ▶ Dispersion
- ▶ Ein einfaches Gütemaß für LWL ist das **Bandbreiten-Längen-Produkt**



1.4 Kanalübertragung: Multiplexing

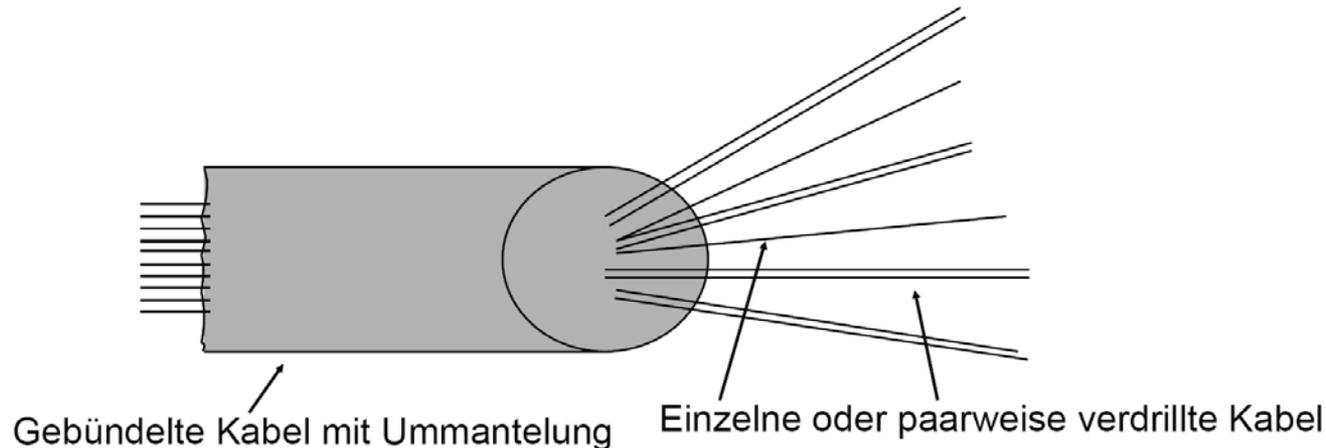
Ein Übertragungskanal kann durch Multiplexen während des Zugriffs in mehrere Teilkanäle unterteilt werden:

- Space Division Multiple Access SDMA
(parallel connections)
- Time Division Multiplex Access TDMA
- Frequency Multiplex Access FDMA (Modulation)
- Code Division Multiplex Access CDMA (Spread spectrum)



1.4 Space Division Multiplexing

- ▶ Aufteilung eines Mediums (z.B. Leitungsnetzes) in verschiedene, räumliche getrennte Übertragungskanäle
- ▶ Erlaubt die parallele Nutzung eines Mediums
- ▶ Übliches Verfahren bei der Kabelbündelung und der zellenbasierten Funkübertragung



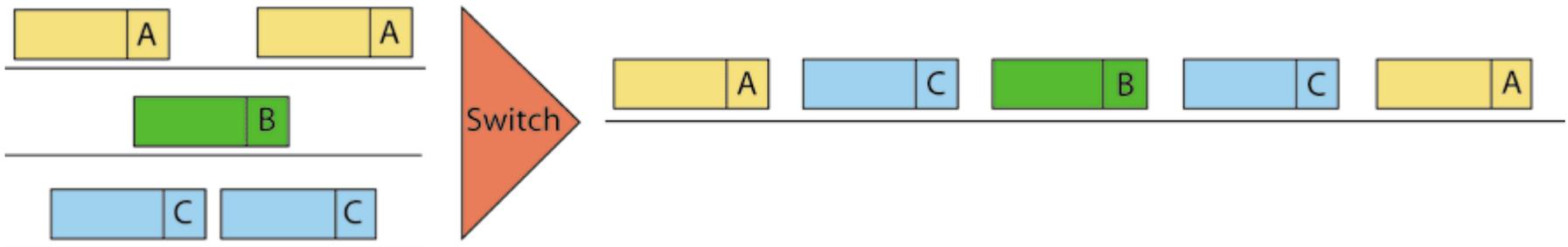
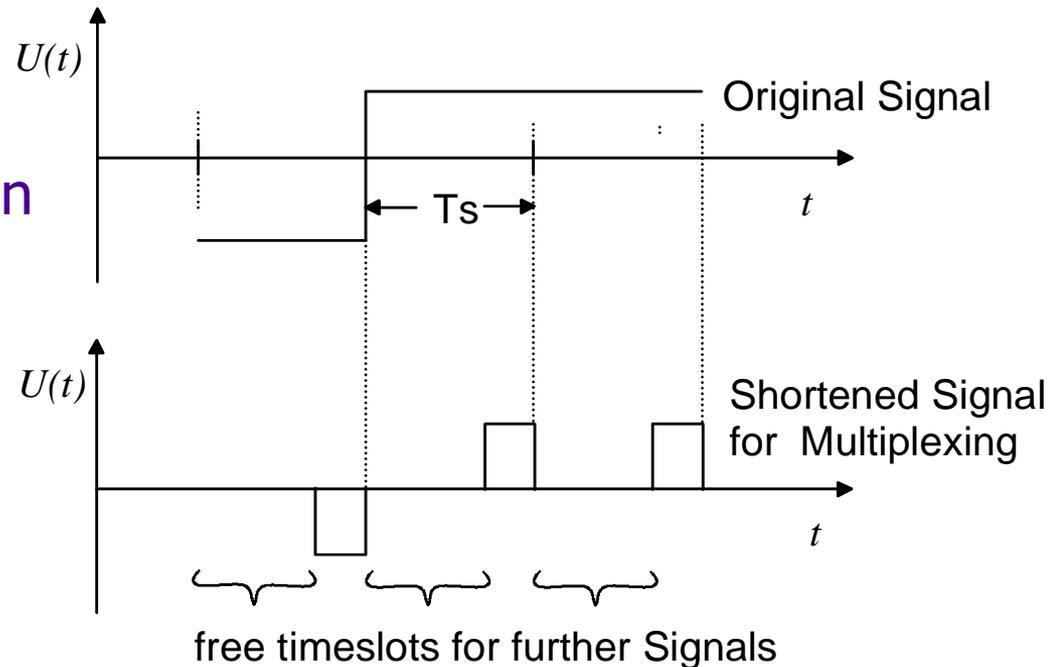
1.4 Richtungs-Multiplexing

- Simplex:
 - Daten gehen nur in eine Richtung
- Half Duplex
 - Daten gehen im Wechsel in beide Richtungen, nicht gleichzeitig
- Duplex
 - Daten gehen gleichzeitig in beide Richtungen



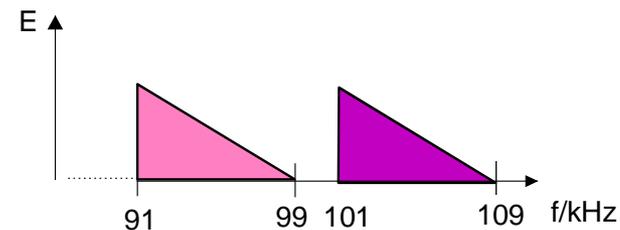
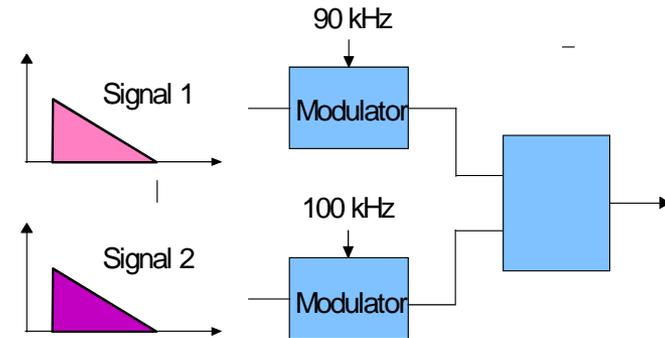
1.4 Time Division Multiplexing

- ▶ Signale / Pakete unterschiedlicher Anwender/Ströme werden statistisch (in der Zeit) aneinandergereiht
- ▶ erlaubt die gemeinsame Nutzung eines Mediums
- ▶ beeinflusst u. U. das Laufzeitverhalten

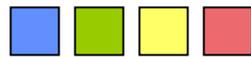


1.4 Frequency Division Multiplexing

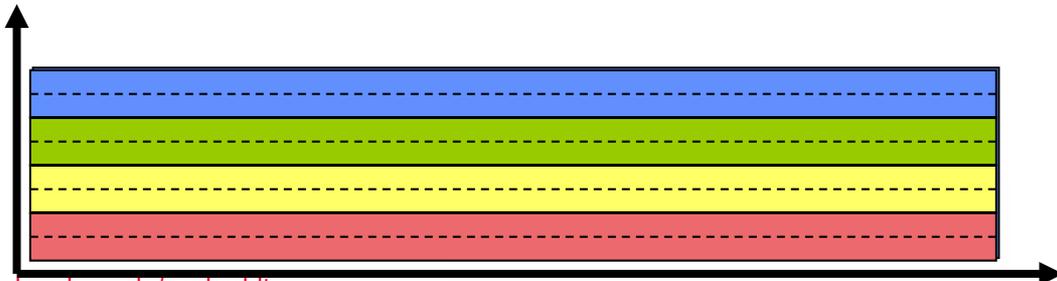
- Frequenzspektrum wird in Bänder unterteilt
- Jedes Band besitzt eine Trägerfrequenz
- Jeder Nutzer hat exklusiven Anspruch auf ein Band
- Telefontandard: 12 x 4.000 Hz - 12 bis 60 kHz



User

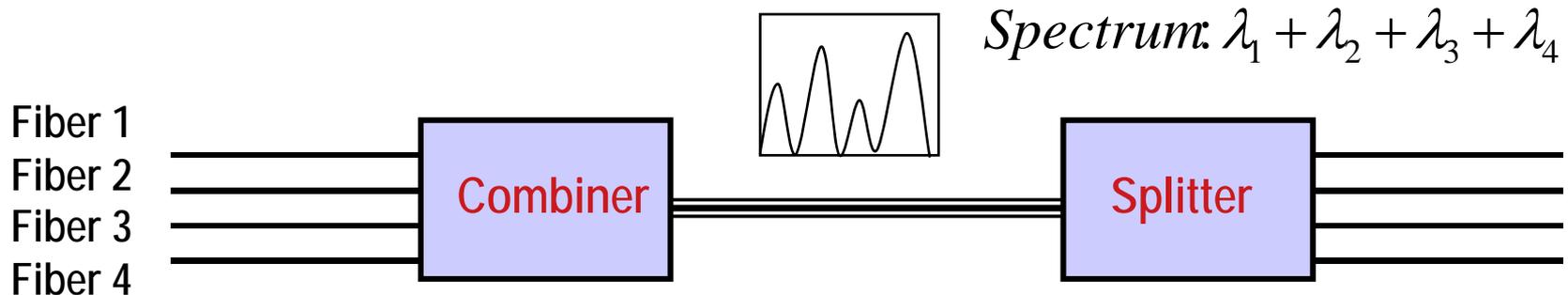


Frequenz



1.4 Wavelength Division Multiplexing

- ▶ Lichtsignale verschiedener Quellen werden auf unterschiedliche Frequenzen gehoben und dann addiert
- ▶ Wellenlängen-Multiplexing erlaubt gemeinsame Fasernutzung
- ▶ Verfahren rein optisch/passiv möglich

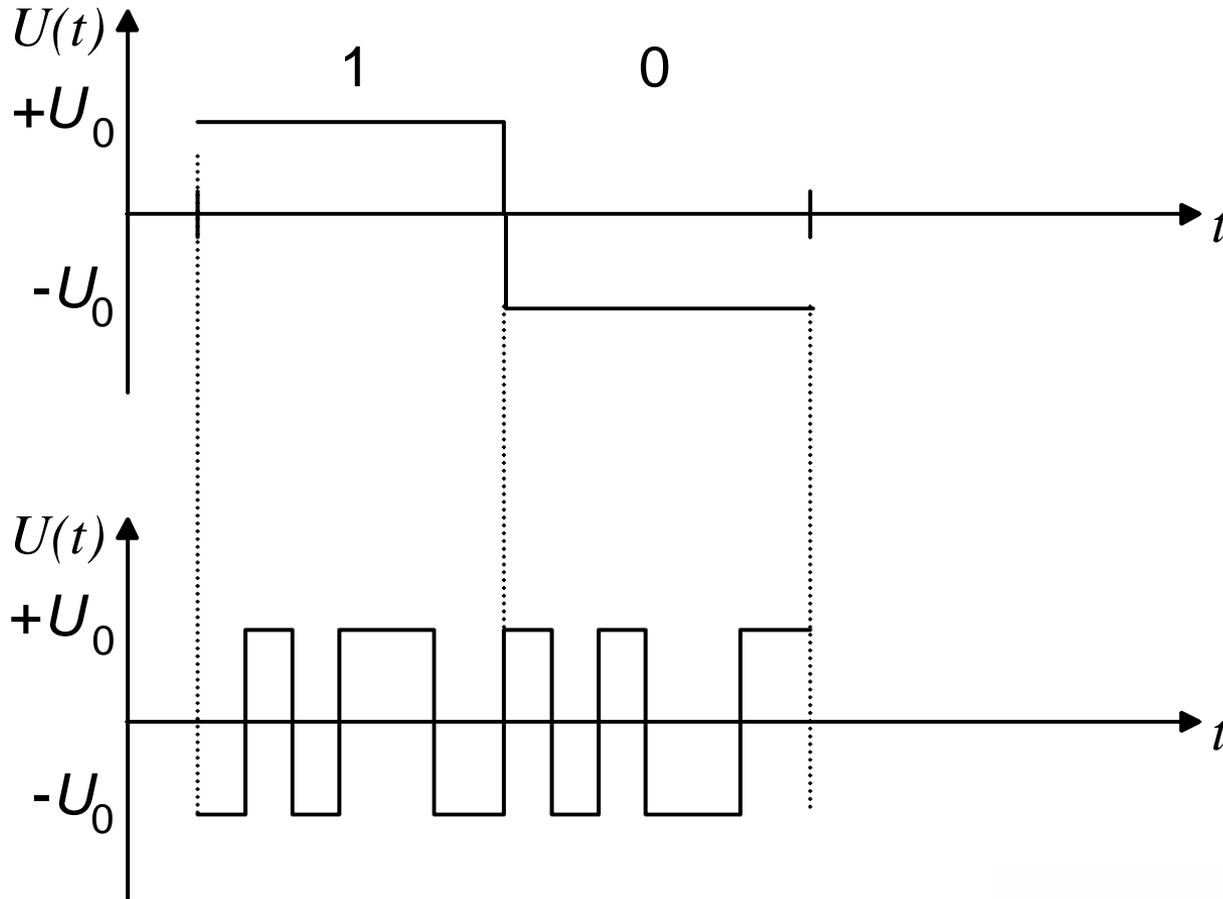


1.4 Code Division Multiplexing

- ▶ CDMA (Code Division Multiple Access)
 - ▶ alle Stationen operieren auf derselben Frequenz und nutzen so gleichzeitig die gesamte Bandbreite des Übertragungskanals
 - ▶ Signal wird auf der Senderseite mit einer für den Sender eindeutigen Pseudozufallszahl verknüpft (XOR)
 - ▶ Empfänger kann mittels bekannter Sender-Pseudozufallsfolge und einer Korrelationsfunktion das Originalsignal restaurieren
- ▶ Nachteil:
 - ▶ höhere Komplexität der Implementierung wg. Signalregenerierung
 - ▶ alle Signale müssen beim Empfänger gleich stark sein
- ▶ Vorteile:
 - ▶ alle können auf der gleichen Frequenz senden, keine Frequenzplanung
 - ▶ sehr großer Coderaum (z.B. 232) im Vergleich zum Frequenzraum
 - ▶ Störungen (weißes Rauschen) nicht kodiert
 - ▶ Vorwärtskorrektur und Verschlüsselung leicht integrierbar



1.4 Code Division Multiple Access - Spreading -



Selbsteinschätzungsfragen

1. Wie baut sich ein passives Netz aus Primär-, Sekundär- und Tertiärkomponenten auf?
2. Wie unterscheiden sich Frequenzmultiplexing und Wellenlängenmultiplexing?
3. Was bedeuten „Abtastung“, „Quantisierung“ und „Kodierung“ für die Nachrichtenübertragung?
4. Welche der o.g. Begriffe können (informations-)verlustfrei stattfinden?
5. Was bedeutet es, wenn der Nyquist-Wert kleiner als der Wert von Shannon ist?



Medium Access Layer

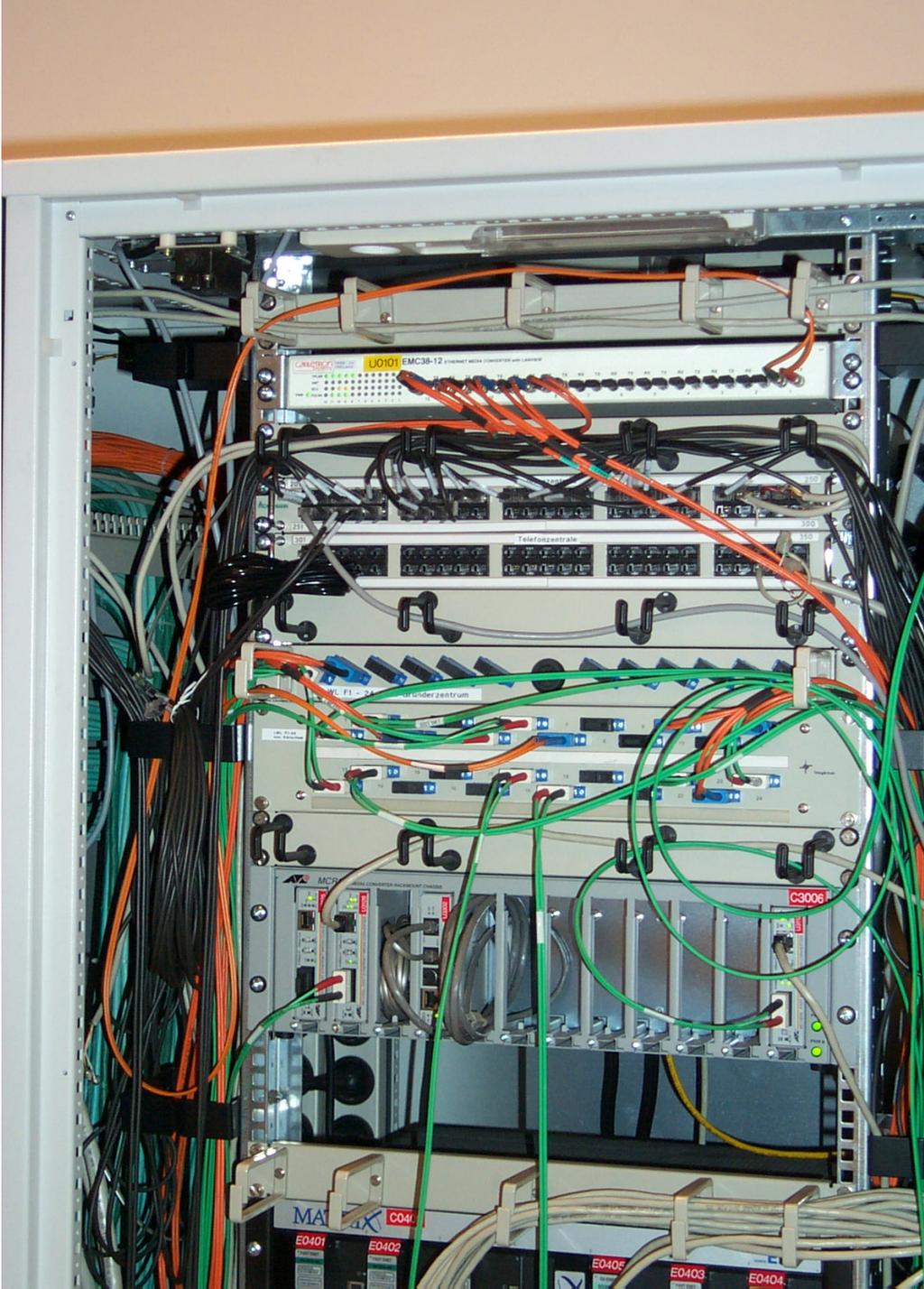
- 2.1 Organisation des Zugriffs
- 2.2 Medienzugriffsverfahren
- 2.3 MAC-Protokolle
 - Ethernet
 - Token Ring / FDDI
 - ATM
- 2.4 Aktive Netzwerkkomponenten



2. Network Access Layer

- Aufgabe: (physikalische) Übertragung von Datagrammen von Host zu Host
- spezifiziert physikalische Eigenschaften des Netzes
- stellt Hardware-Adressen bereit
- kennt Mechanismen der Datenflußsteuerung und Fehlerbehandlung
- wird in Hardware implementiert (NIC, Vermittlungskomponenten, Kabelstrukturen, ...)





Netzwerk- hardware



2.1 Subnetzwerktypen

Leitungsvermittelt:

- Stellt jedem Nutzer einen ‚physikalischen‘ Pfad zur Verfügung (z.B. durch Multiplexing)
- Stets verbindungsorientiert
- Vermittlungsweg wird beim Verbindungsaufbau festgelegt

Paketvermittelt:

- Stellt einzelnen Paket einen ‚Beförderungsweg‘ zur Verfügung
- Häufig verbindungslos
- Pakete werden autonom vermittelt



2.1 Leistungsvergleich

Leitungsvermittelt:

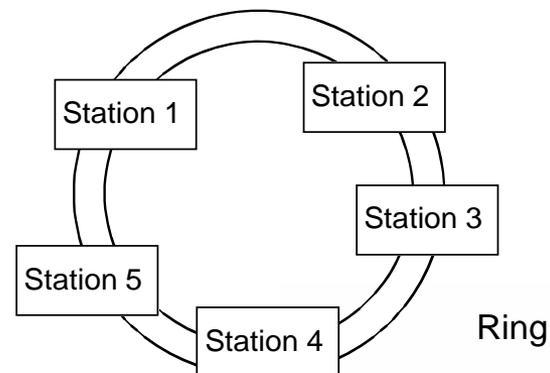
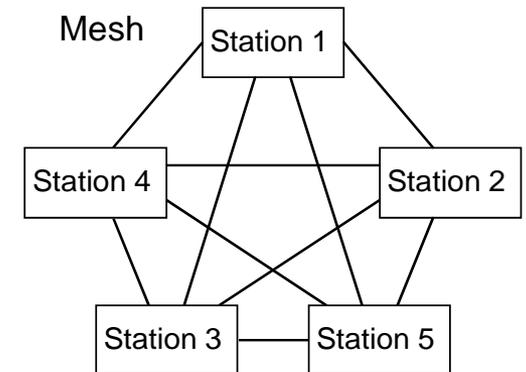
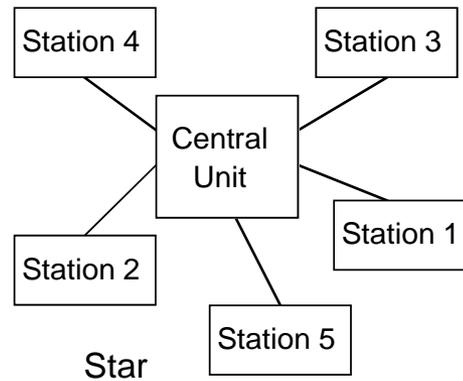
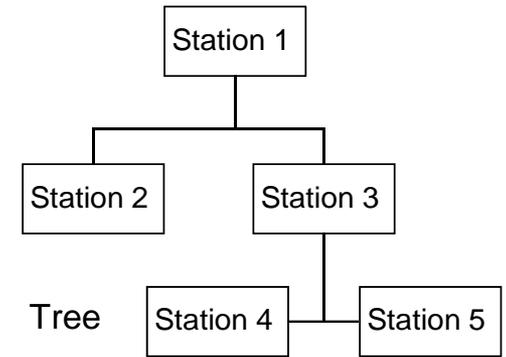
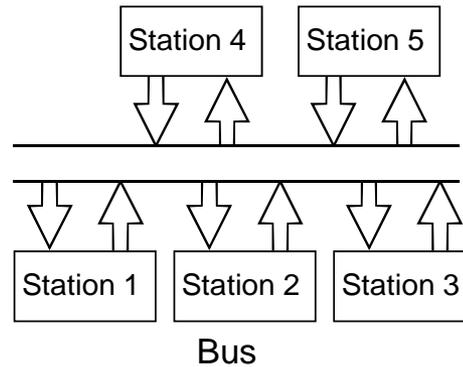
- Garantiert Bandbreite
- Ressourcenreservierung
- Kein Adressbedarf f. Daten
- Vermittlungskomponenten tragen Statusinformationen
- Fehlerempfindlich

Paketvermittelt:

- Keine Bandbreitengarantie
- Effiziente Mediennutzung
- Pakete tragen volle Adresse
- Vermittlungskomponenten sind zustandslos
- Fehlertolerant



2.1 Netzwerk- topologien



2.2 Medienzugriffsverfahren

- ▶ Single Access
 - ▶ Netzwerk zwischen zwei Teilnehmern steht exklusiv über dedizierte „Leitungen“ zur Verfügung

- ▶ Multiple Access
 - ▶ Gemeinsame Netzwerknutzung durch viele Teilnehmer über geteilte Leitungen
 - ▶ Synchronisationsproblem zur Kanalreservierung



2.2 Multiple Access: Funktionsansatz

Problem: Synchronisation für N unabhängige Stationen im geteilten Medium auf nur einem Kanal

Funktionen:

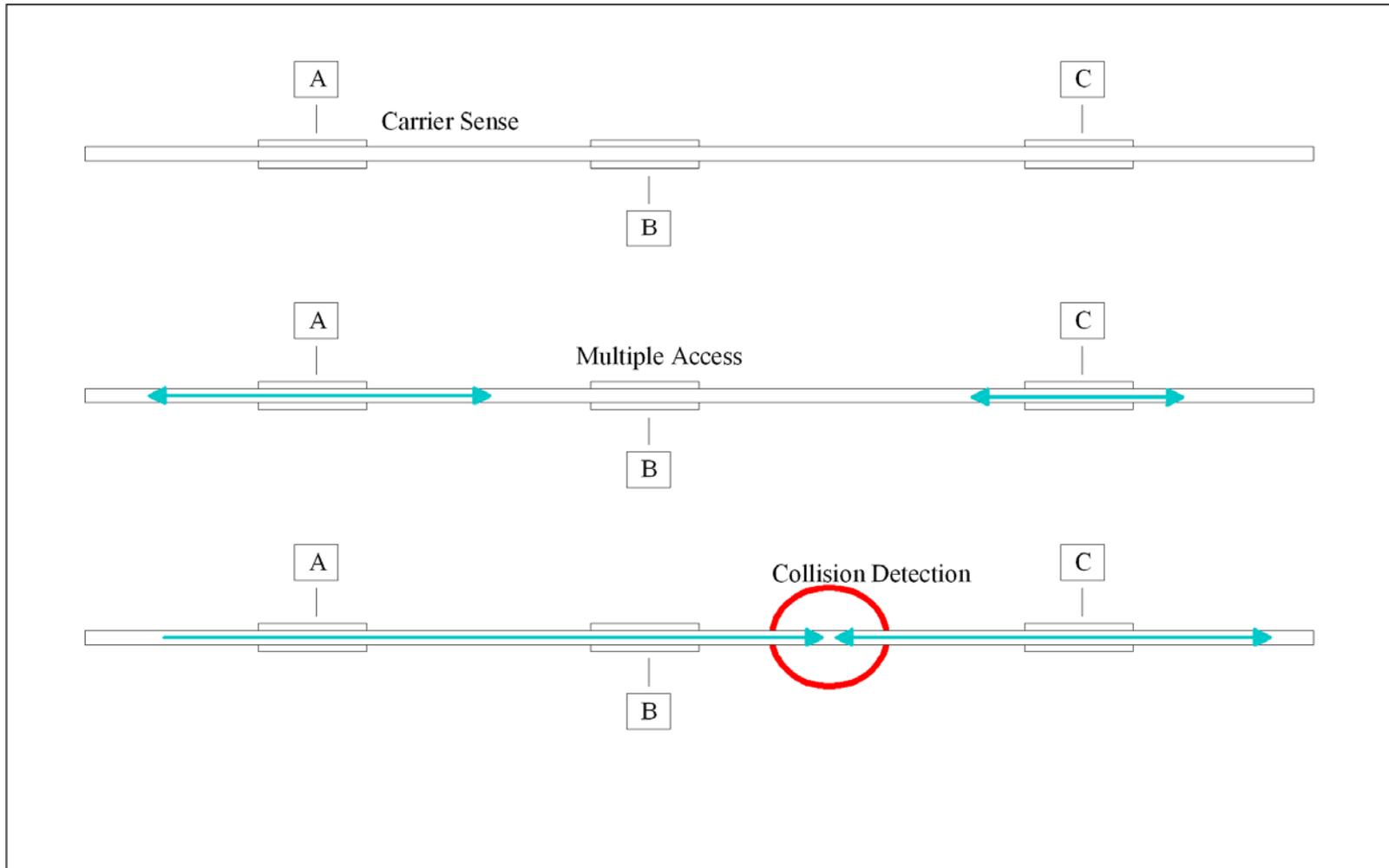
- Jede Station kann zu **jeder Zeit** senden.
- Werden zwei Frames gleichzeitig versandt, überlagern sie sich (signalzerstörend) auf dem Medium – eine **Kollision**
- Jede Station kann auf dem **Kanal mithören** und bemerken, ob der Kanal frei ist bzw. ob Kollisionen entstehen

Idee (ALOHA, Abramson 1970):

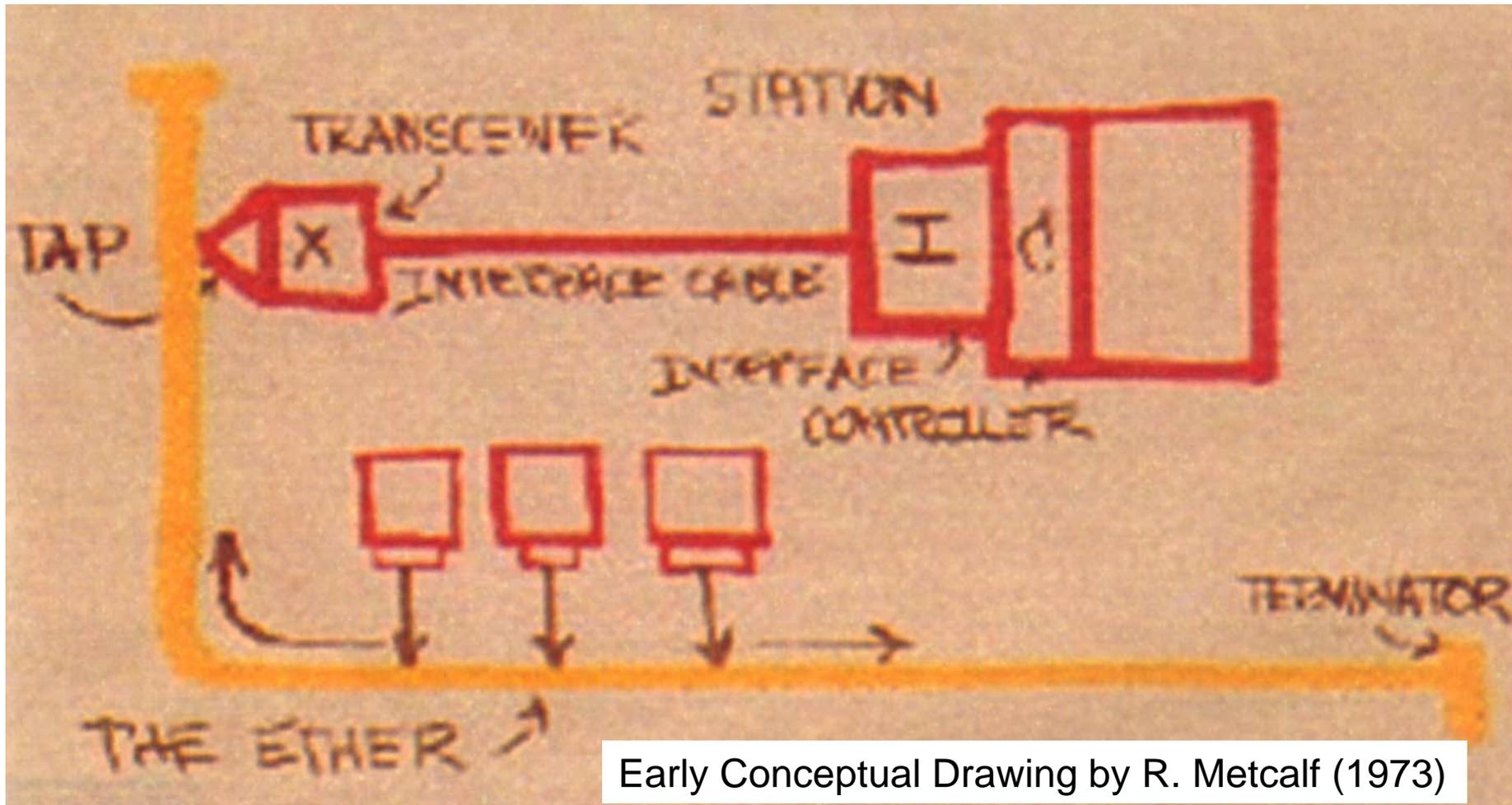
- Stationen senden zufallsgesteuert und senden bei Kollisionen erneut.



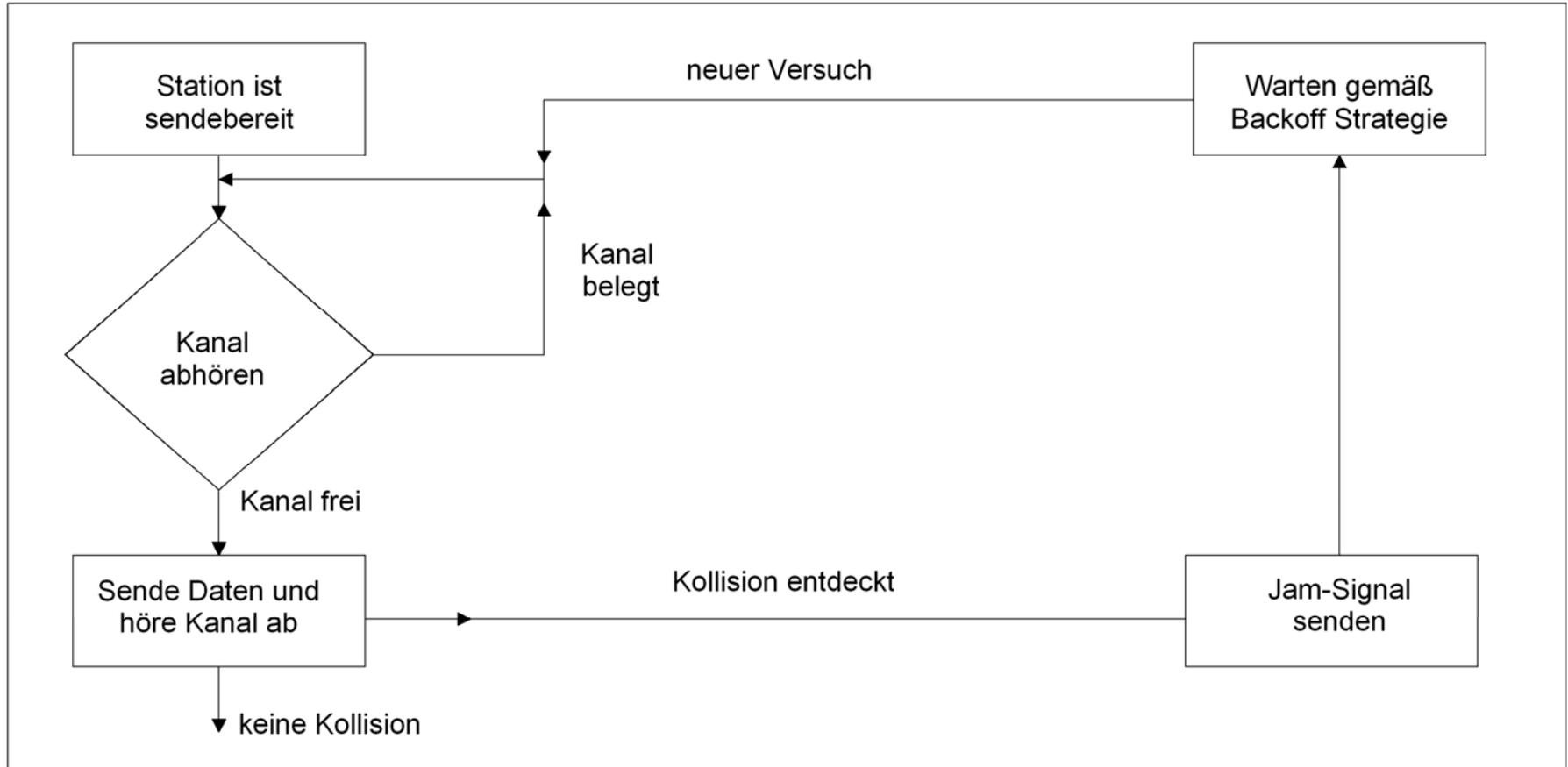
2.2 Carrier Sense – Multiple Access – Collision Detect (CSMA/CD)



2.3 Von Ethernet zu 10GE



2.3 Ethernet - CSMA/CD



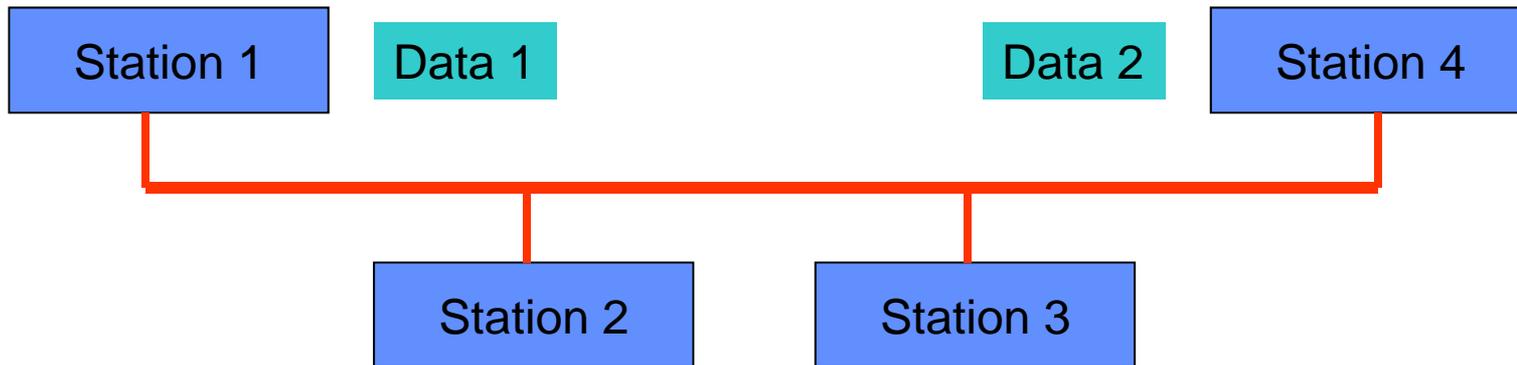
2.3 Eigenschaften von CSMA/CD

- ▶ Kollisionen **entstehen** beim **Empfänger**, müssen aber vom Sender entdeckt werden.
- ▶ Kollisionen können deshalb trotz Kanalabhörung (LBT - listen before talking) auftreten, da Signale sich in einem Medium mit beschränkter Geschwindigkeit ausbreiten.
- ▶ Erst nach dem „Rücklauf“ kann der Sender den durch eine Kollision veränderte Signalzustand auf dem Kabel entdecken.
- ▶ Nach der Entdeckung wird ein **JAM-Signal** versandt
- ▶ JAM ist ein 32 Bit langes Signal, dessen Form von allen anderen Nachrichten auf dem Kabel unterschieden werden kann.



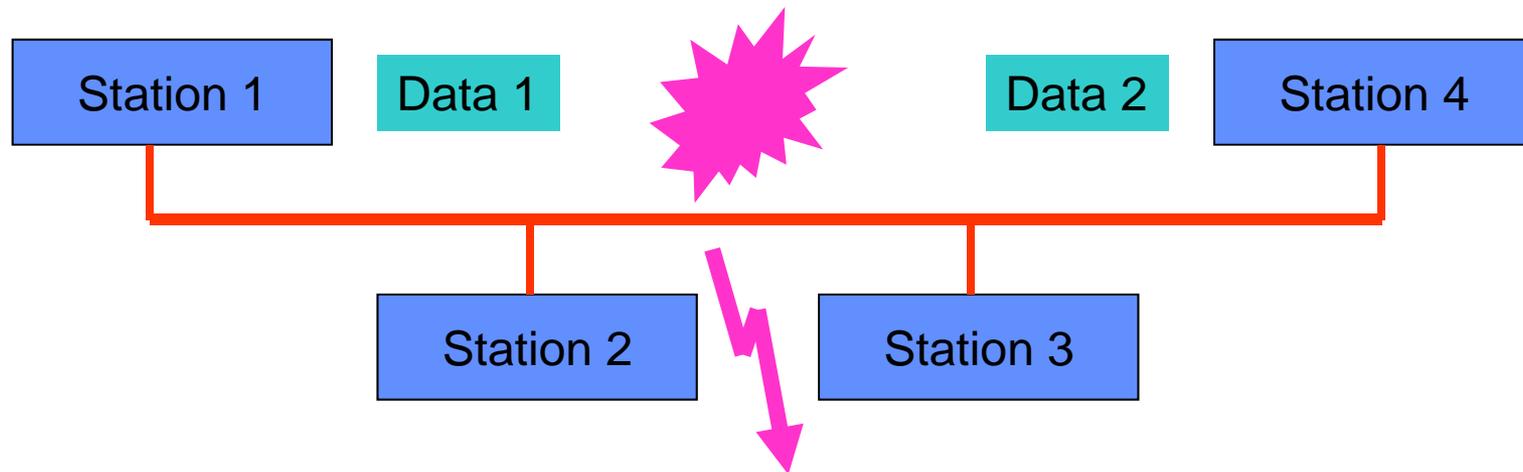
2.3 CSMA / CD

Station sendebereit: Abhören, Senden



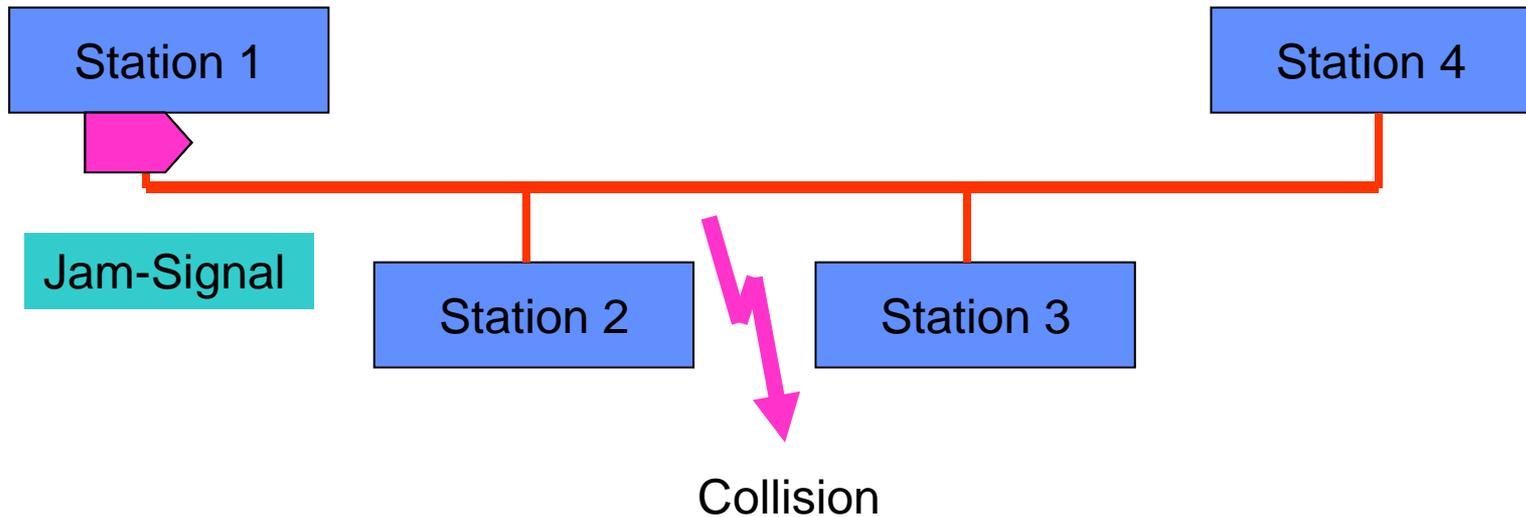
2.3 CSMA / CD

Transmission mit Kollision



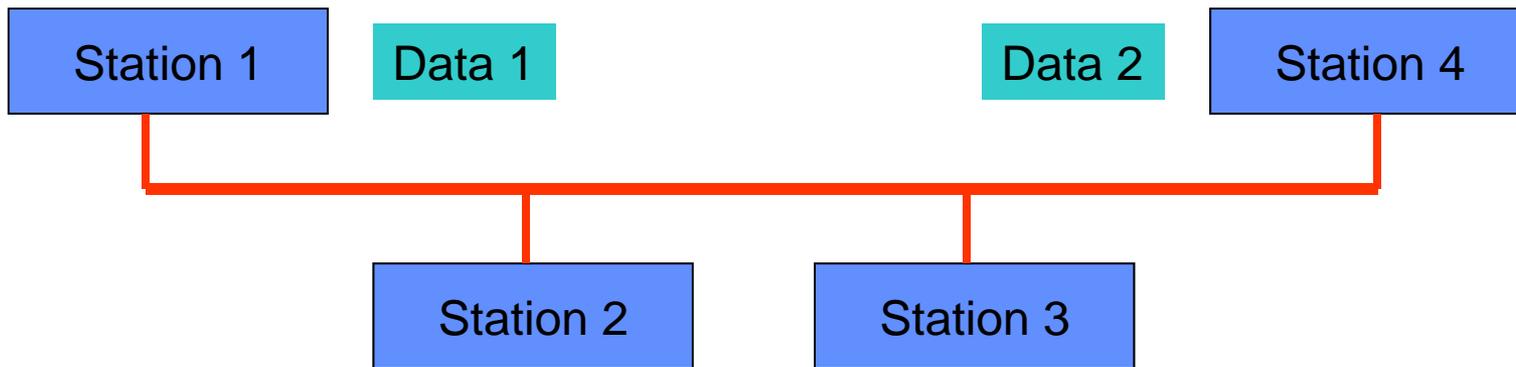
2.3 CSMA / CD

Senden des Jam-Signals



2.3 CSMA / CD

Wiederholung nach Backoff- Time



2.3 Kollisionserkennung, Paketgrößen & Laufzeiten

Ethernet Teilnehmer erkennen Kollisionen nur durch einen Signalvergleich während des Sendens.

Problem: Kollisionsfreiheit kann erst nach $2 \cdot \tau$
(τ = Kabellaufzeit) garantiert werden.

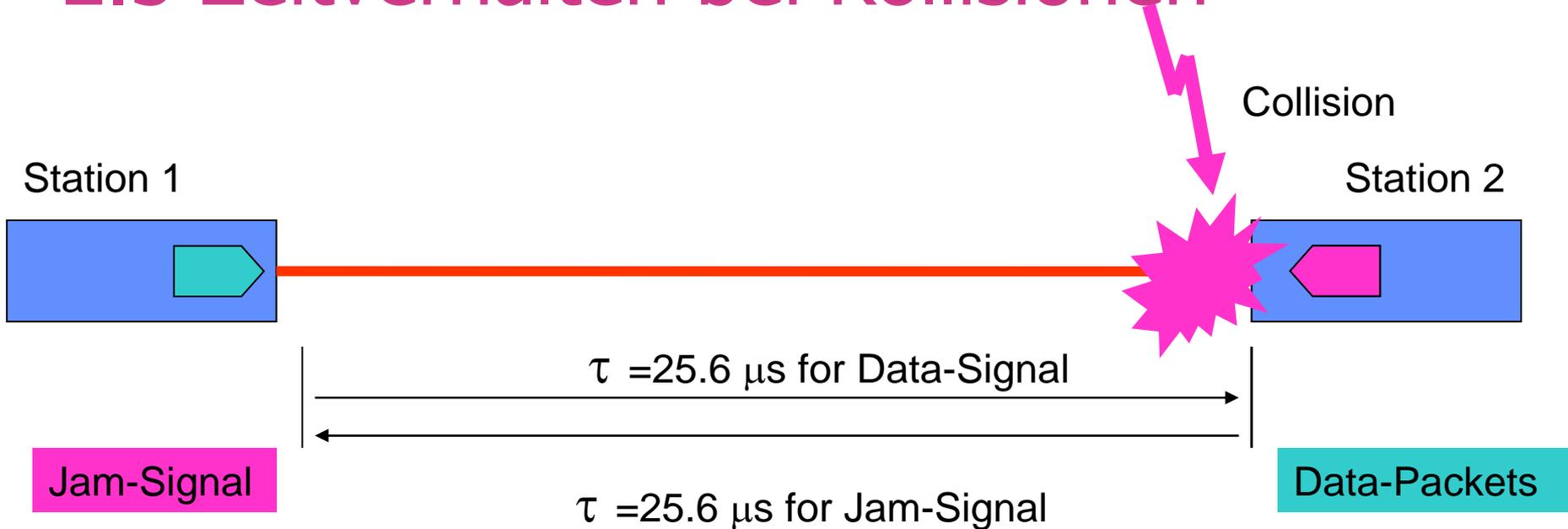
Deshalb gilt: $2 \cdot \tau \cdot v = \text{minimale Paketlänge}$ (v = NW-Speed).

Minimale Paketlänge: 512 bits (bei 10/100 Ethernet)

τ wird bei konstanter Ausbreitungsgeschwindigkeit von Kabellängen bestimmt: Problem für hohe Ethernetgeschwindigkeiten!



2.3 Zeitverhalten bei Kollisionen



- 512 Bit Paketlänge bei Datenrate 10 Mbit/s entsprechen $100 \text{ ns/Bit} \Rightarrow 512 \times 100 \text{ ns} = 51.2 \mu\text{s}$
- Round Trip Time = $51.2 \mu\text{s} = 2 \tau$, $\tau = \text{SlotTime}$
- Bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von $200 \text{ m}/\mu\text{s}$ und Laufzeit $\tau = 25.6 \mu\text{s}$ beträgt die max. Distanz 2500 m bei 4 Repeatern

2.3 Binary Exponential Backoff

Nach einer Kollision darf nur *ein* Sender erneut beginnen.
Deshalb werden die ‚Sendeslots‘ ausgewürfelt:

Sendeslots: Minimale Paketlänge (512 bits)

Nach k Kollisionen würfele Slotnummer i : $0 \leq i \leq 2^k - 1$

Sende bei Slotzeit $i * 512 \text{ bits} / v$

Aber:

- Wartezeit höchstens 1023 ($k = 10$)
- Abbruch bei $k = 16$



2.3 Ethernet Protokollaufbau

- Hardwareadressen (MAC-Adressen)
- 6 Byte lang (z.B.: 00-69-42-e4-18-cd)
- weltweit eindeutig (Vendor Codes)
- ‚fest‘ auf die Netzkarte eingebrannt
- Ethernet kennt Broadcast- und Multicast-Adressen
- normalerweise verarbeitet die Netzwerkkarte nur die für sie bestimmten Adressen (Unicasts, Multicasts, Broadcasts)
- im „promiscuous mode“ werden aber alle Pakete weiterverarbeitet („sniffen“)



2.3 Ethernet Frames

DIX Ethernet Frame

| | | | | | |
|----------|---------------------|----------------|------|-----------------|---------|
| 8 bytes | 6 bytes | 6 bytes | 2 | 46 - 1500 bytes | 4 bytes |
| preamble | destination address | source address | type | data / pad | CRC |

IEEE 802.3 Frame

| | | | | | | | |
|----------|-------------|---------------------|----------------|--------|-------------|-----------------|---------|
| 7 bytes | 1 | 6 bytes | 6 bytes | 2 | 1 | 46 - 1492 bytes | 4 bytes |
| preamble | S O F | destination address | source address | length | 8 0 2 | data / pad | CRC |

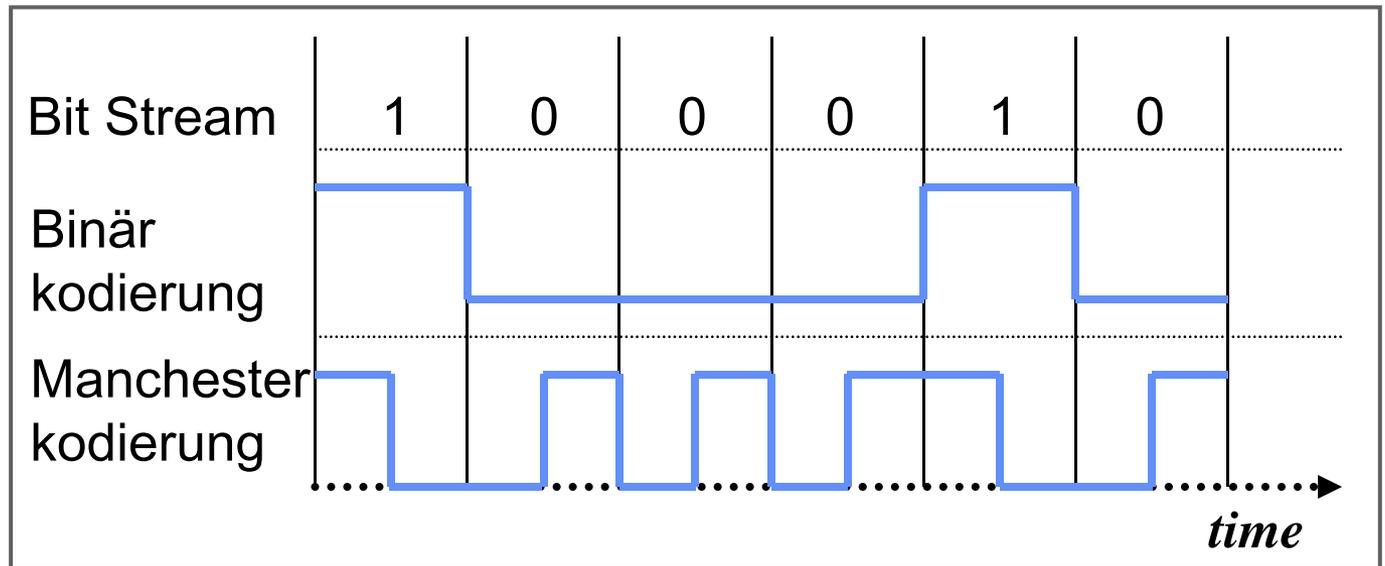
Ethernet Adressbits:

First (leftmost) Bit = 0/1 – Individual/Group Second = 0/1 – Global/Local

Vendor Codes = First (leftmost) 3 Bytes (Global Individual Addresses)



2.3 Präambel: Zeitsynchronisation beim Empfänger



Problem: Empfänger und Sender haben unabhängige Clock-Ticks, die zum Signalempfang synchronisiert werden müssen:

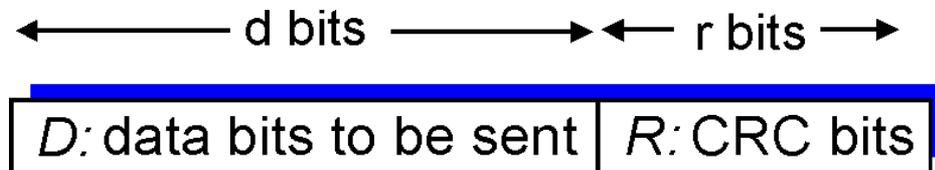
Sender: Synchronisationsmuster in Preamble, z.B. 10101010

Empfänger: Clock-Synchronisation an der Signalwelle.



2.3 Fehlererkennung: Cyclic Redundancy Check

- Betrachte Datenbits, **D**, als eine binäre Zahl
- wähle $r+1$ Bitmuster (Generator), **G**
- Ziel: Wähle r CRC Bits, **R**, so daß
 - $\langle D, R \rangle$ genau durch G teilbar (modulo 2) ist
 - Empfänger kennt G , teilt $\langle D, R \rangle$ durch G . Falls Rest bleibt: Fehler !
 - Entdeckt (fast) alle Burst-Fehler mit weniger als $r+1$ Bits
- Sehr viel benutzt (auch ATM, HDLC)



*bit
pattern*

$$D * 2^r \text{ XOR } R$$

*mathematical
formula*



2.3 CRC Beispiel

Gesucht:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

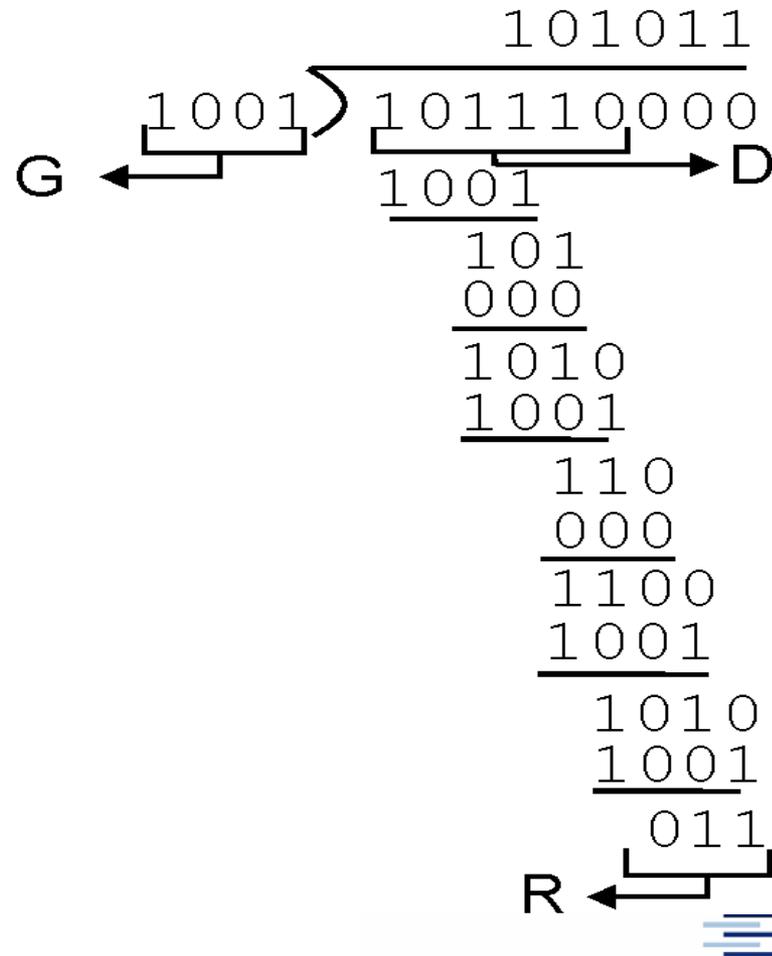
Equivalent zu:

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

Equivalent zu:

teilen von $D \cdot 2^r$ durch G ,
suchen Teilerrest R

$$R = \text{Teilerrest} \left[\frac{D \cdot 2^r}{G} \right]$$



2.3 Ethernet Beispiel 1: Maximale Framerate

$$\begin{aligned} \upsilon &= \text{NW Datenrate} \\ &= 10 \text{ Mbit/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{min Framesize} \\ &= 84 \times 8 \text{ bit} \end{aligned}$$

| Frame Part | Minimum Size Frame |
|----------------------------------|--------------------|
| Inter Frame Gap (9.6μs) | 12 Bytes |
| MAC Preamble (+ SOF) | 8 Bytes |
| MAC Destination Address | 6 Bytes |
| MAC Source Address | 6 Bytes |
| MAC Type (or Length) | 2 Bytes |
| Payload (Network PDU) | 46 Bytes |
| Check Sequence (CRC) | 4 Bytes |
| <i>Total Frame Physical Size</i> | <i>84 Bytes</i> |

$$\begin{aligned} \text{Maximale Framerate} \\ &= \upsilon / S = 10\,000\,000 / (84 \times 8) / \text{s} \\ &= 14\,880 \text{ Frames pro Sekunde} \end{aligned}$$



2.3 Beispiel 2: Maximaler Durchsatz

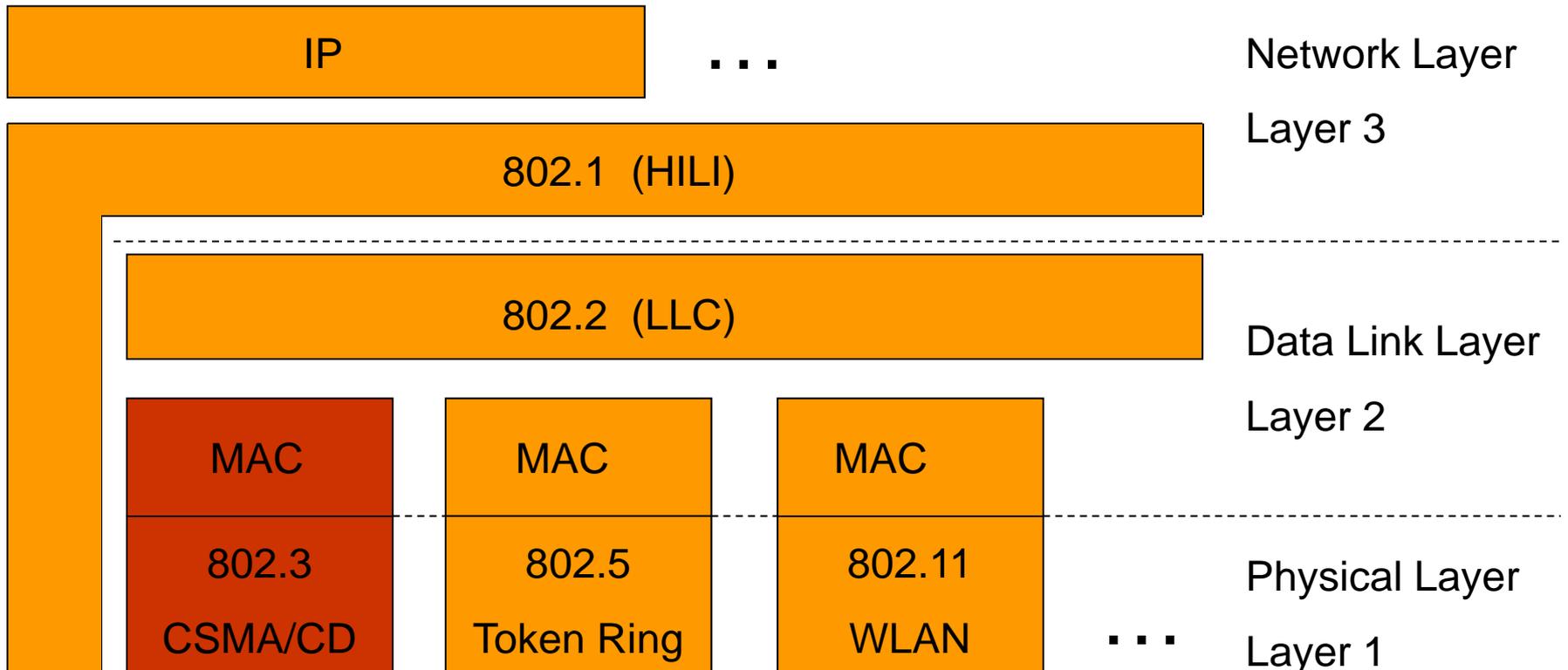
$$\begin{aligned}\text{Max. Framerate} \\ &= v / S \\ &= 812.74 \text{ frames/s}\end{aligned}$$

| Frame Part | Maximum Size Frame |
|----------------------------------|--------------------|
| Inter Frame Gap (9.6µs) | 12 Bytes |
| MAC Preamble (+ SOF) | 8 Bytes |
| MAC Destination Address | 6 Bytes |
| MAC Source Address | 6 Bytes |
| MAC Type (or Length) | 2 Bytes |
| Payload (Network PDU) | 1.500 Bytes |
| Check Sequence (CRC) | 4 Bytes |
| <i>Total Frame Physical Size</i> | <i>1.538 Bytes</i> |

$$\begin{aligned}\text{Maximaler Datendurchsatz} \\ &= \text{Max.Framerate} \times \text{Payload} \\ &= 812.74 \times (1500 \times 8) = 9\,752\,880 \text{ bit/s}\end{aligned}$$



2.3 Schichten & Protokollaufbau in IEEE Standards 802



2.3 Ethernet Standards (Kabel)

10 Mbit/s:

| | | | |
|----------|-----------------|--------|--------|
| 10Base5 | Thick coax | 500 m | 802.3 |
| 10Base2 | Thin coax | 185 m | 802.3a |
| 10Base-T | Twisted pair | 100 m | 802.3i |
| 10Base-F | Multimode Fiber | 2000 m | 802.3j |

100 Mbit/s:

| | | | |
|------------|--------------------|--------|--------|
| 100Base-TX | Twisted pair cat 5 | 100 m | 802.3u |
| 100Base-T4 | Twisted pair cat 3 | 100 m | 802.3u |
| 100Base-FX | Multimode Fiber | 2000 m | 802.3u |

2.3 Ethernet Standards (2)

1 Gbit/s:

| | | | |
|-------------|-------------------|--------|---------|
| 1000Base-SX | Multimode Fiber | 550 m | 802.3z |
| 1000Base-LX | Monomode Fiber | 5000 m | 802.3z |
| 1000Base-CX | Twisted Pair (2x) | 25 m | 802.3z |
| 1000Base-T | Twisted Pair (4x) | 100 m | 802.3ab |

10 Gbit/s:

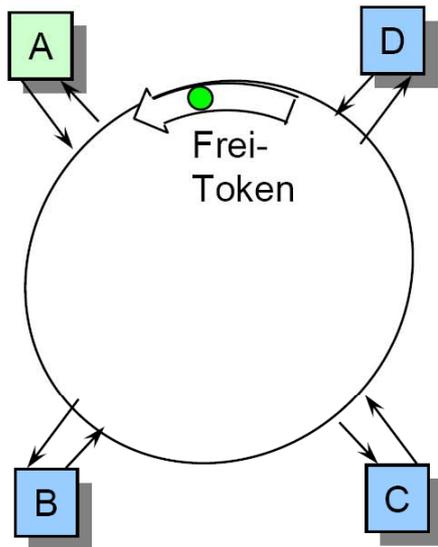
| | | | |
|-------------|-----------------------|-------|---------|
| 10GBase-SR | Multimode Fiber | 33 m | 802.3ae |
| 10GBase-LX4 | Multimode Fiber (WDM) | 300 m | 802.3ae |
| 10GBase-ER | Monomode Fiber | 40 km | 802.3ae |
| 10GBase-T | Twisted pair (4x) | 100 m | 802.3an |

2.3 Token Ring (IEEE 802.5)

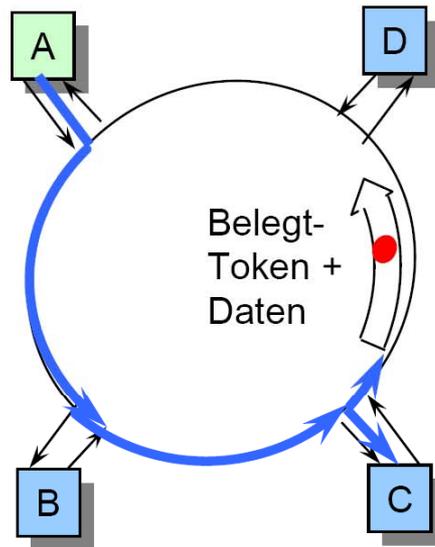
- ▶ Stationen sind in einem Ring verbunden
 - ▶ Jede hat Vorgänger und Nachfolger
 - ▶ Aktive Medienkopplung: einkommende Daten werden regeneriert / verarbeitet
- ▶ Zuteilung des Senderechts durch zirkulierenden Token
 - ▶ Eine Station, die den Token frei empfängt, darf senden
 - ▶ Daten kommen ggf. zum Sender zurück und werden vom Ring genommen
- ▶ Token Management (Generation, Synchronisation) nötig



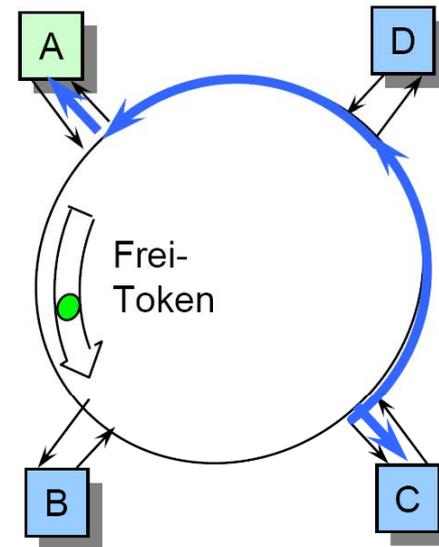
2.3 Ablaufbeispiel Token Ring



- Frei-Token kreist
- A hat Sendewunsch



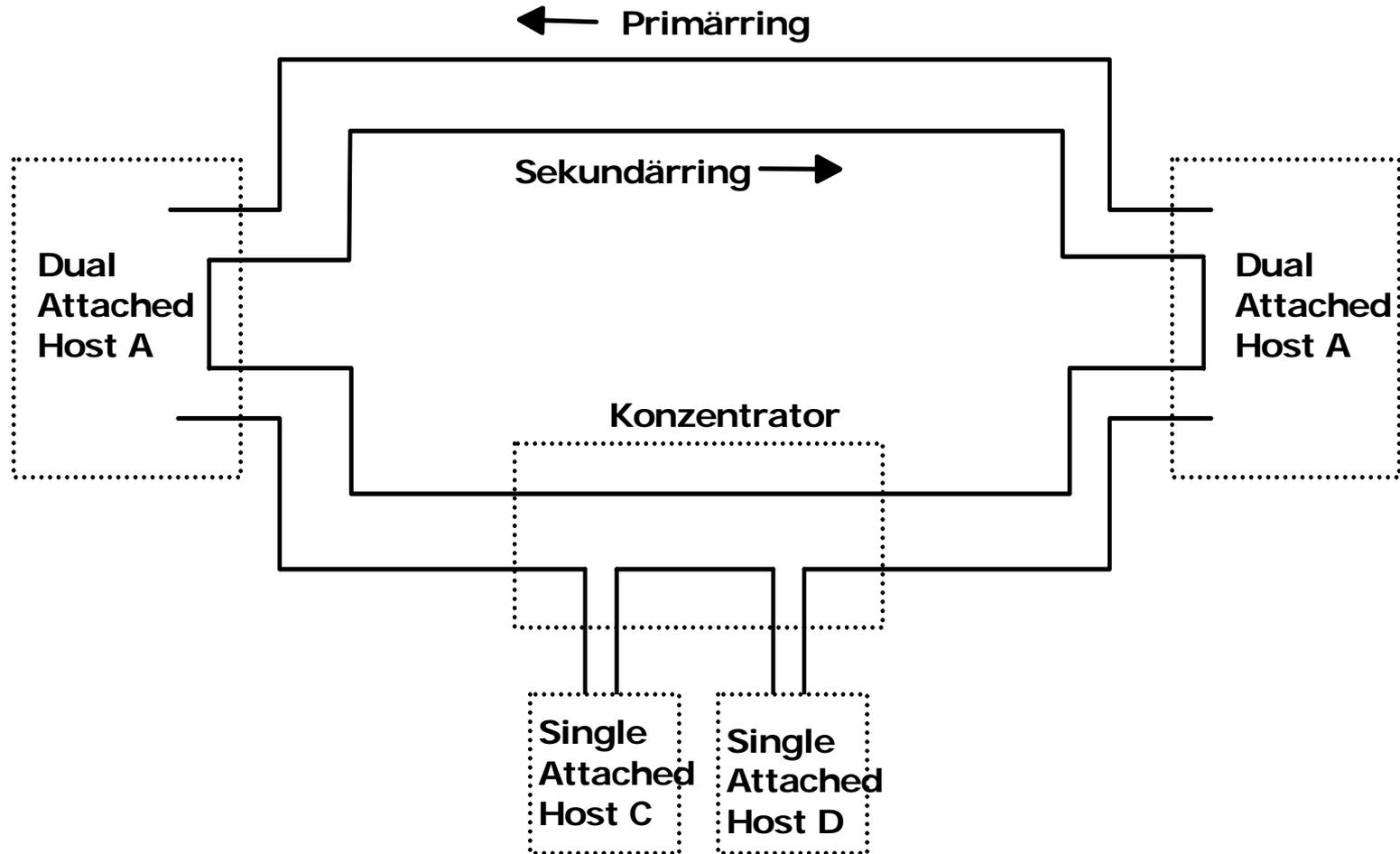
- A hat Token belegt
- A sendet an C
- C kopiert



- A vernichtet Daten
- C kopiert und setzt Quittungsbits
- Token wird von A auf frei gesetzt

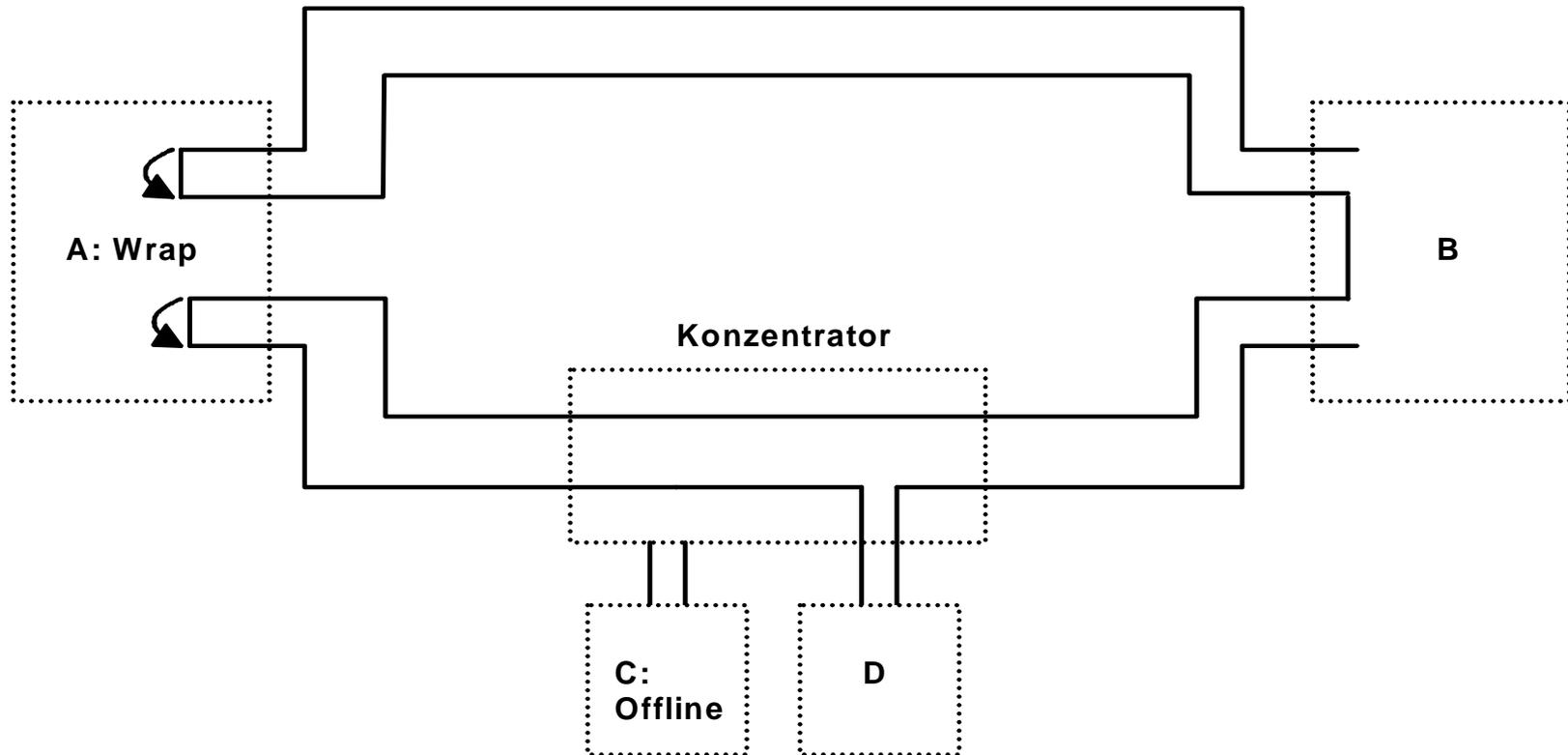


2.3 FDDI - Redundante Ringe



Ringkonfiguration im Normalfall

2.3 FDDI - Gewrappte Ringe



Ringkonfiguration bei Fehlern: A und C defekt



2.3 ATM

IDEE: Die Zelle



Verwendung kleiner Übertragungseinheiten

- gut geeignet für Echtzeitdaten (Audio, Telefonie, Video)
- Verlust einzelner Zellen bedeutet nur geringen Datenverlust

Verbindungsorientierte

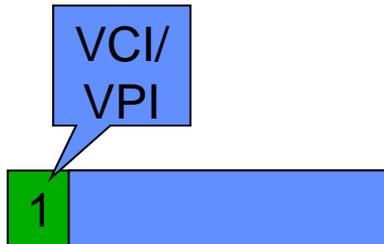
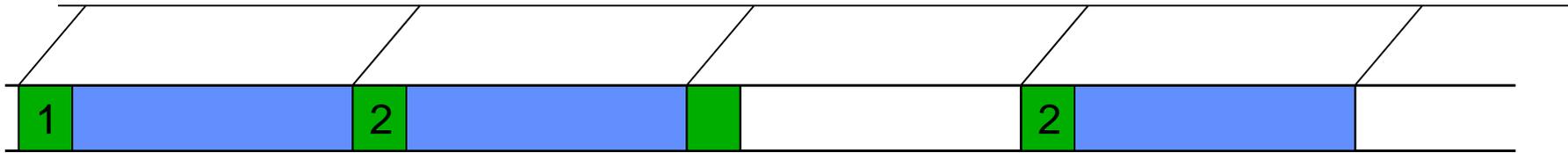
Verwendung kurzer Header mit Verbindungs-Identifizier

Statistisches Multiplexing verschiedener Verbindungen über gemeinsame Übertragungstrecken

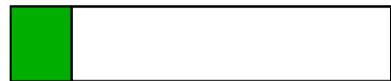
Umfangreiche Routing+QoS Funktionalitäten implementiert in Switches



2.3 Synchronous und Asynchronous Transfer Mode



ATM-Cell with Payload

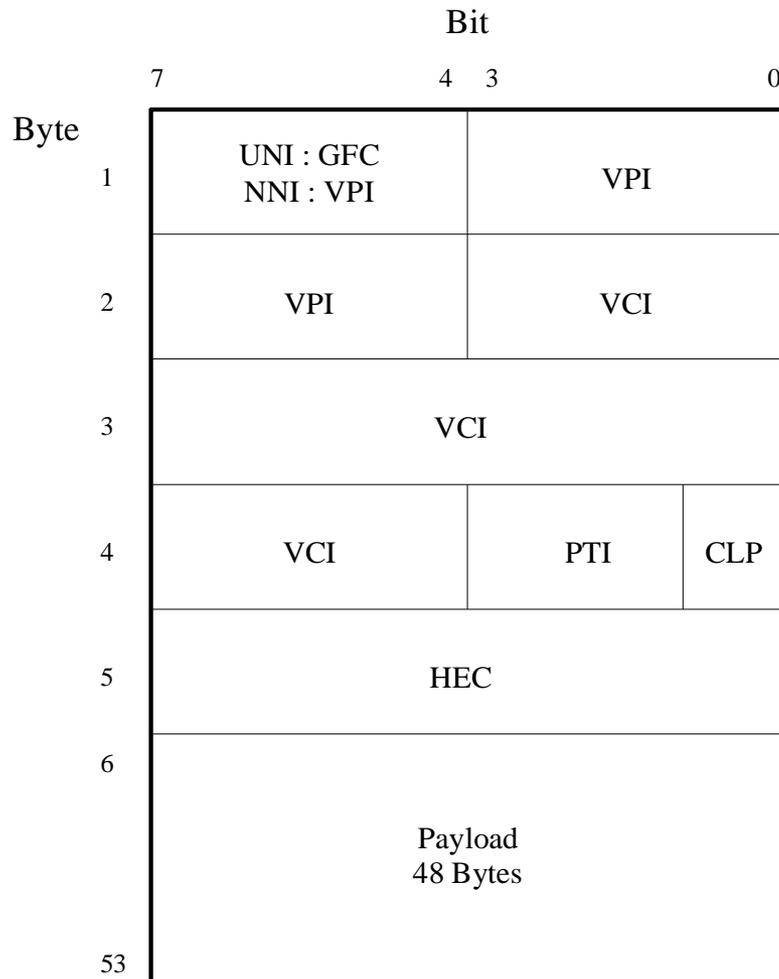


ATM-Cell without Payload, Idle Cell

Asynchronous Transfer Mode



2.3 Struktur einer ATM-Zelle

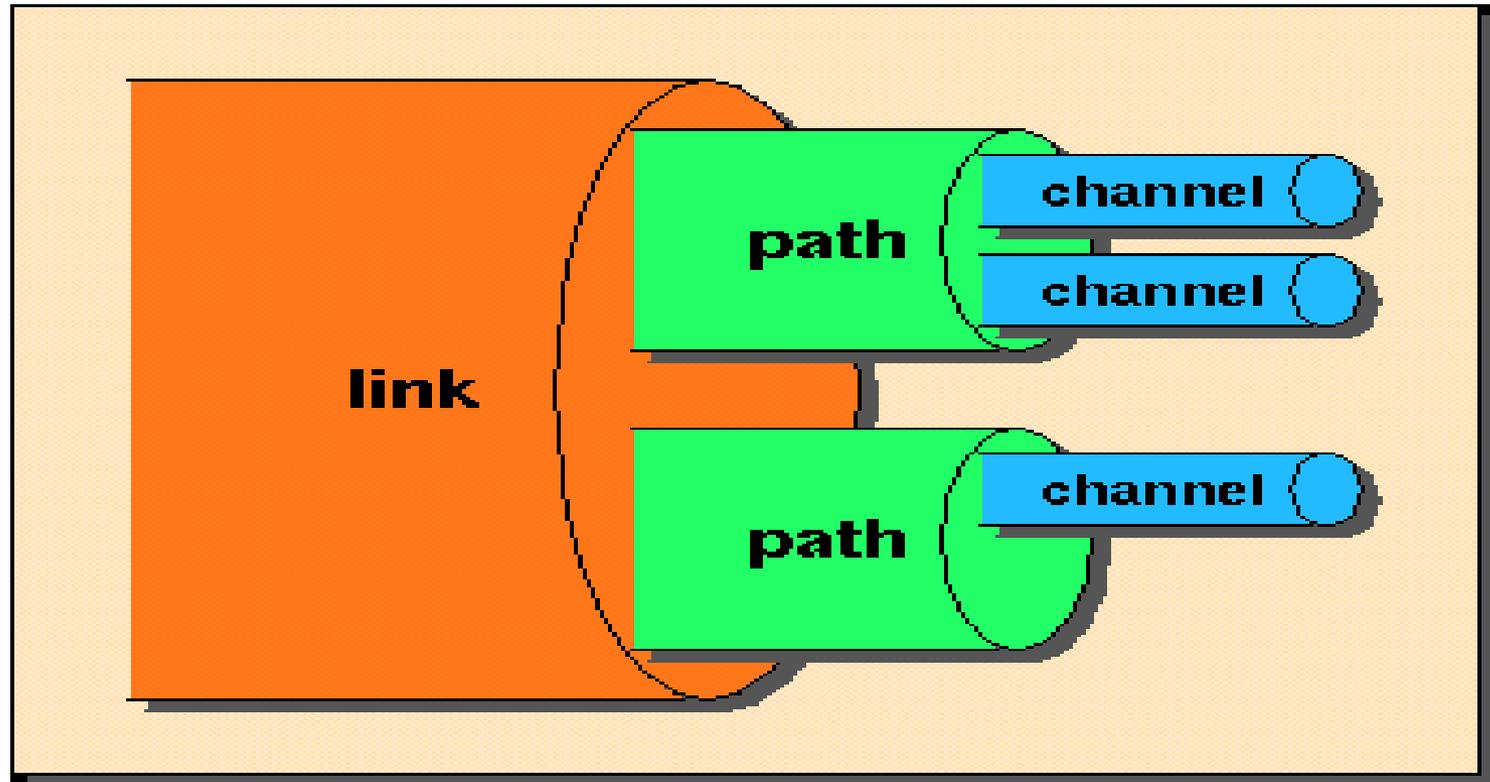


- GFC Generic Flow Control
- VPI Virtual Path Identifier
- VCI Virtual Channel Identifier
- PTI Payload Type
- CLP Cell loss priority, if 1 – the cell may be discarded, to avoid Network congestion
- HEC Header Error Control
- UNI User-Network Interface
- NNI Network interface
- OAM Operation Administration and Maintenance

HEC-P = $x^8 + x^2 + x + 1$
(CCITT I.361)



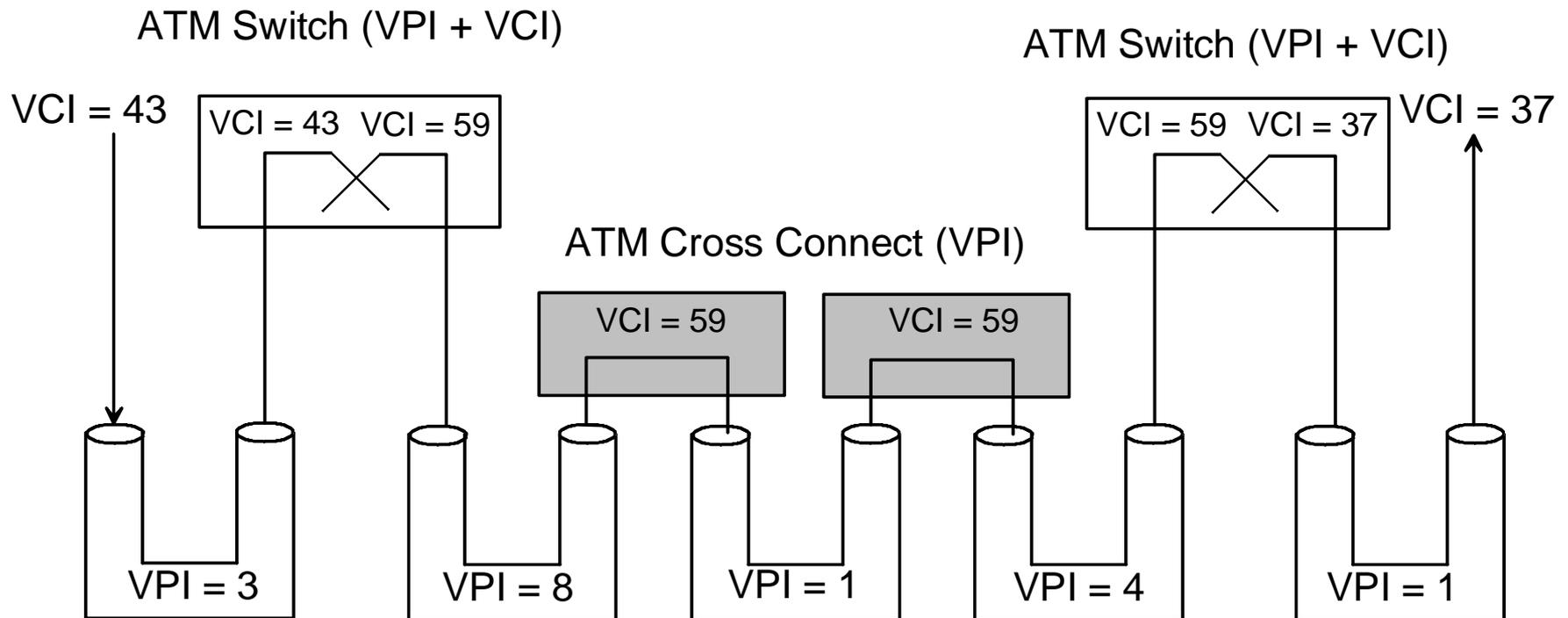
2.3 ATM - Virtuelle Kanäle



ATM arbeitet verbindungsorientiert, jedoch ohne Sicherungsschicht



2.3 Changing of VCI and VPI on the Way through the Net



2.3 Virtueller Netzwerklayer

Bsp: Point-to-Point-Protocoll (PPP)

- RFC 1661 – 1663
- Schicht-2 Rahmenformat
- Multiprotokollfähig (IP, IPX, AppleTalk, ...)
- eigenes Protokoll für Verbindungsaufbau, -abbau und -kontrolle (LCP)
- Mechanismus zum Konfigurationsaustausch, z.B. IP-Adresse (NCP)
- eigene Fehlerkontrolle
- Verhandlung von Schicht-3 Optionen, unabh. vom L3 Prot.
- gut geeignet für Modem-Wählverbindungen

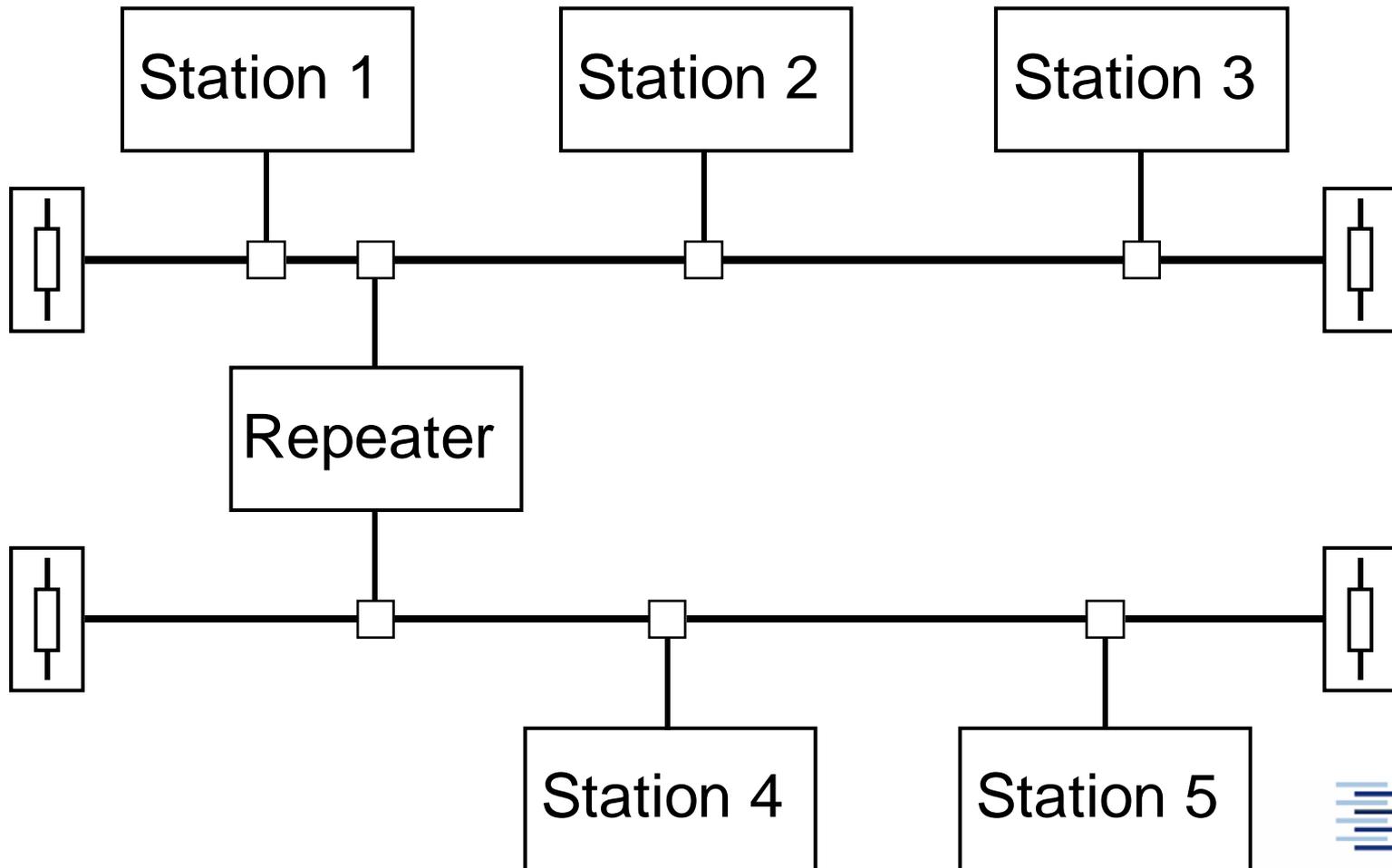


2.4 Netzwerk-Zugangskomponenten

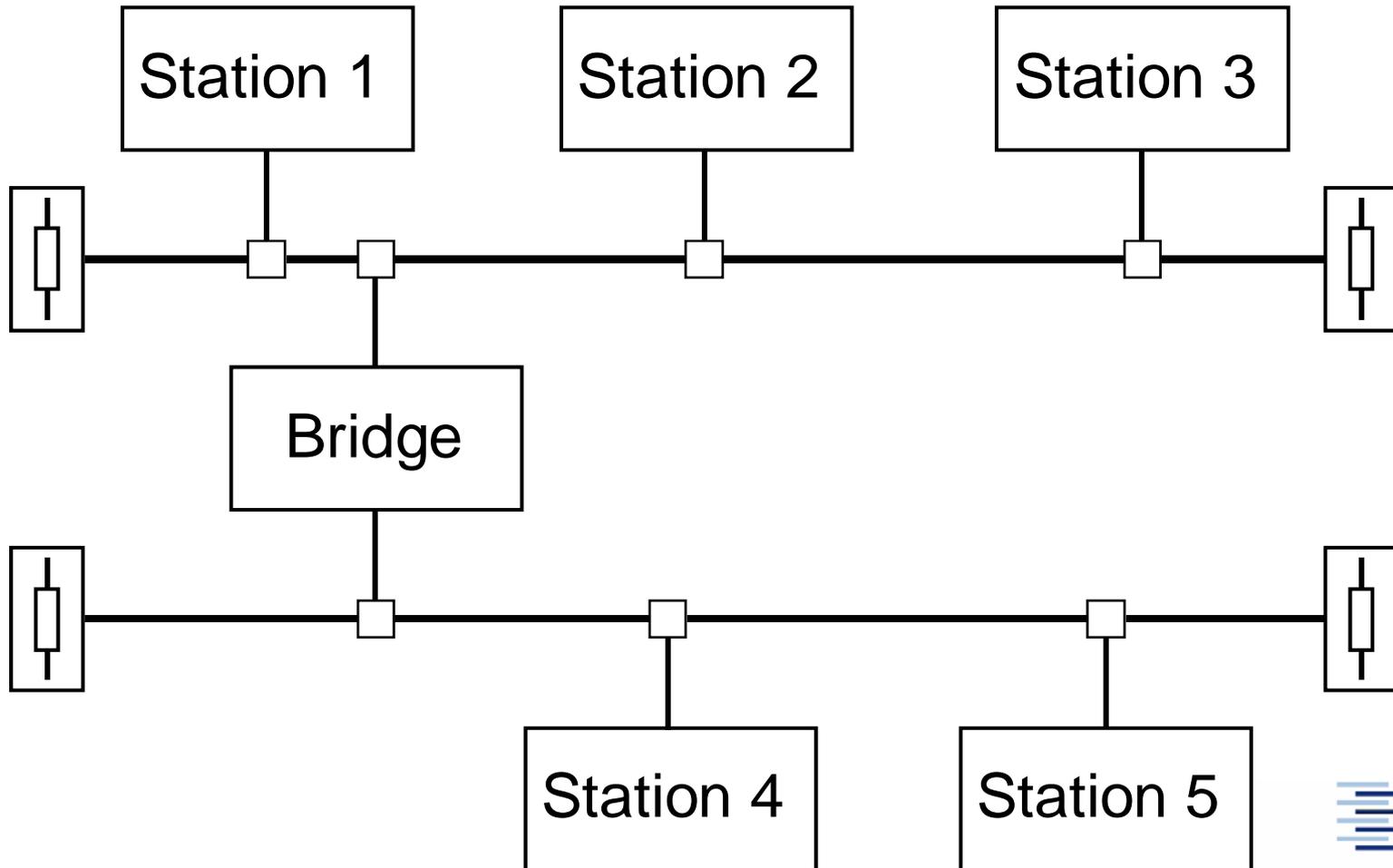
- ▶ Netzwerkinterface
 - ▶ Ethernet-/FDDI-/ISDN-...Netzwerkkarte, Modems, ...
- ▶ Keine weiteren Komponenten
 - ▶ 10Base2 Ethernet, Modem-Modem, ...
- ▶ Signalverteiler/-aufbereiter
 - ▶ Transceiver (10Base5), Hubs (10/100/1000BaseX), WLAN-APs, Medienwandler, Repeater
- ▶ Layer-2 Vermittlungsknoten
 - ▶ Bridges, Switches, ISDN-Anlage (aus Datennetz-Sicht)



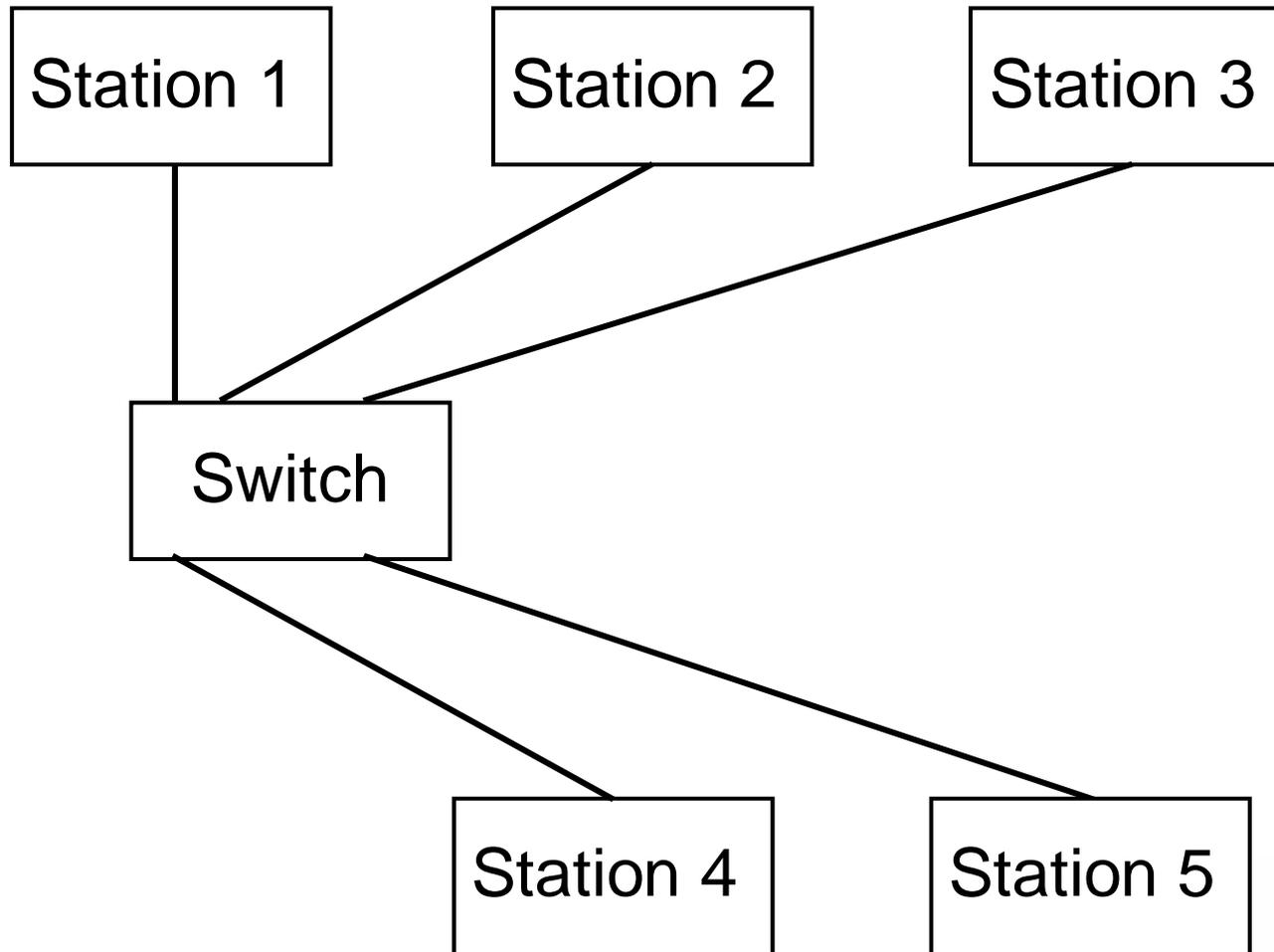
2.4 Netzstrukturierung auf Schicht 1



2.4 Netzstrukturierung auf Schicht 2



2.4 Netzstrukturierung auf Schicht 2

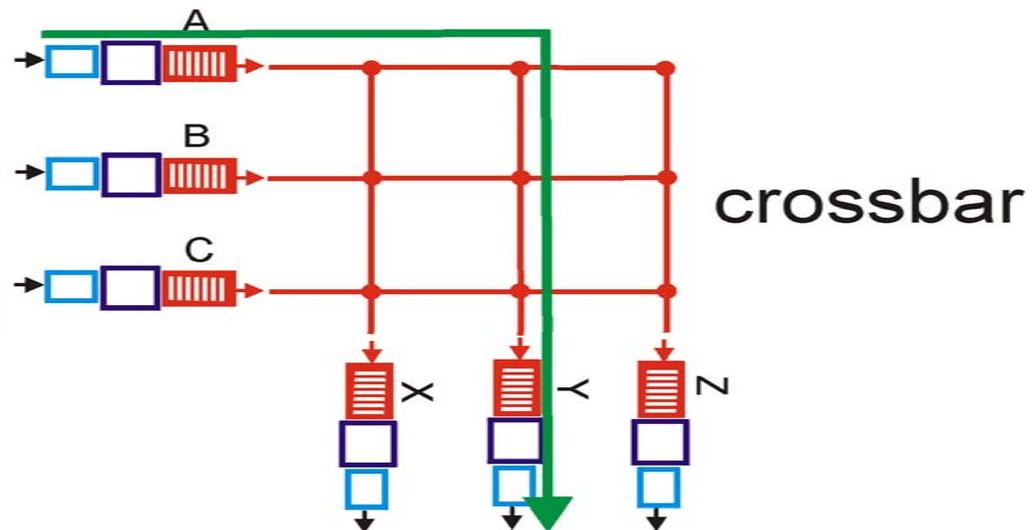
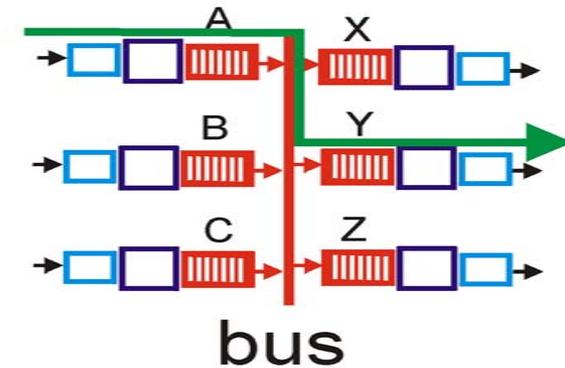
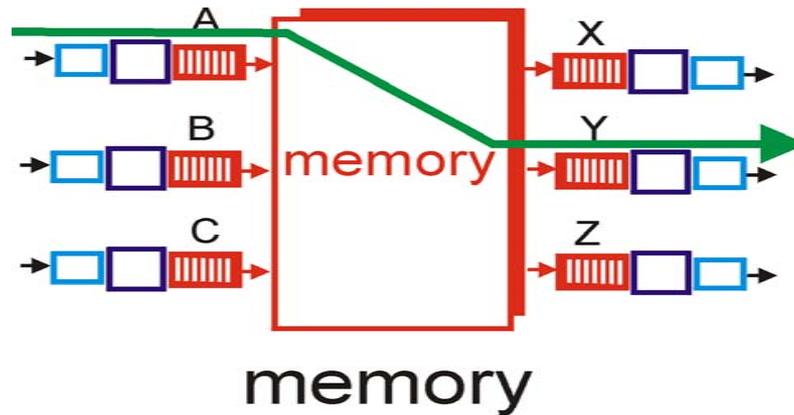


2.4 Switching/Bridging

- ▶ Vermittlung auf dem Layer 2: Pakete werden an Interfaces gemäß Hardware-Adresstabellen (MAC-Tables) weitergeleitet.
- ▶ Selbstlernend: Switch/Bridge ‚horcht‘ auf erscheinende MAC Adressen.
- ▶ Merkt sich gelernte Adressen in Forwarding Database
- ⇒ **Aufteilung der Layer 1 Kollisionsdomänen.**
- ▶ Ursprünglich: Bridges zur Segmentierung von Busnetzen.
- ▶ Heute: Switches zur flexiblen Strukturierung & Protokollwechsel.
- ▶ Häufig auch zur direkten Hostanbindung.
- ⇒ **Single Media Access (Sicherheit, Leistungsfähigkeit/Duplex).**



2.4 Switch Architekturen



Zwei Switchtypen:

- Store-and-Forward
- Cut-Through



Switch

Chassis



2.4 Adressierung und Vermittlung im Physical Layer



Erzeugung, Wandlung
und Weitergabe des Signalflusses



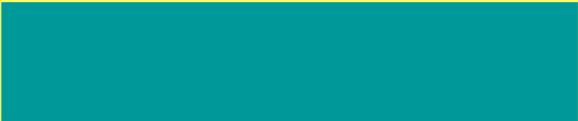
--

Repeater, Hubs,
Medienwandler

2.3 Adressierung und Vermittlung im Link Layer




Steuerung des Datenstrom
durch Schaltung MAC-basierter Kanäle



Medium Access Control (MAC)



Bridges, Switches



Selbsteinschätzungsfragen

1. Was müssen sich leitungsvermittelnde Komponenten im Unterschied zu paketvermittelnden ‚merken‘?
2. Warum müssen Ethernet Sender ihr Signal für eine Round-Trip Laufzeit mithören?
3. Warum sendet nach Kollisionseintritt ein Host erst, nachdem er einen Sendeslot gewürfelt hat?
4. Welche Art von Vermittlungskomponente muss sich zwischen Ihrem Telefon-Internetanschluss und jedem Internet Host befinden?

