

# 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
  - 2.5 Ethernet Switching



# Zum Inhalt

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

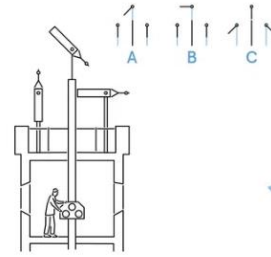
Dazwischen liegen die Fragen nach der Übermittlung in Kabeln (welchen?), dem (geteilten) Zugriff auf ein Übertragungsmedium und wie sich Teilnehmer dabei abstimmen, schließlich den gängigen Protokollen (wie Ethernet) und ihren Vermittlungskomponenten.

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

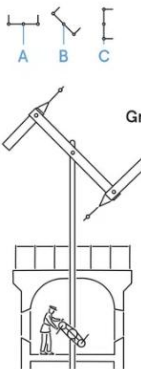


# Kommunikation ist ein uraltes Bedürfnis

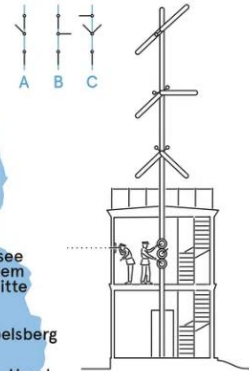
Vor mehr als 200 Jahren:  
Optische Telegraphenlinien ermöglichten erste Weitverkehrskommunikation



Hamburger optischer Telegraf



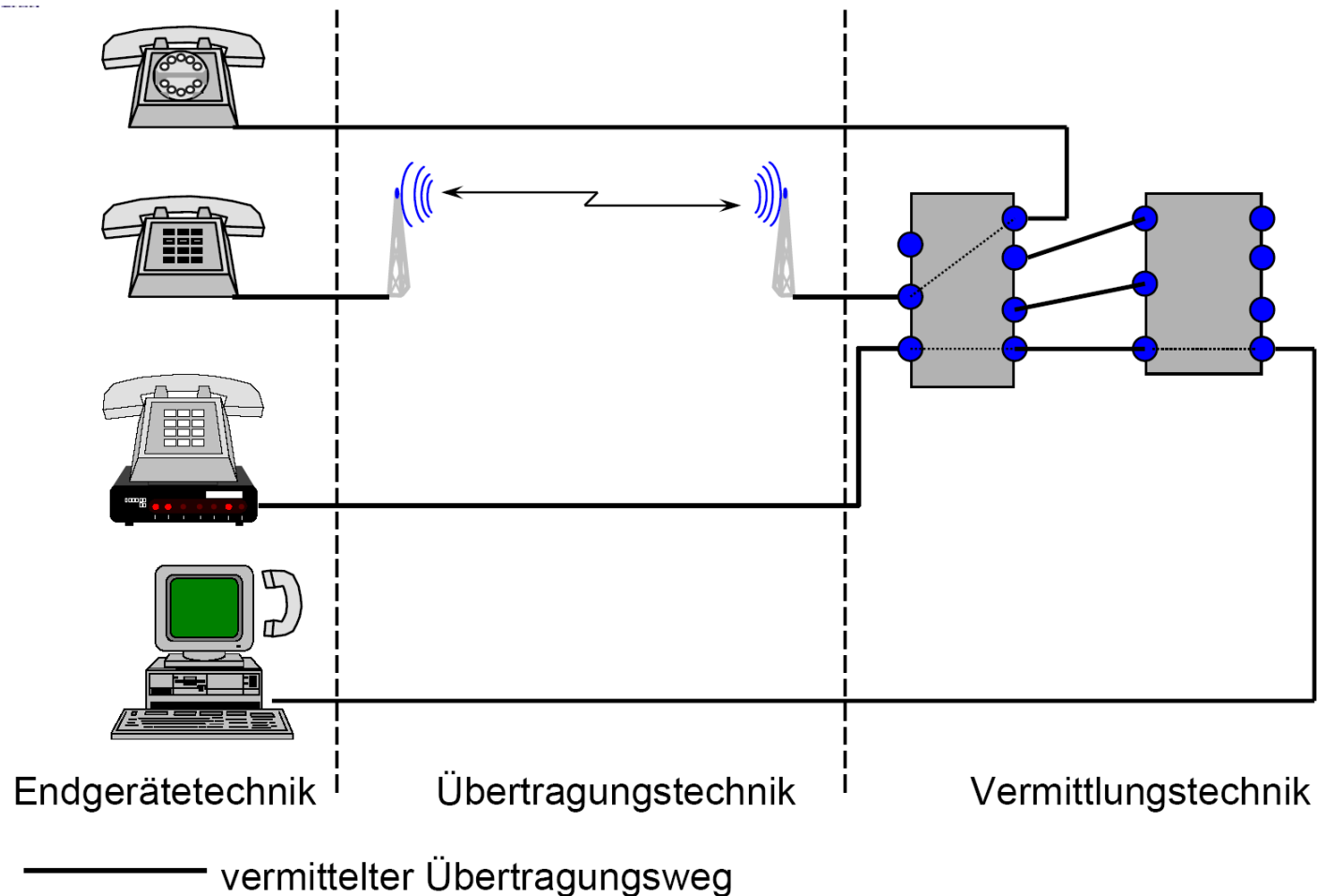
Metz-Mainz:  
Optischer Telegraf  
nach C. Chappe



Berlin-Koblenz:  
Preußischer  
optischer Telegraf

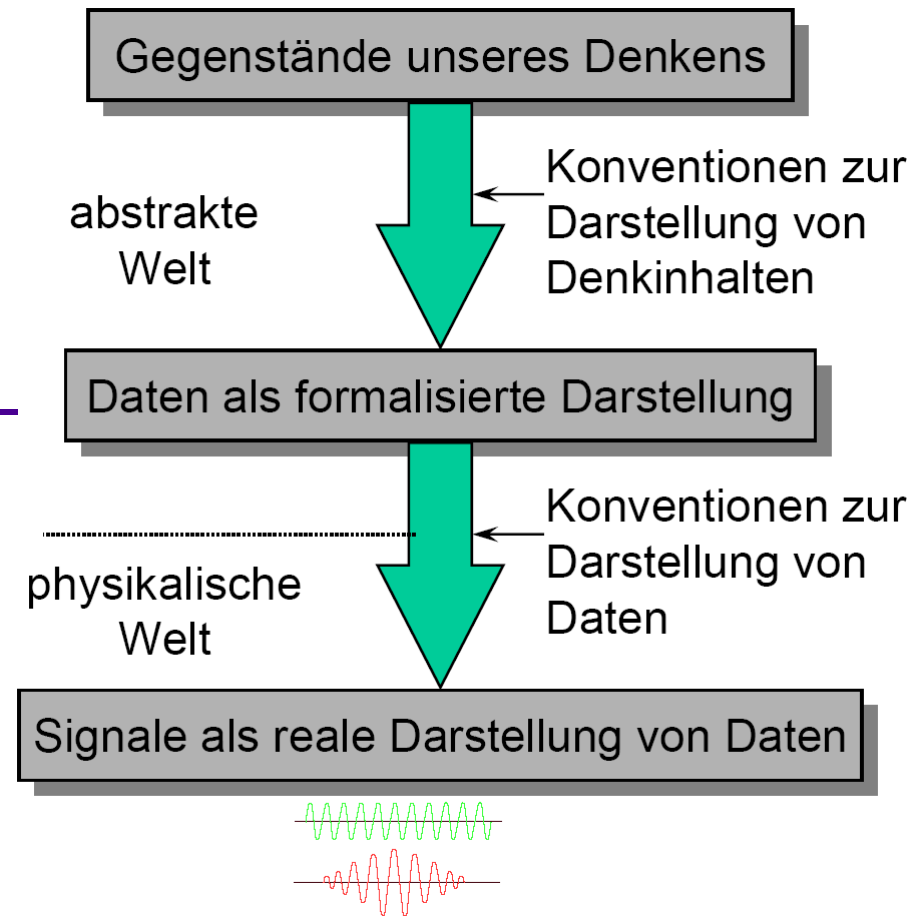
Netzabdeckung in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts  
- die Linien optischer Telegrafen

# 1 Klassisches Modell der Kommunikationstechnologie

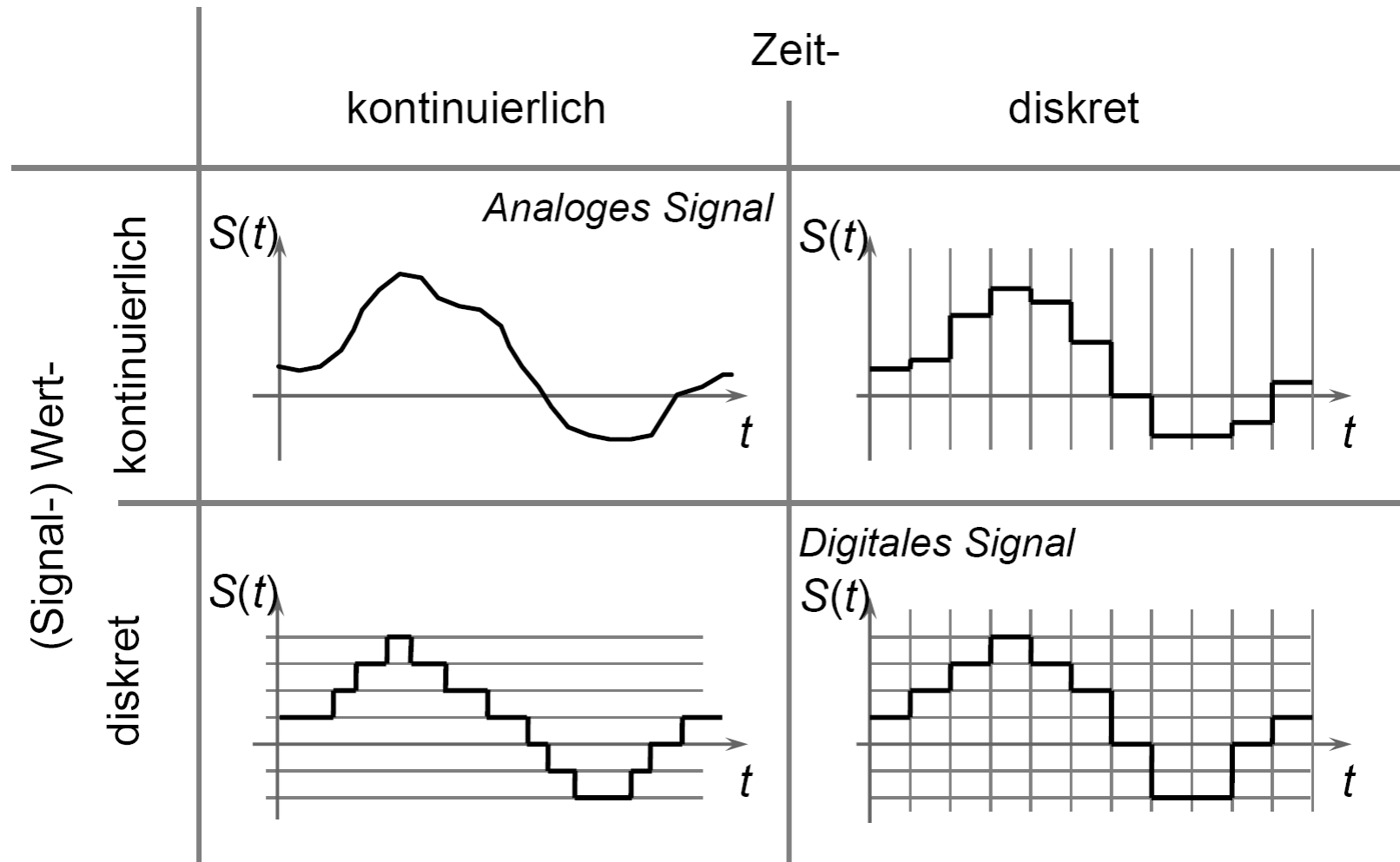


# 1.1 Datenübertragung durch Signale

- 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



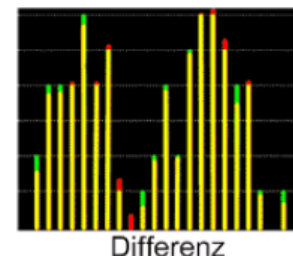
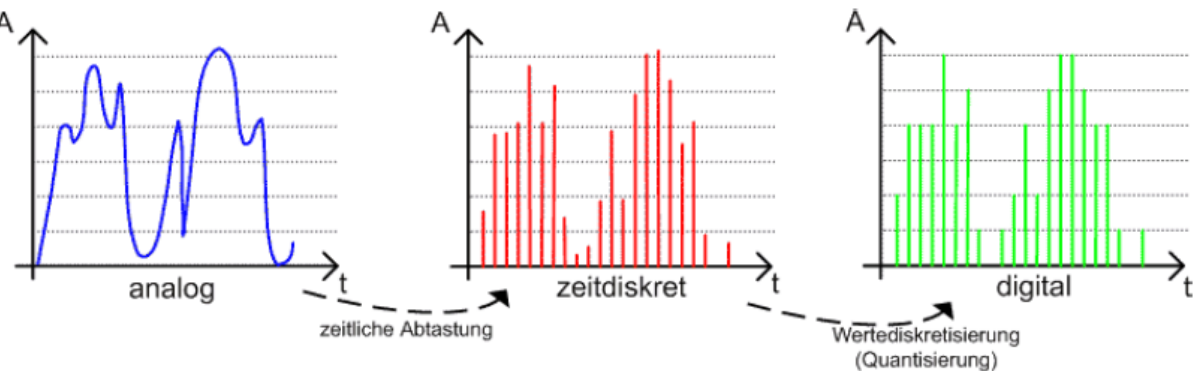
# 1.1 Signalklassen



# 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):

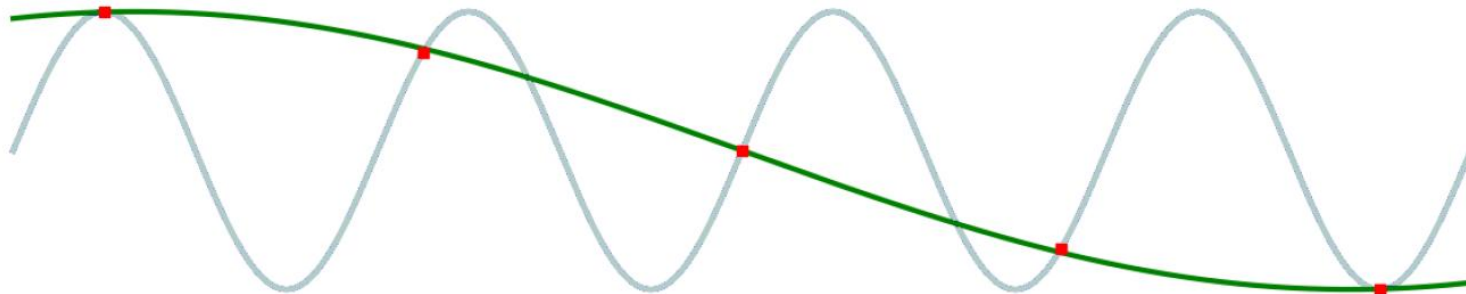
Theorem: Eine Signalfunktion, die nur Frequenzen im Frequenzband  $B$  enthält, wobei  $B$  gleichzeitig die höchste Signalfrequenz ist, wird durch ihre diskreten Amplitudenwerte im Zeitabstand  $t = \mathbf{1/(2 \cdot B)}$  vollständig bestimmt.

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



# 1.1 Unterabtastung

- Abtastung bei zu geringer Frequenz?



- Niedrige Frequenzen werden von hohen ununterscheidbar
- Es entstehen Artefakte: Aliasing



# 1.1 Aliasing Artefakte

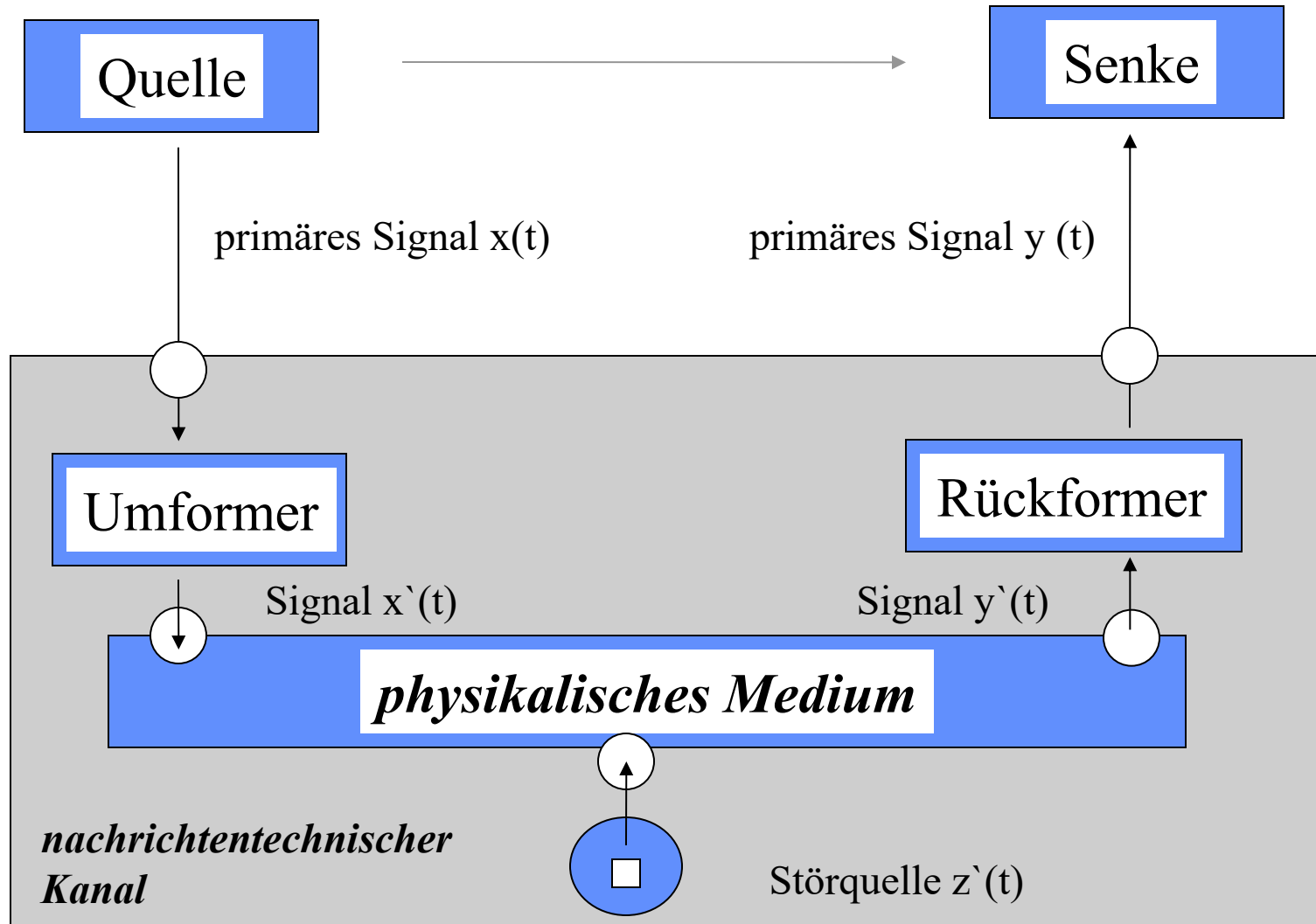


360000 Pixel: Jörn Anemüller, Oldenburg

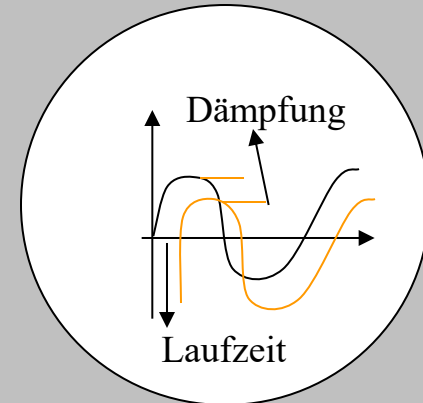
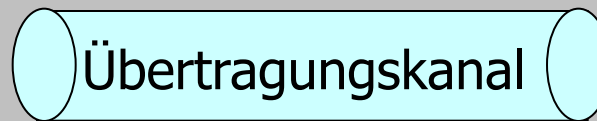
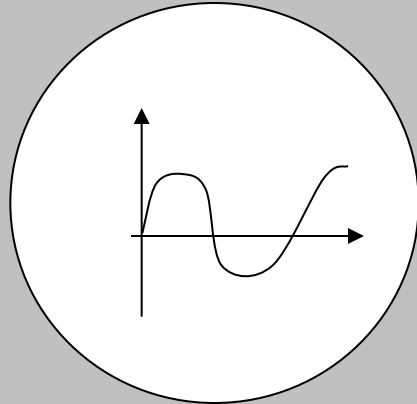


Originalbild: elbphilharmonie.de

# 1.2 Signalübertragung: Modell



# 1.2 Signalübertragung: Kanaleinfluss



Signalveränderungen durch

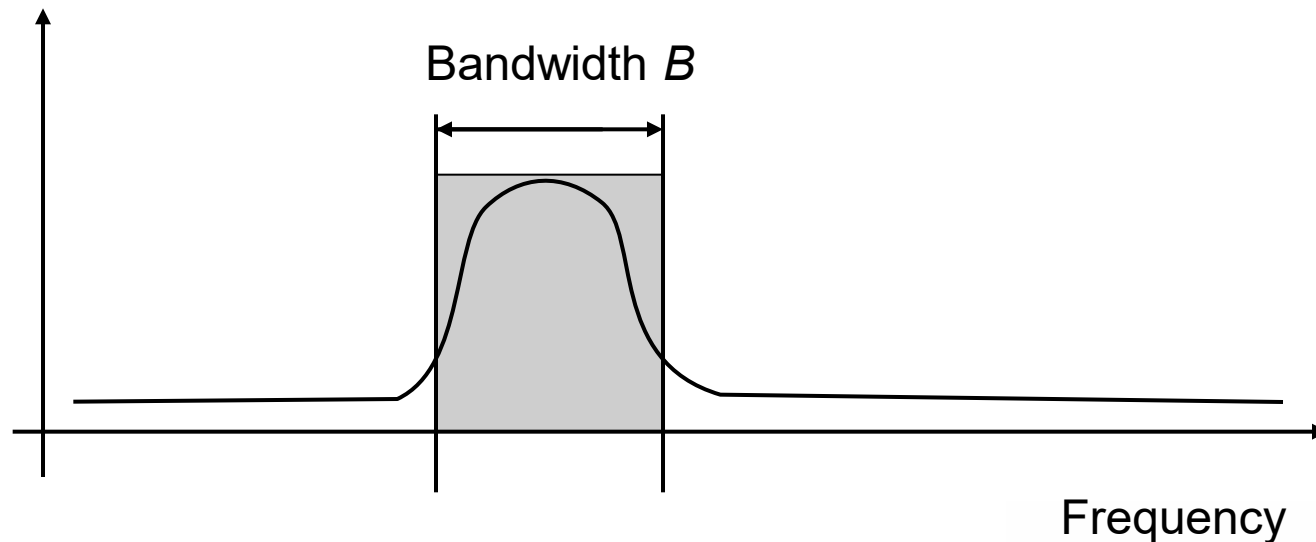
- Kanaleinflüsse (Dämpfung, Reflektion, Nebensprechen)
- Signalausbreitung (Laufzeitunterschiede, Dispersion)



# 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.

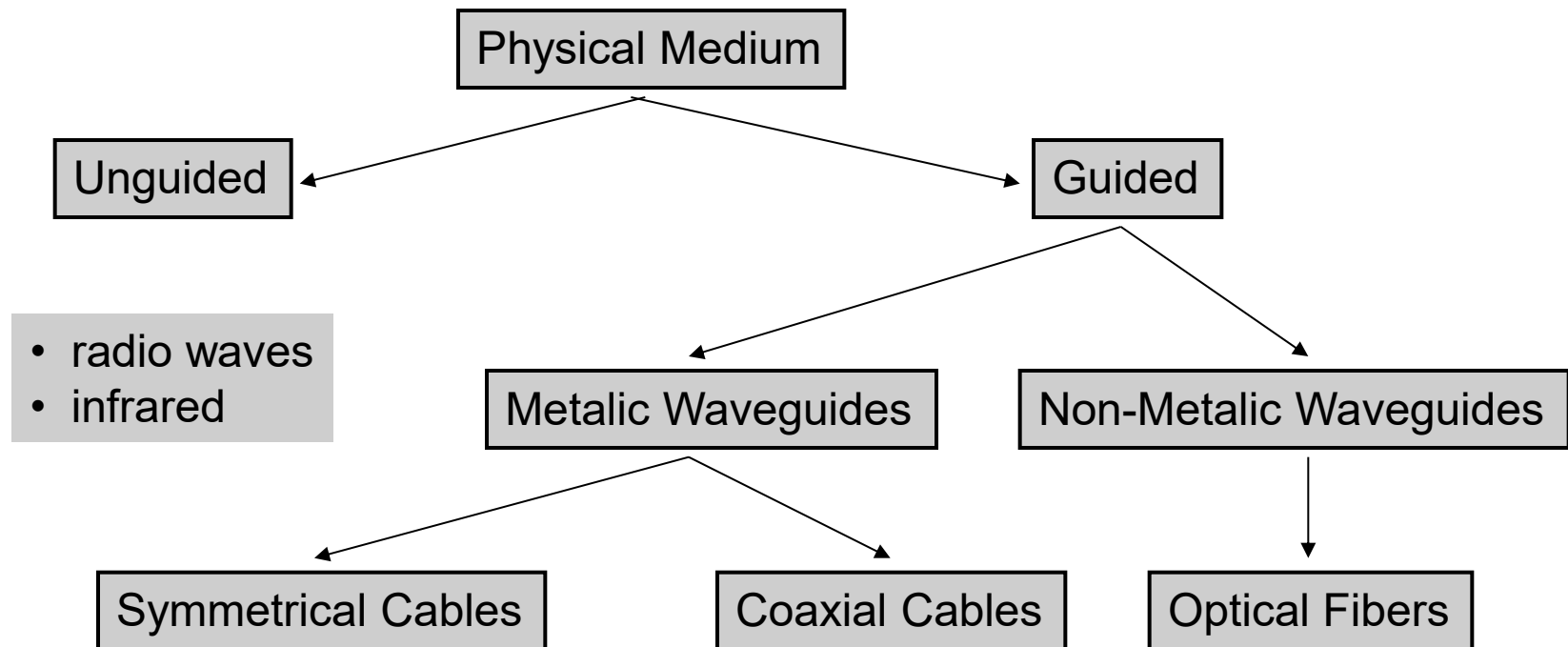
Bsp: Kanal mit 3 kHz  
Signal-Rauschverh. von 30 dB

→ max. Übertragungsrate: 30 kbit/s

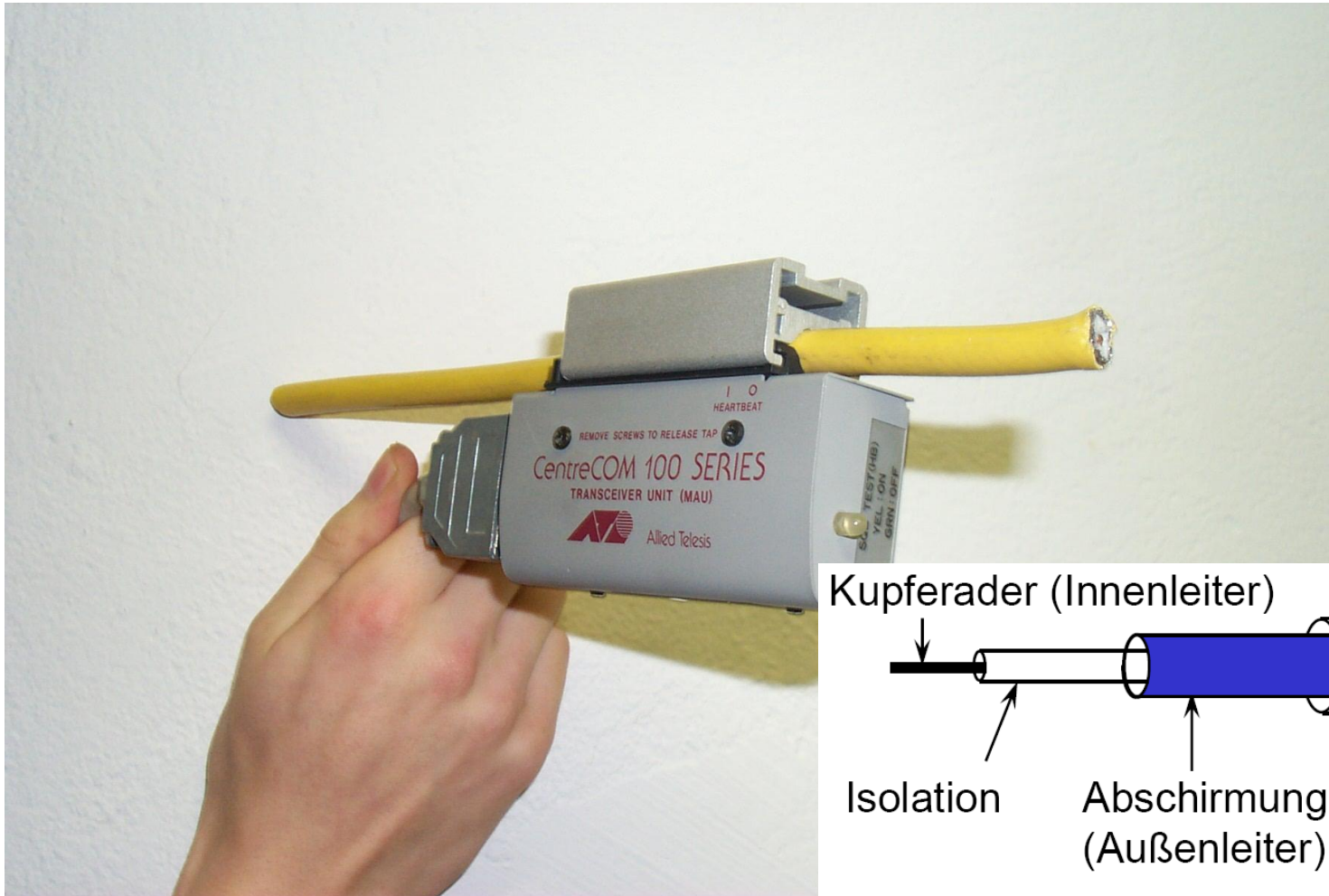
Für die aktuelle Kanalberechnung muss stets das Minimum der beiden Ergebnisse genommen werden!



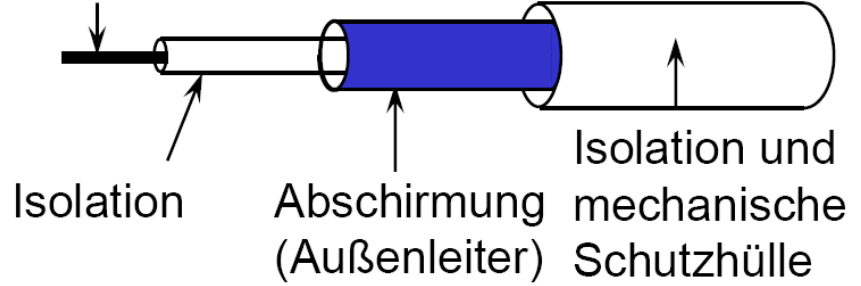
# 1.3 Medienübertragung

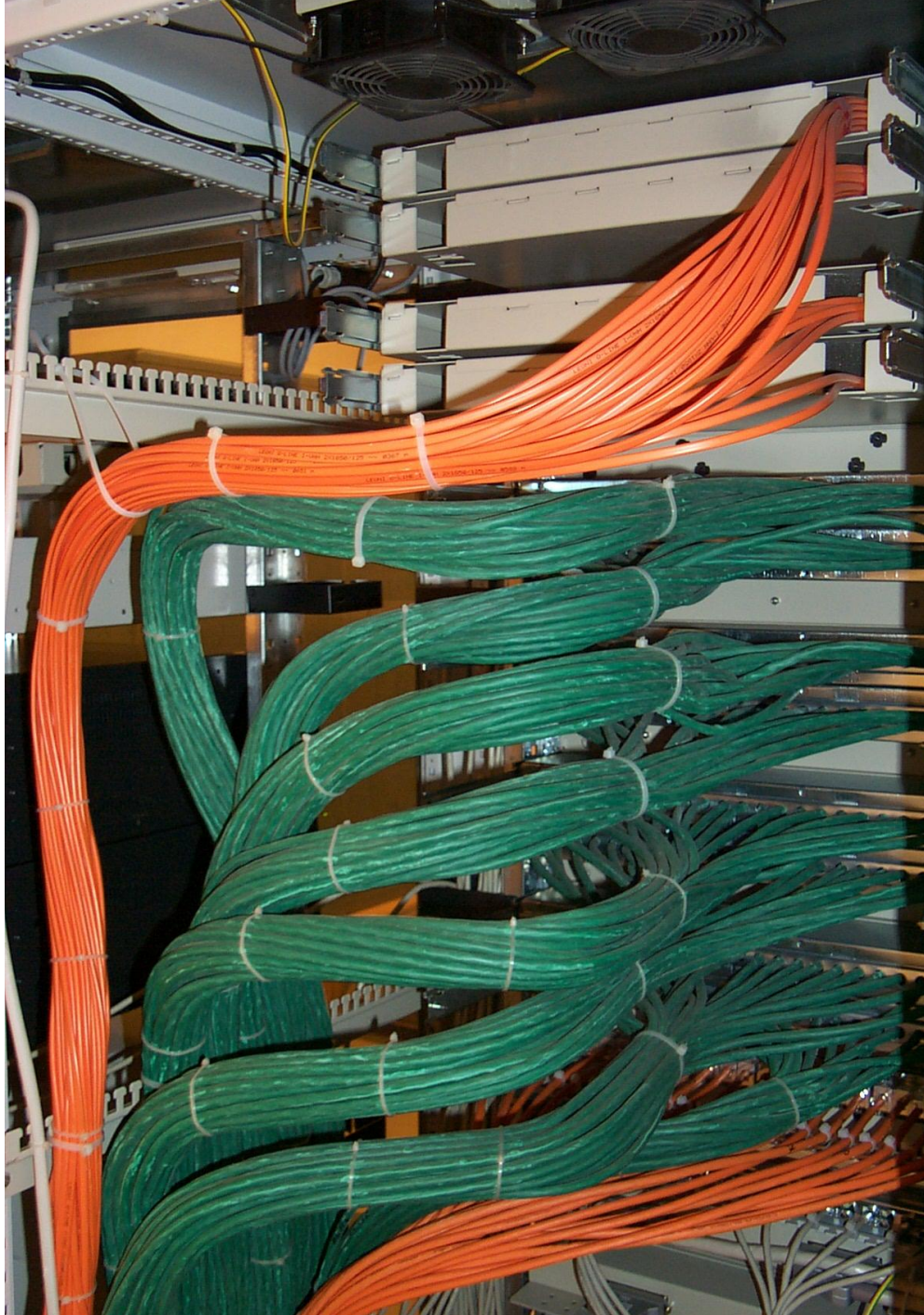


# 1.3 Verkabelung: Früher Coax



Kupferader (Innenleiter)



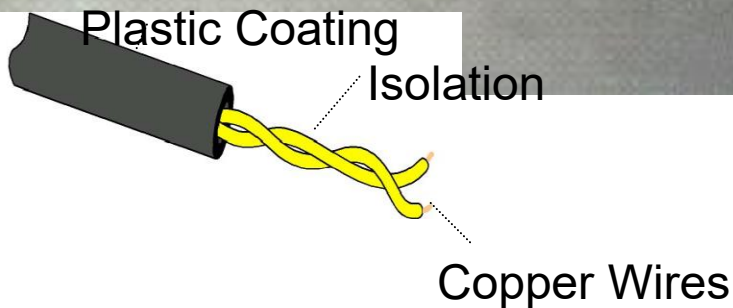
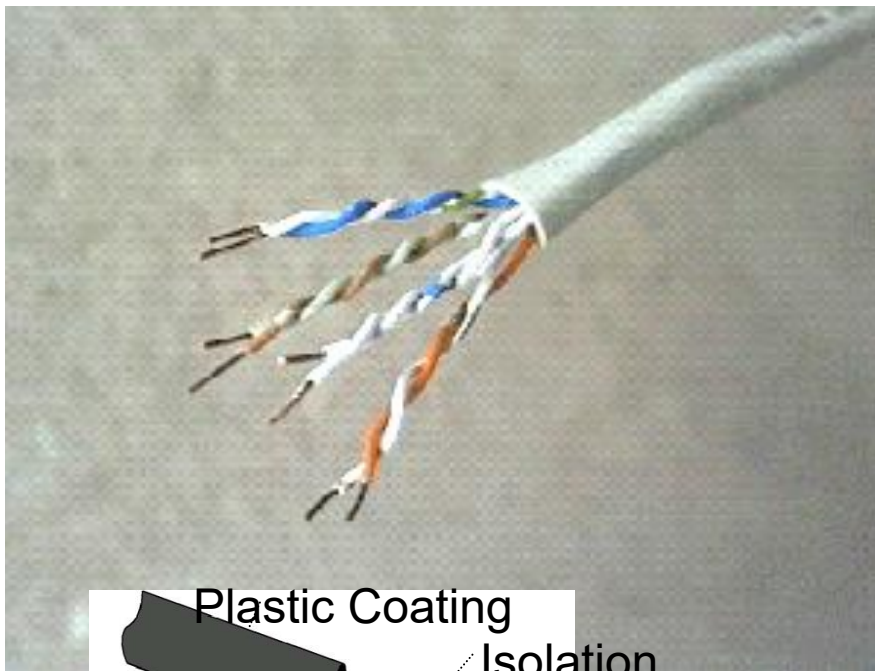


# Heute Salat: Verdrillte Kupferadern

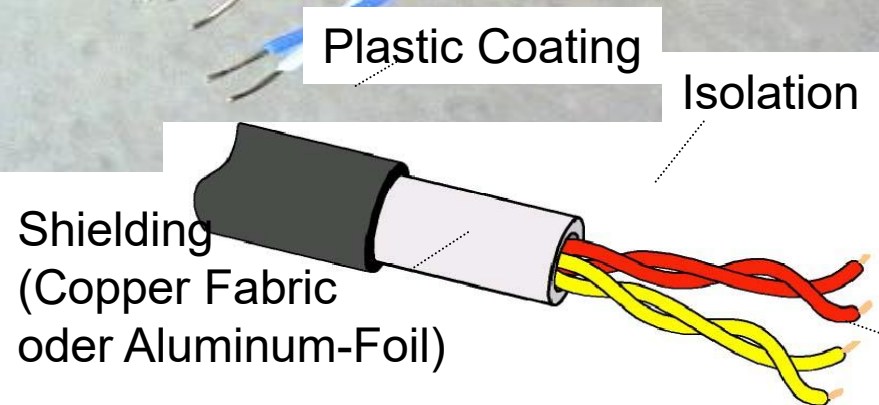
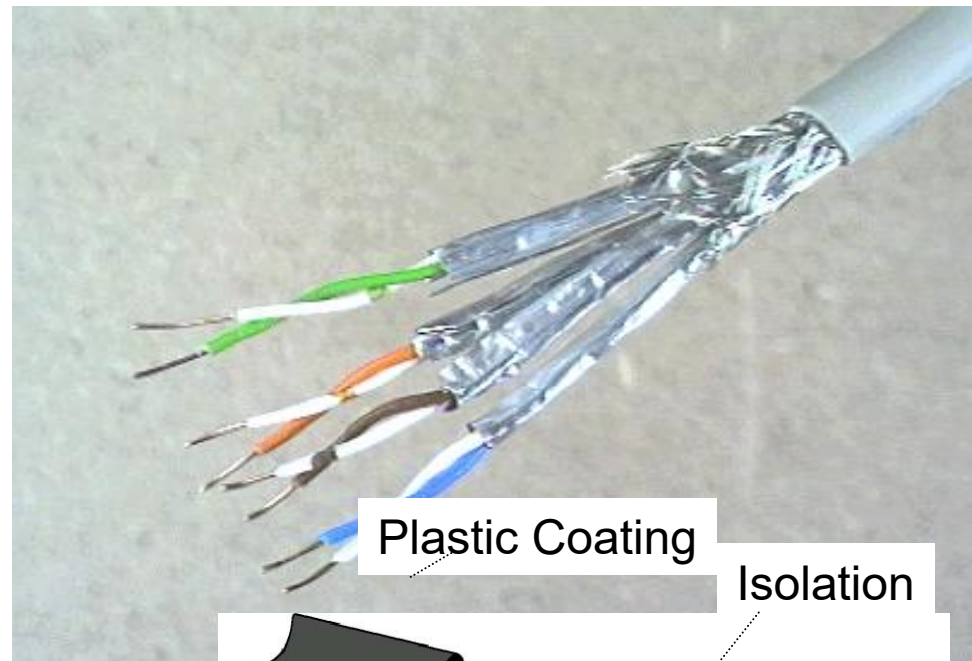


# 1.3 Typen von Kupferkabeln

## Unshielded Twisted Pair



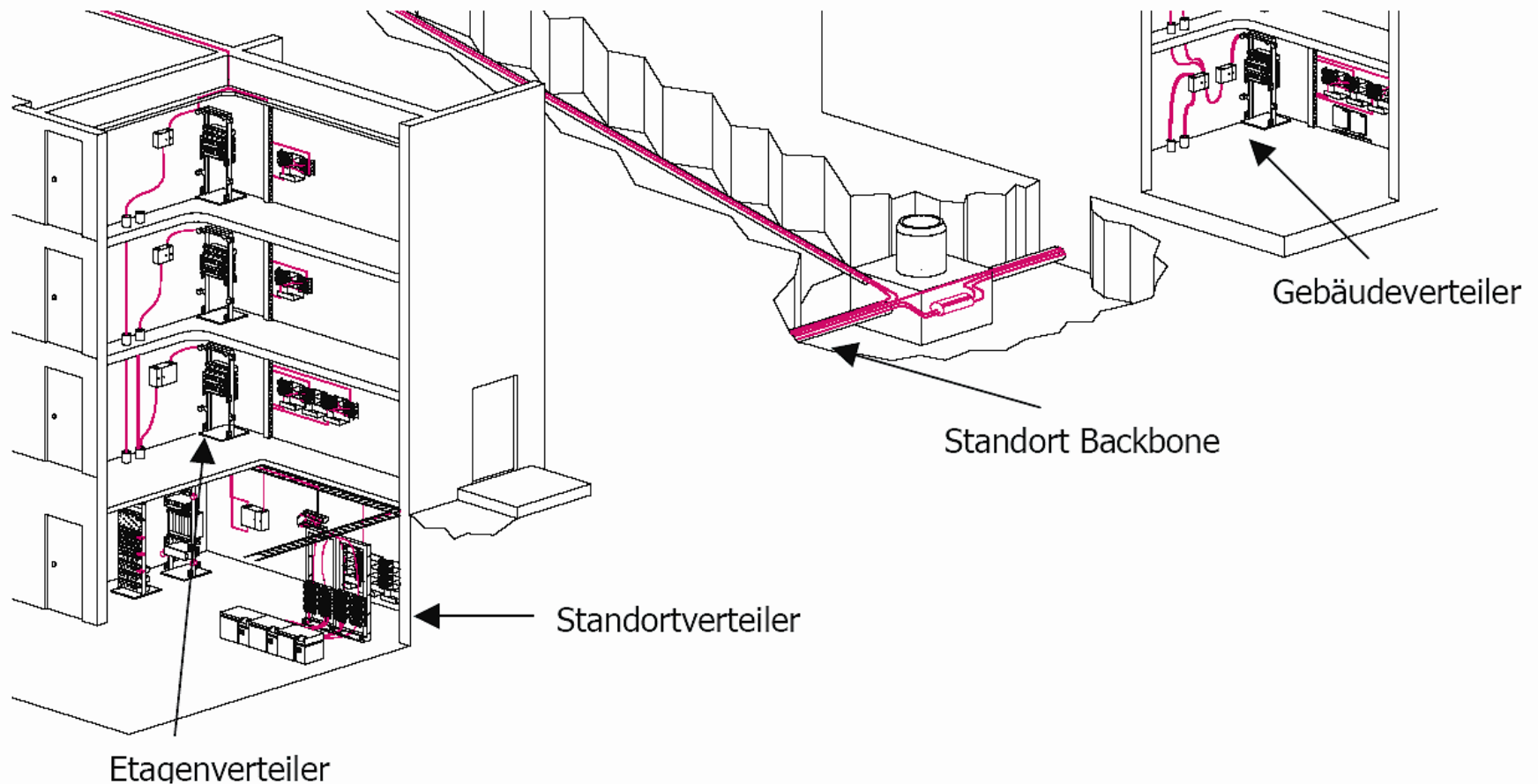
## (Screened) Shielded Twisted Pair



# 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 <sub>A</sub> /Klasse E <sub>A</sub> :	500 MHz	10GBase-T Ethernet
► Kategorie 7 /Klasse F:	600 MHz	≥ 10GBase-T
► Kategorie 7 <sub>A</sub> /Klasse F <sub>A</sub> :	1.000 MHz	~ 25GBase-T
► Kategorie 8 /Klasse G:	2.000 MHz	40GBase-T (~30 m)



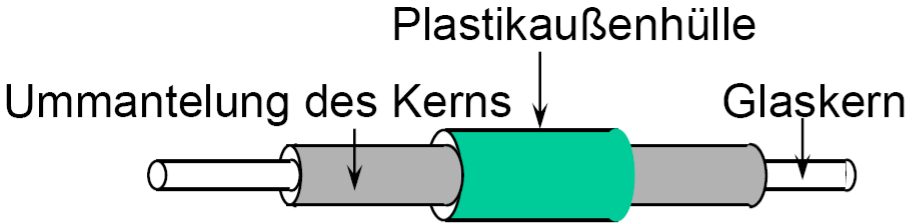
# 1.3 Leistungsparameter (Kupfer)

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

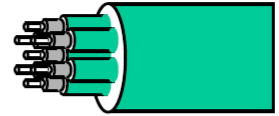
- Verdrahtungsprüfung (korrekte Verbindungen, Schirmungen, etc.)
- Streckenlänge
- Laufzeit und Laufzeitunterschiede
- Schleifenwiderstand
- Signaldämpfung auf allen vier Paaren
- Dual NEXT (Nahnebensprechen) in allen 6 Paarkombinationen
- ACR = Nebensprechdämpfung – Dämpfung
- PS NEXT = Summe aller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



# 1.3 Glasfaser - Typen



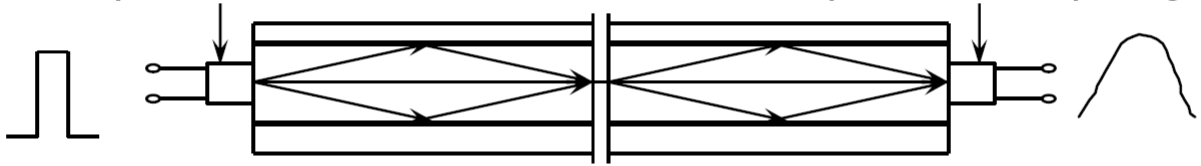
Single core



Multicore

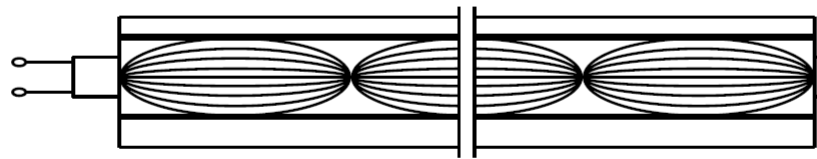
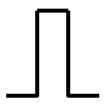
Optischer Sender

Optischer Empfänger



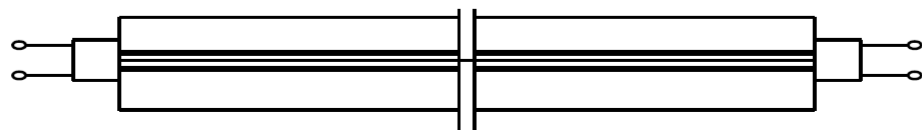
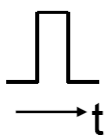
(i) Multimode-Faser mit Stufenindex

Elektrisches  
Eingabesignal



(ii) Multimode-Faser mit Gradientenindex

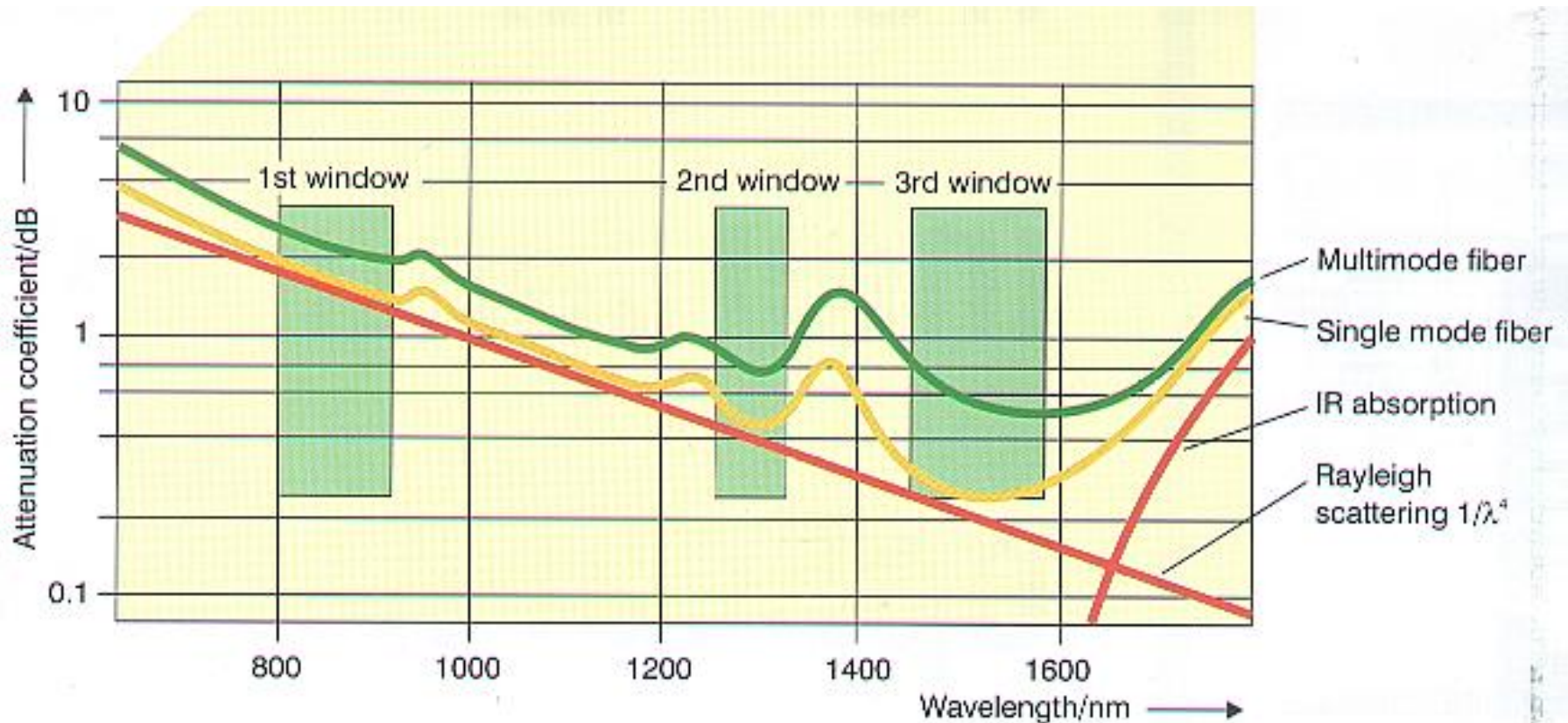
Elektrisches  
Ausgabesignal



(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

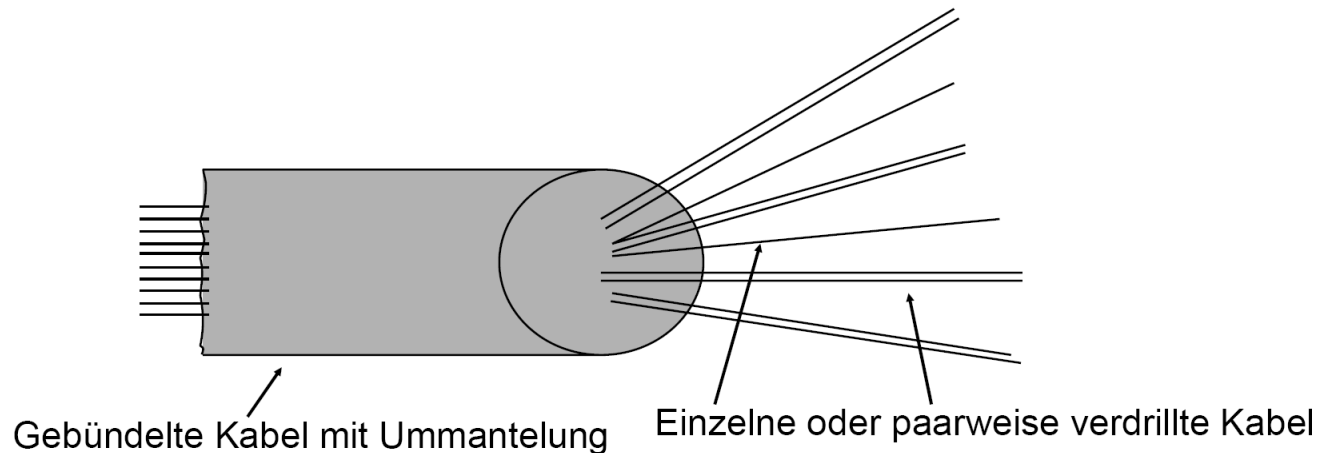
Ein Übertragungskanal kann durch Multiplexen während des Zugriffs in mehrere Teilkanäle unterteilt werden:

- Space Division Multiple Access SDMA  
(parallel connections)
- Time Division Multiplex Access TDMA (Time slotting)
- 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 Richtungs-Multiplexing

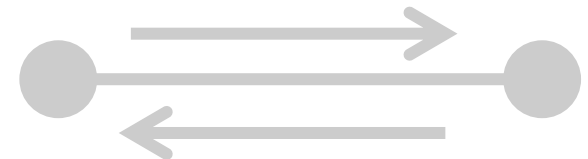
Simplex



Half-duplex

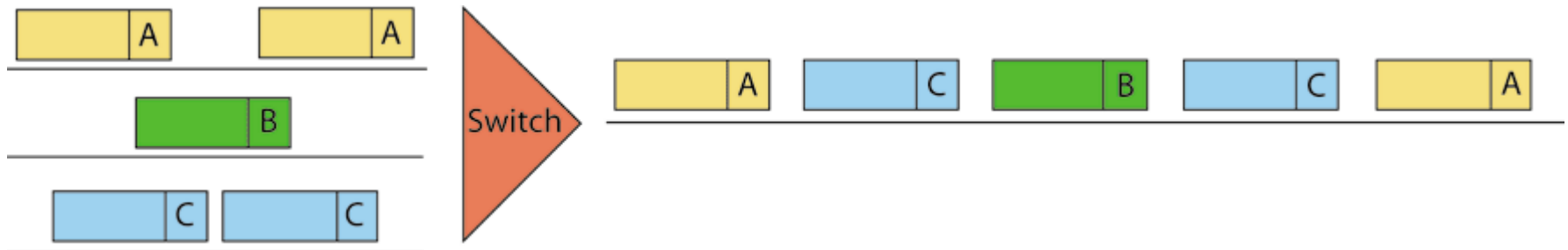
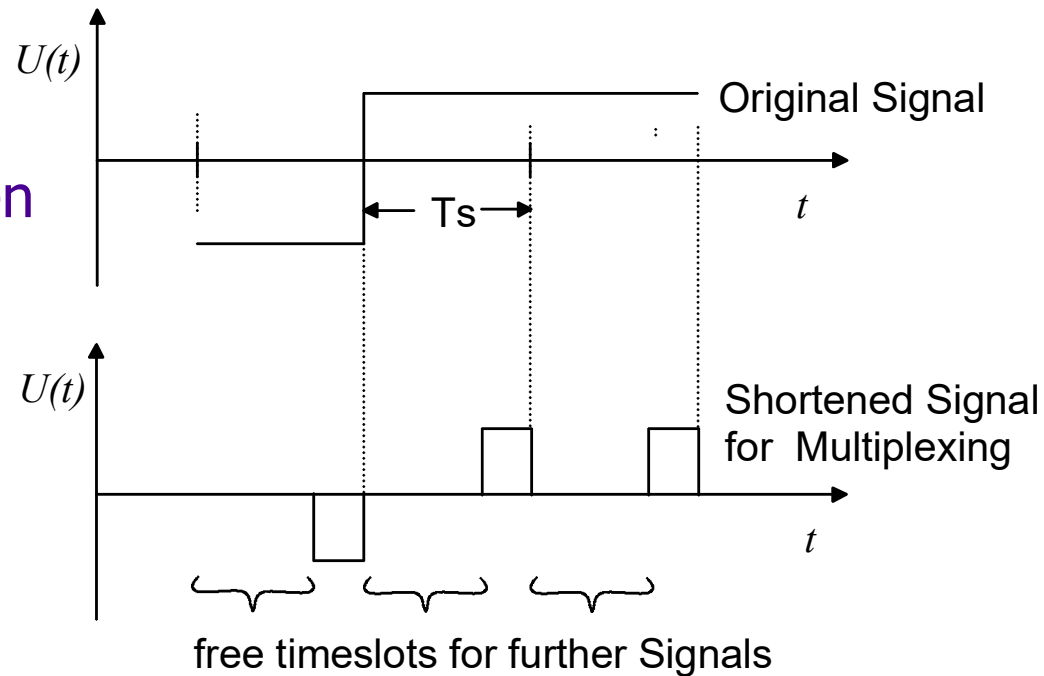


Full-duplex



# 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



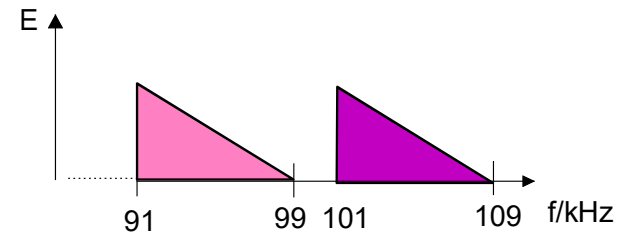
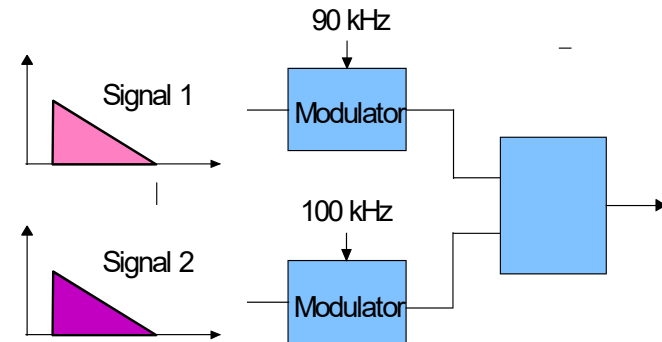
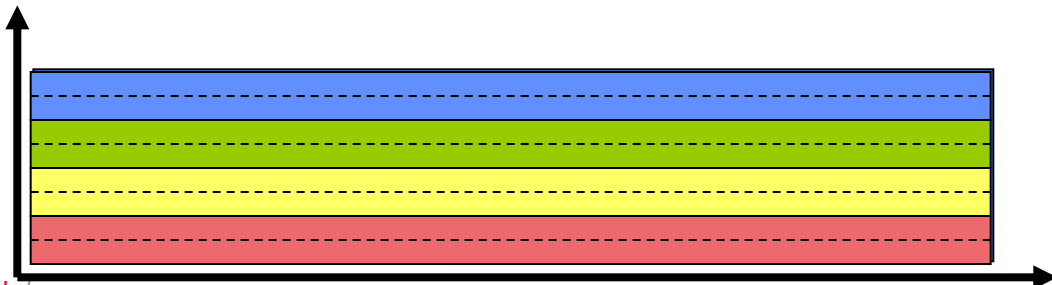
# 1.4 Frequency Division Multiplexing

- 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

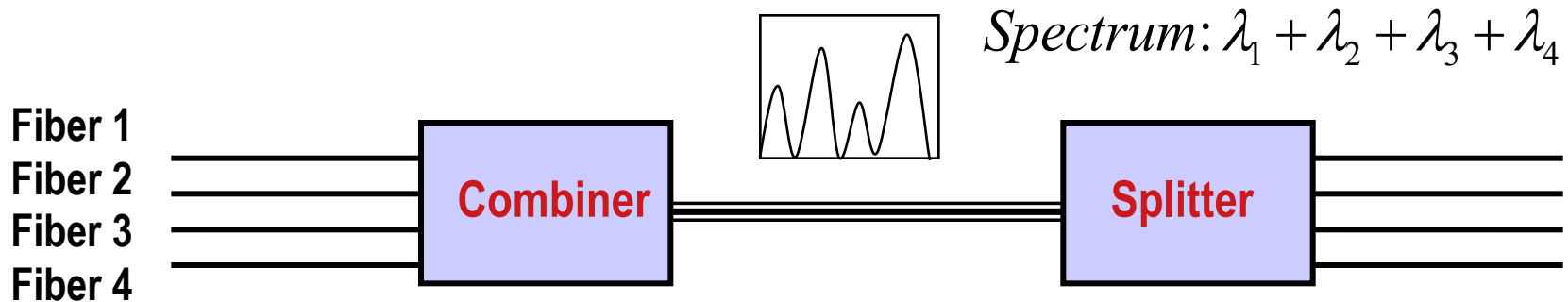


Frequenz



# 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

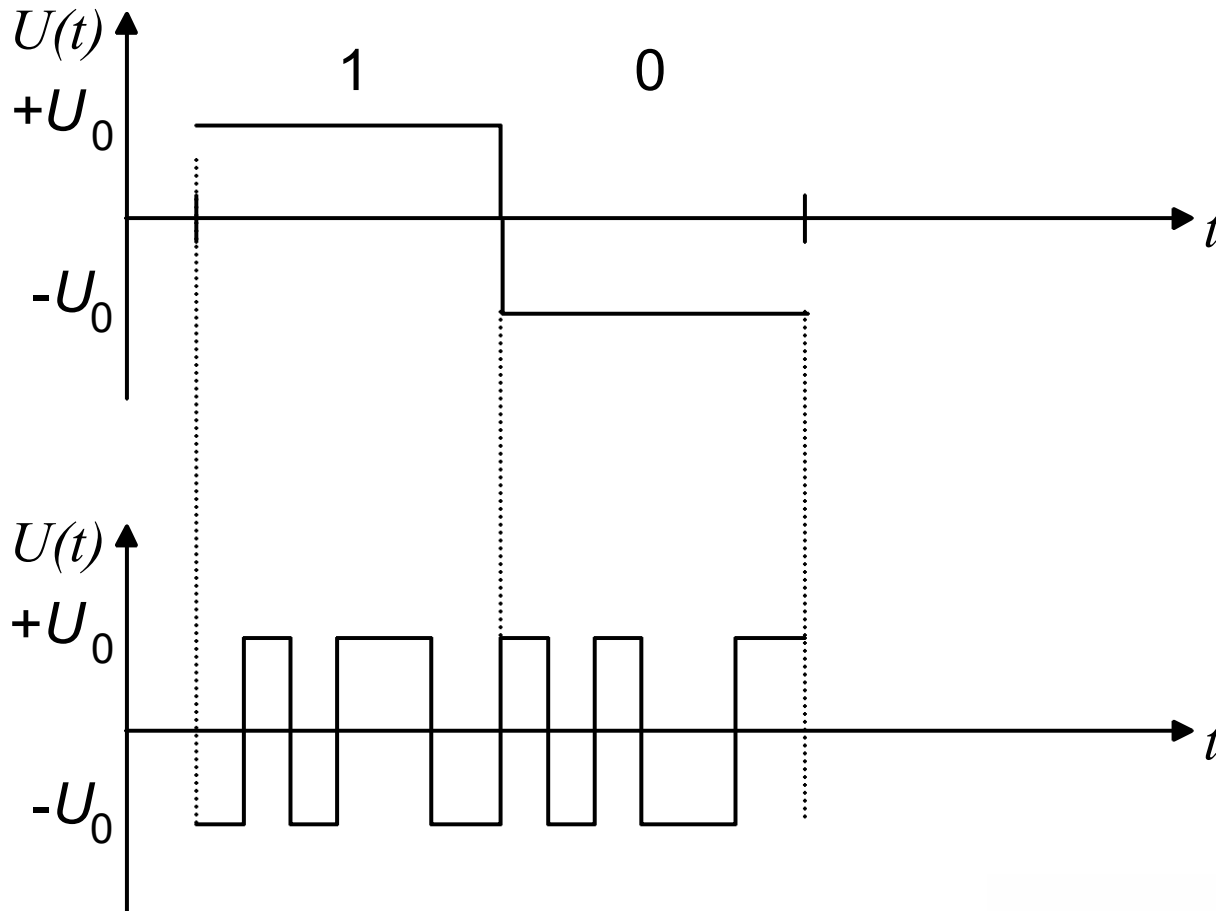


# 1.4 Code Division Multiplexing

- ▶ CDMA (Code Division Multiple Access)
  - ▶ alle Stationen operieren auf derselben Frequenz und nutzen so gleichzeitig die gesamte Bandbreite des Übertragungskanal
  - ▶ 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.  $2^{32}$ ) 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

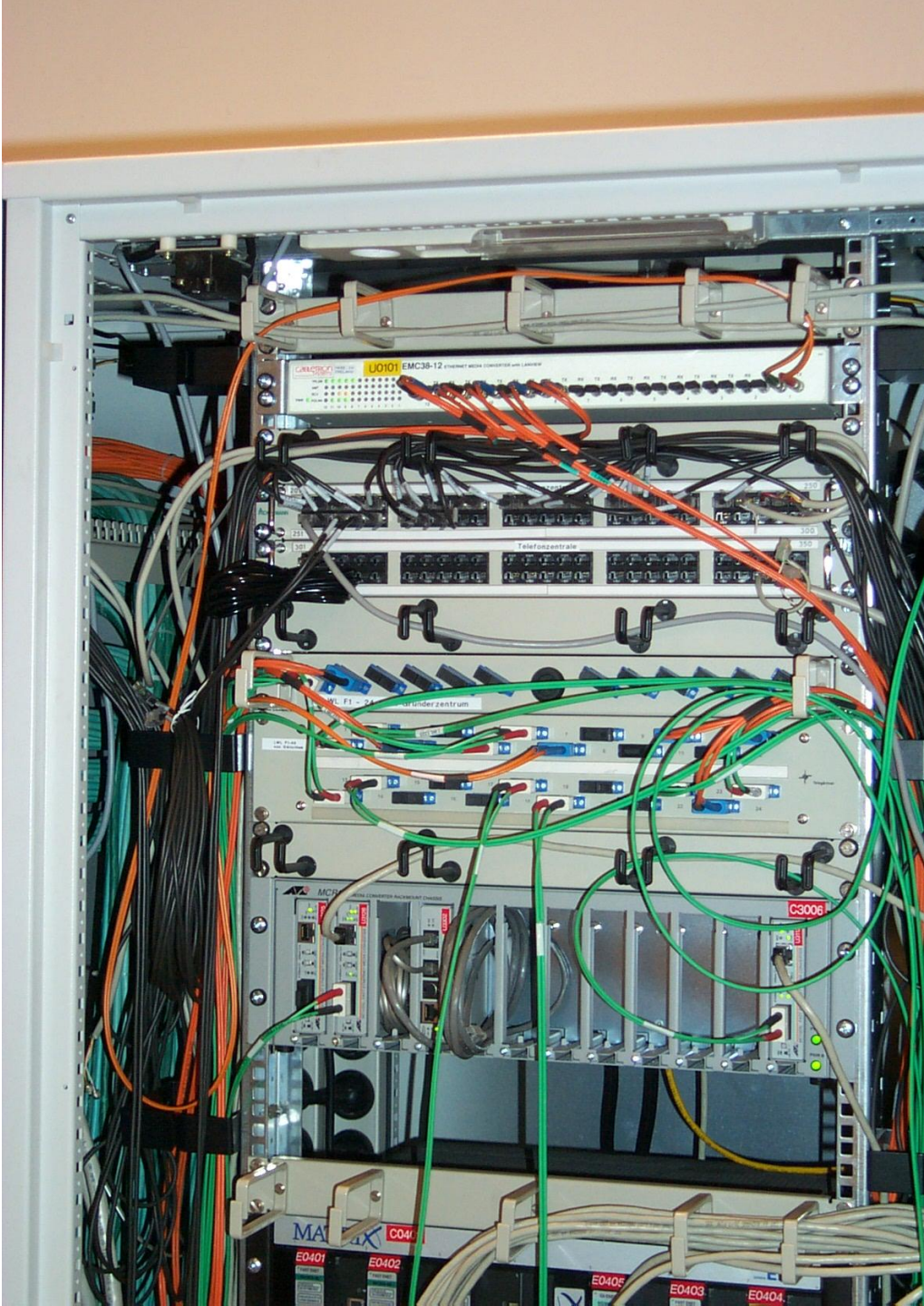
- 2.1 Organisation des Zugriffs
- 2.2 Medienzugriffsverfahren
- 2.3 MAC-Protokolle
  - Ethernet
  - Token Ring / FDDI
  - ATM
- 2.4 Aktive Netzwerkkomponenten
- 2.5 Ethernet Switching



## 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
- Geringe Latenzen

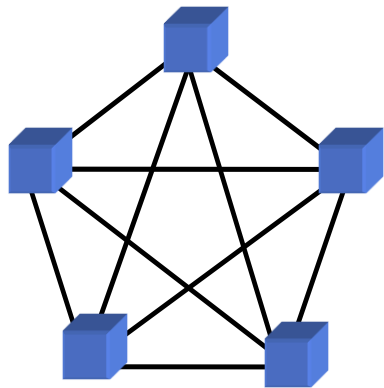
## Paketvermittelt:

- Keine individuelle Bandbreitengarantie
- Effiziente Mediennutzung
- Pakete tragen volle Adresse
- Vermittlungskomponenten sind zustandslos
- Fehlertolerant
- Latenzen wachsend in der Zahl der Vermittlungsknoten

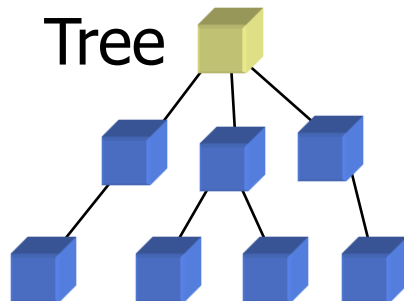


Internet  packets

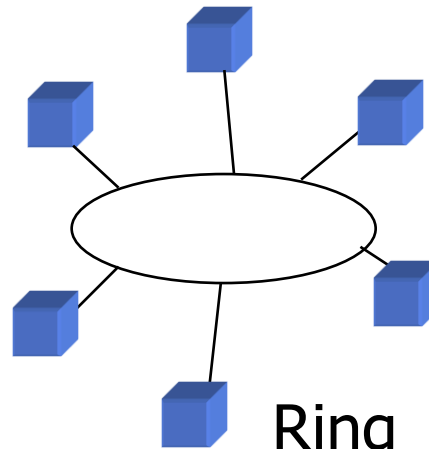
# 2.1 Netzwerk- topologien



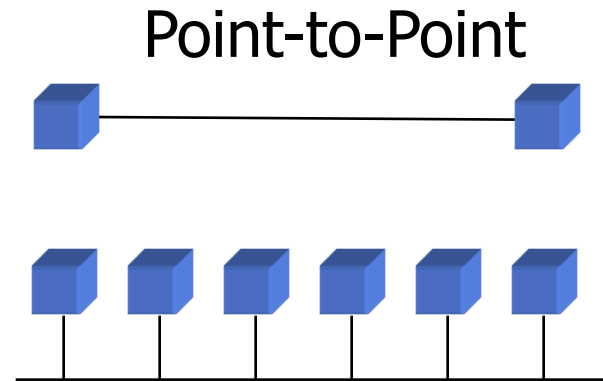
Mesh



Tree

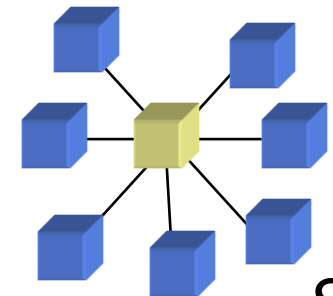


Ring



Point-to-Point

Bus



Star



# 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:*

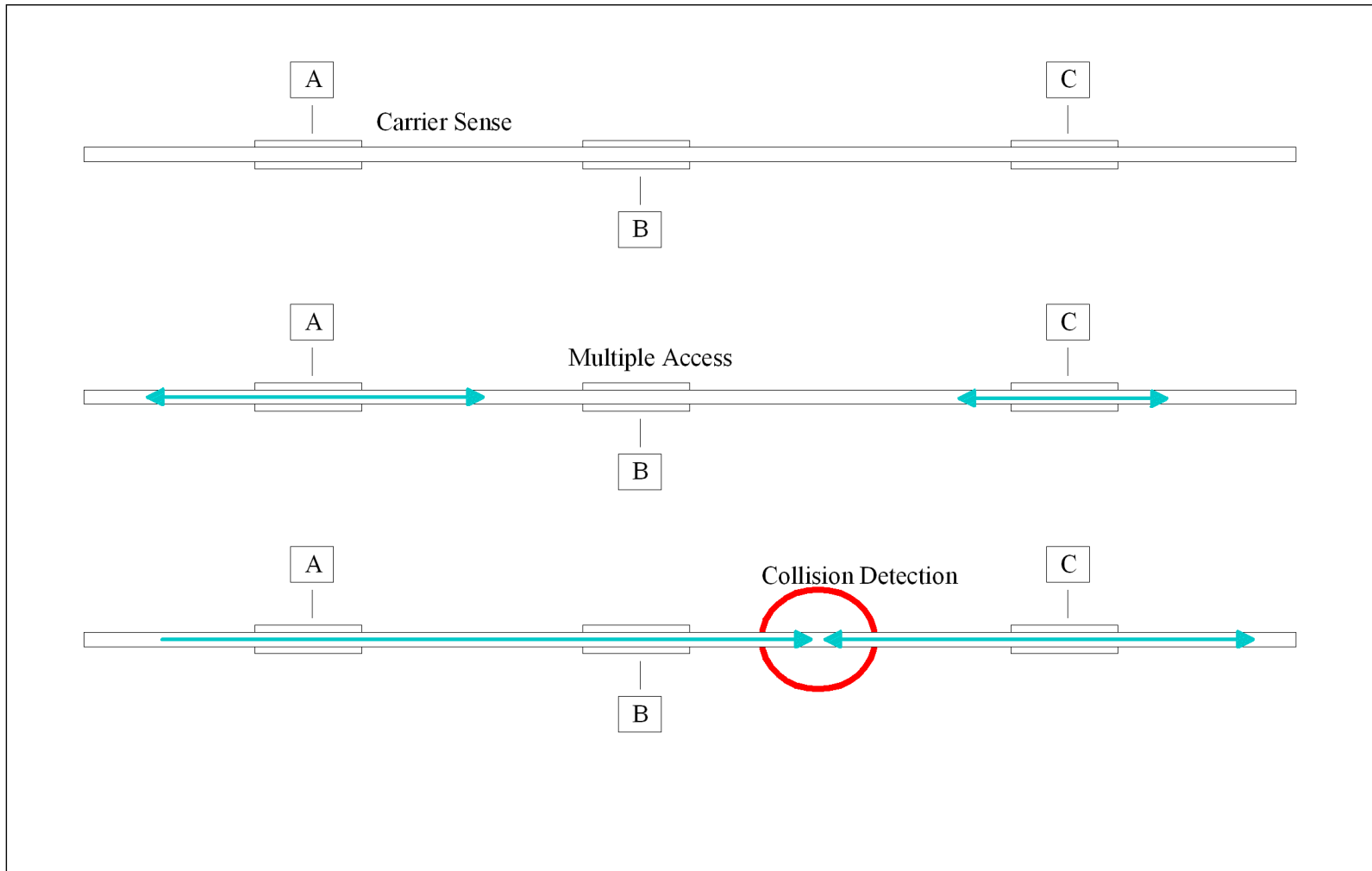
- Jede Station kann zu **jeder Zeit** senden.
- Werden zwei Frames gleichzeitig versandt, überlagern sie sich (signalzerstörend) auf dem Medium – eine **Kollision**
- Jede Station kann auf dem **Kanal mithören** und bemerken, ob der Kanal frei ist bzw. ob Kollisionen entstehen

*Idee (ALOHA, Abramson 1970):*

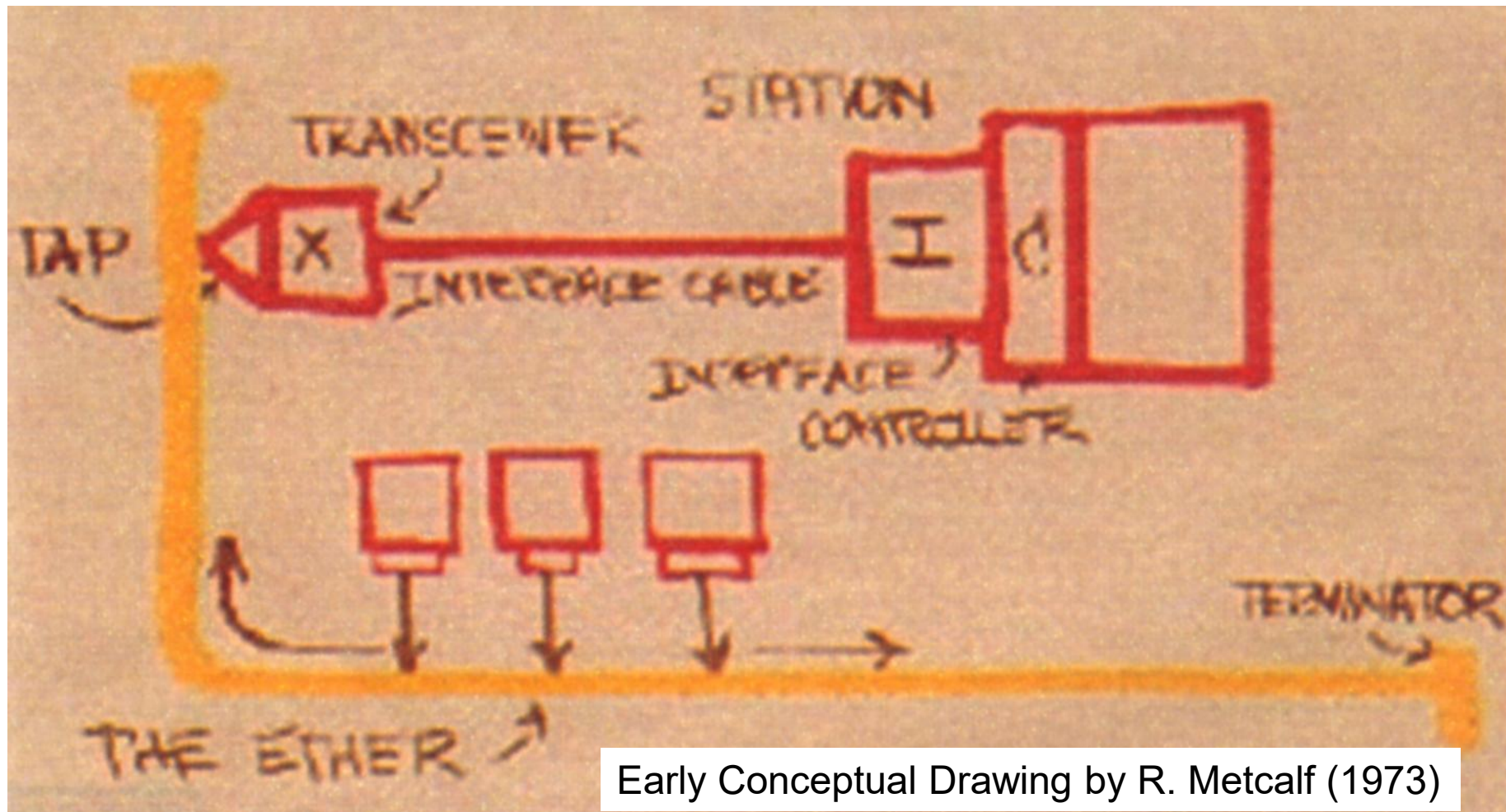
- Stationen senden zufallsgesteuert und senden bei Kollisionen erneut.



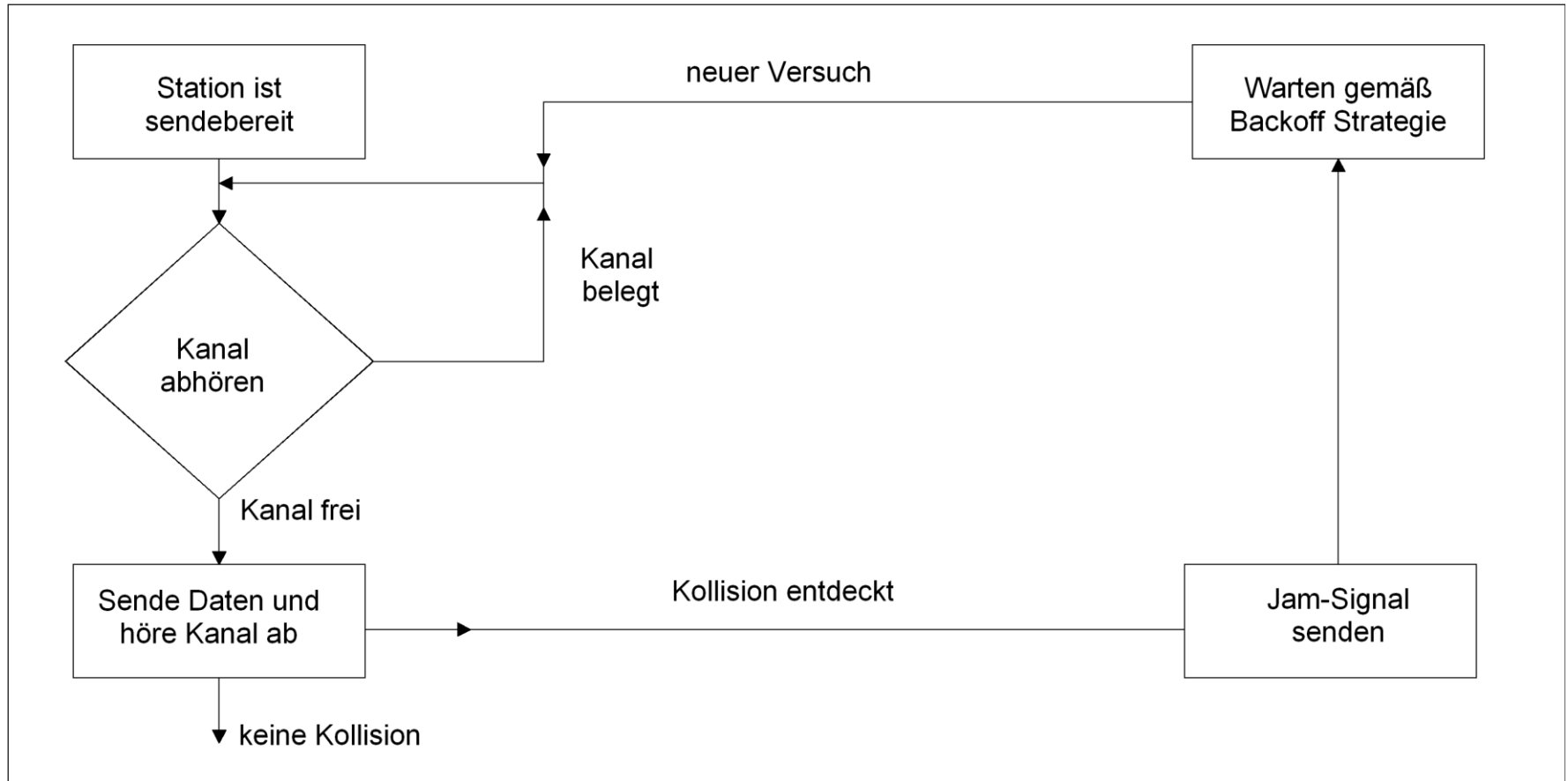
## 2.2 Carrier Sense – Multiple Access – Collision Detect (CSMA/CD)



## 2.3 Von Ethernet zu 10GE



## 2.3 Ethernet - CSMA/CD



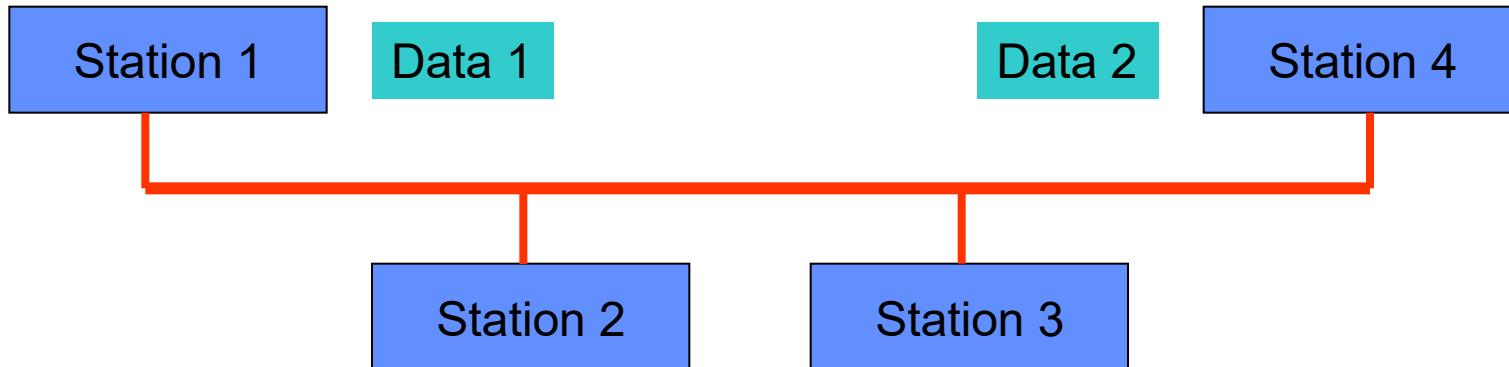
## 2.3 Eigenschaften von CSMA/CD

- ▶ 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.



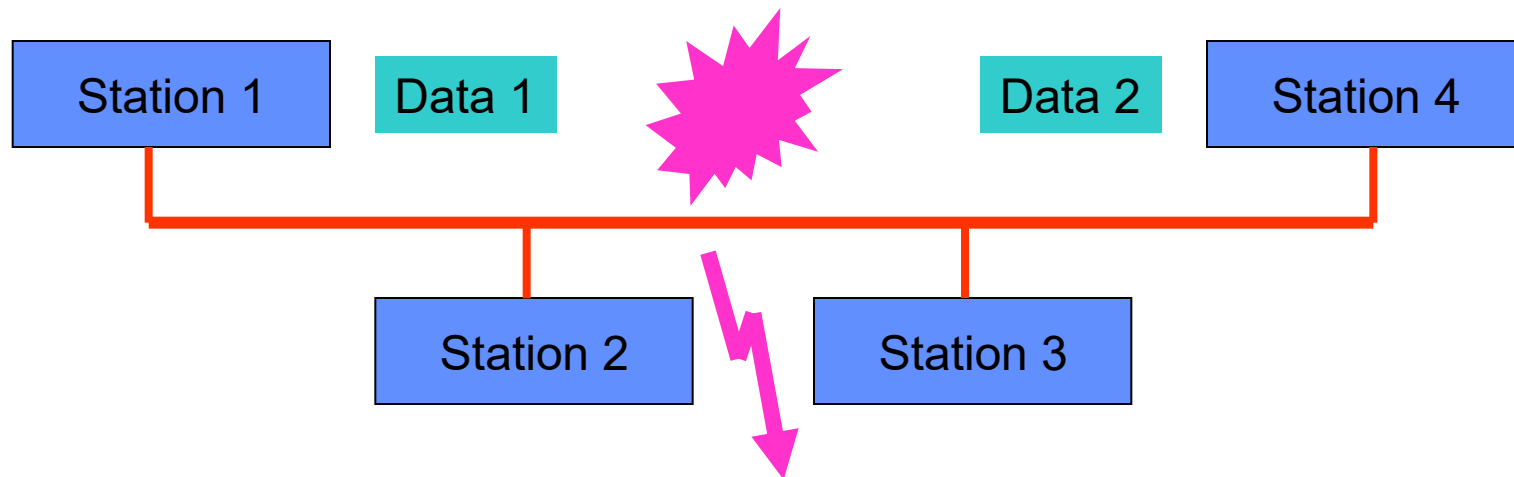
## 2.3 CSMA

### Station sendebereit: Abhören, Senden



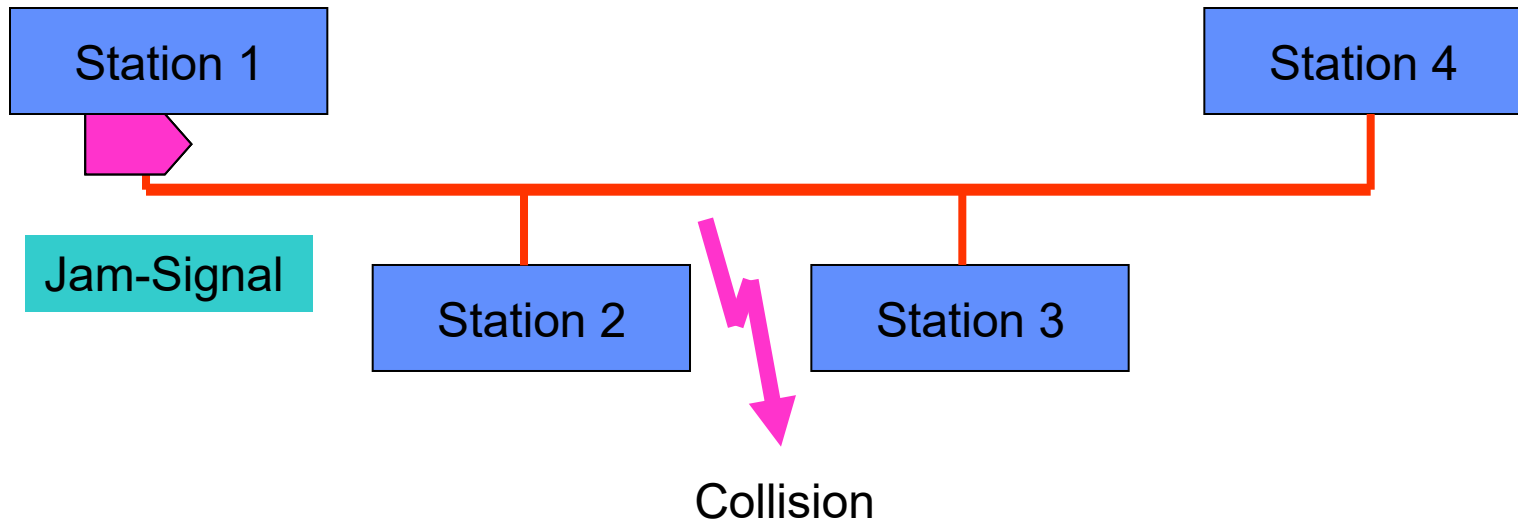
## 2.3 CSMA / CD

### Transmission mit Kollision



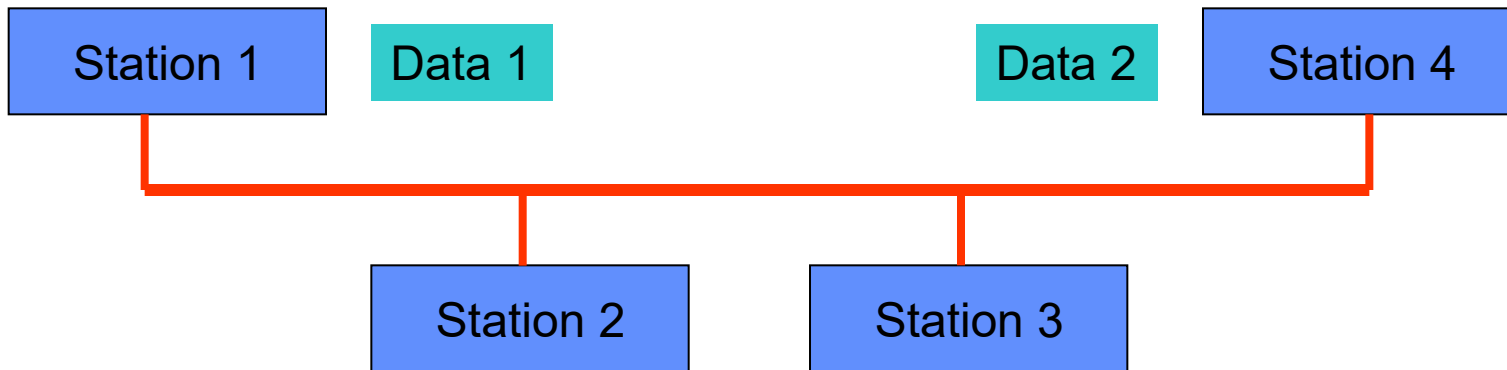
## 2.3 CSMA / CD

### 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  $2 \cdot \tau$   
( $\tau$  = Kabellaufzeit) garantiert werden.

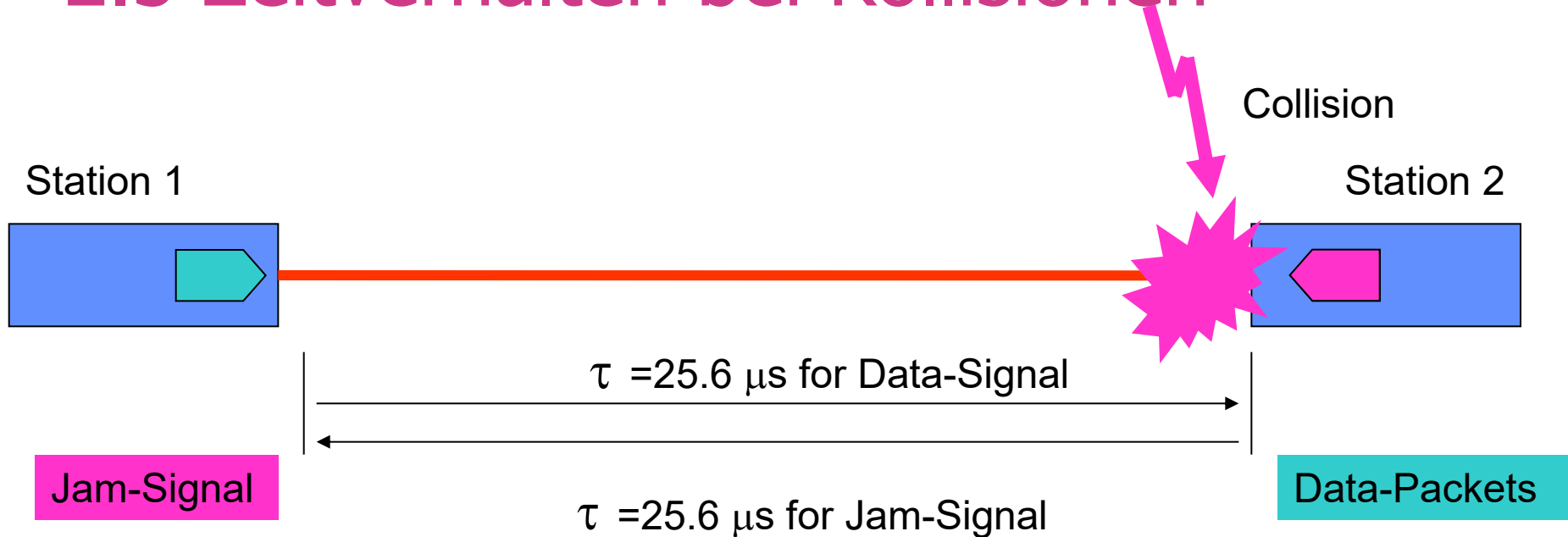
*Deshalb gilt:*  $2 \cdot \tau \cdot v = \text{minimale Paketlänge}$  ( $v$  = NW-Speed).

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

$\tau$  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 würfelle 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

## IEEE 802.3 / DIX Frame

7 bytes	1	6 bytes	6 bytes	2	46 - 1500 bytes	4 bytes
preamble	S O F	destination address	source address	type	data / pad	CRC

## IEEE 802.3 Frame (alt)

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

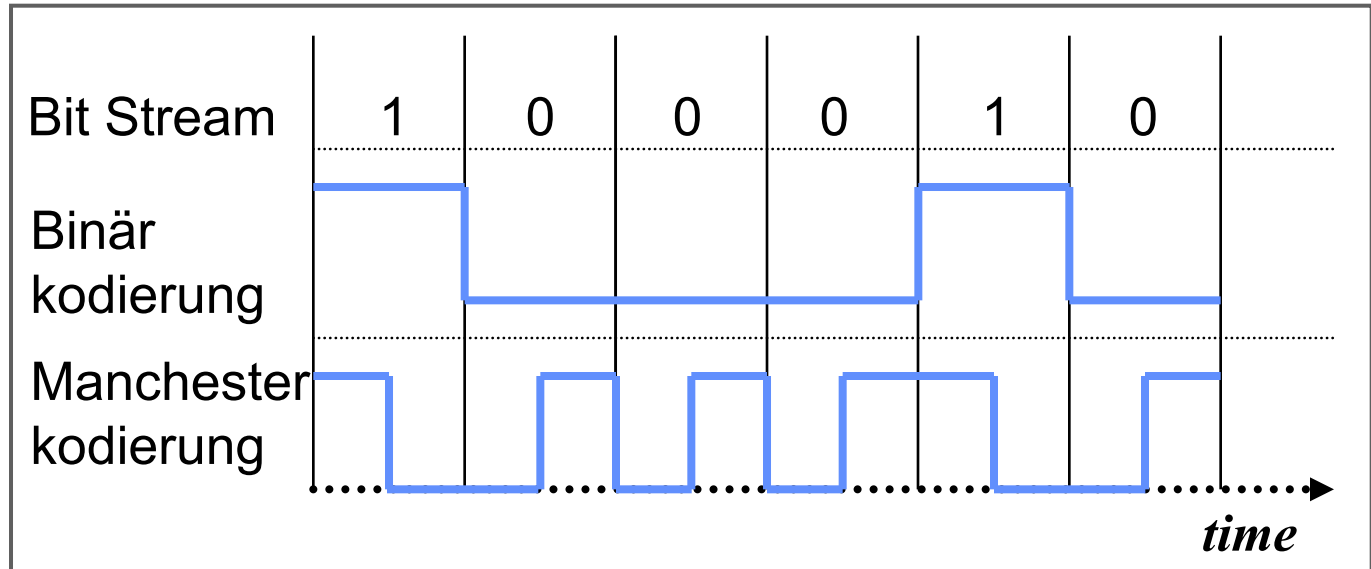
## Ethernet Adressbits:

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:

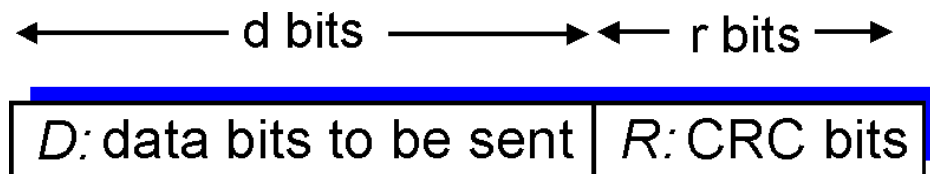
**Sender:** Synchronisationsmuster in Preamble, z.B. 10101010

**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 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 (9.6 $\mu$ s)	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
<b>Total Frame Physical Size</b>	<b>84 Bytes</b>

Maximale Framerate

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



## 2.3 Beispiel 2: Maximaler Durchsatz

Max. Framerate

$$= v / S$$

$$= 812.74 \text{ frames/s}$$

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
<b>Total Frame Physical Size</b>	<b>1.538 Bytes</b>

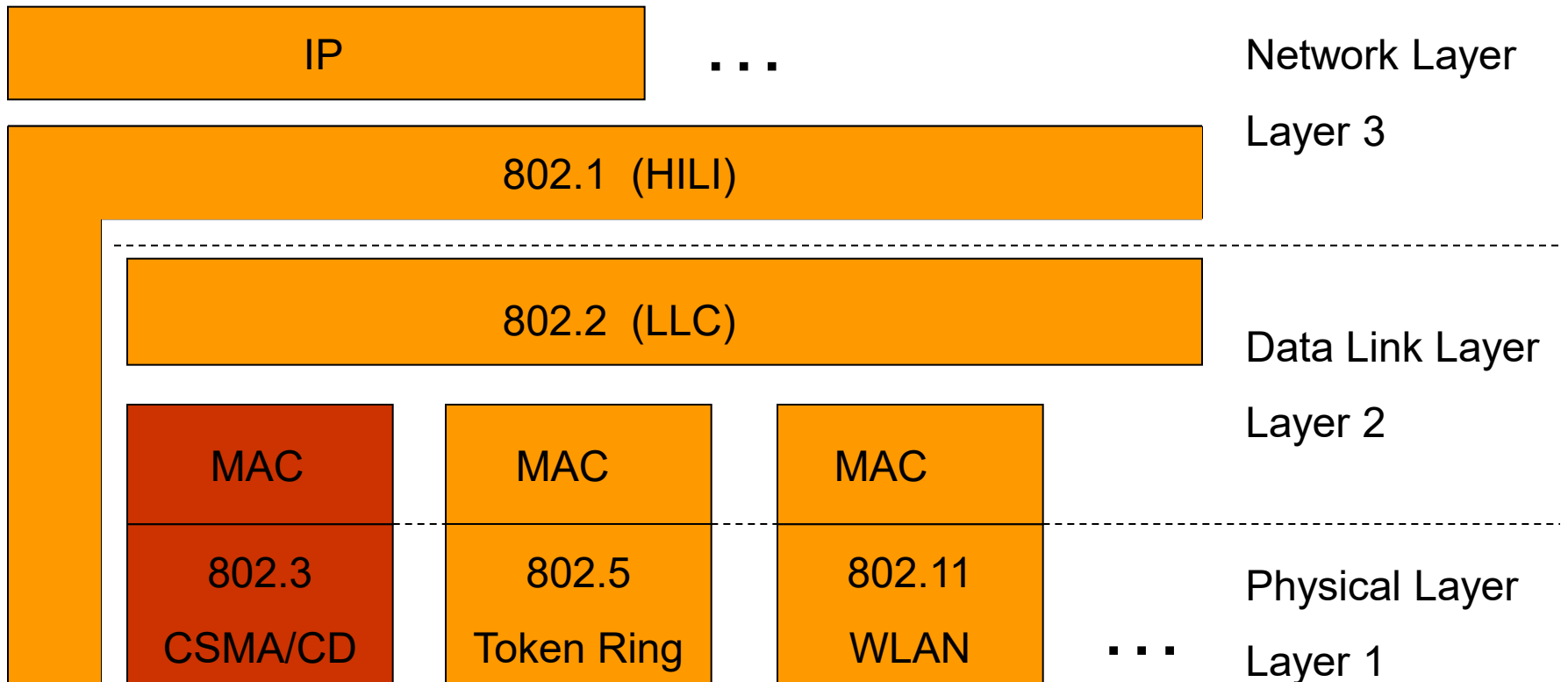
Maximaler Datendurchsatz

$$= \text{Max.Framerate} \times \text{Payload}$$

$$= 812.74 \times (1500 \times 8) = 9\,752\,880 \text{ bit/s}$$

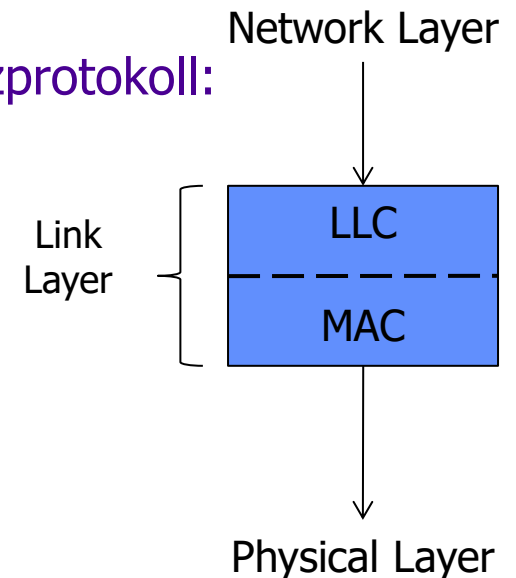


# 2.3 Schichten & Protokollaufbau in IEEE Standards 802



# Logical Link Control (IEEE 802.2)

- ▶ Ethernet mit dem IEEE 802.3 MAC Protokoll bietet 'best effort'
  - ▶ Unzuverlässiger Datagram-Dienst (ohne Acknowledgements)
  - ▶ Problematisch in verlustreichen Umgebungen (z.B. Wireless)
- ▶ Logical Link Control (LLC) unterscheidet als Zusatzprotokoll:
  - ▶ Unzuverlässigen Datagram-Dienst
  - ▶ Datagram-Dienst mit Paketbestätigung (ACKs)
  - ▶ Zuverlässigen verbindungsorientierten Dienst
- ▶ LLC Header beinhaltet
  - ▶ Ziel-Access-point
  - ▶ Quell-Access-point
  - ▶ Kontrollfeld ▶ Seq- und Ack-nummern



## 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 Ethernet Standards (3)

40-100 Gbit/s: Standards seit 2010, marktreife Produkte

200 - 400 Gbit/s: Standards seit 2017, Produkte verfügbar

200/400/800  
Gbit/s: Standards seit 2024

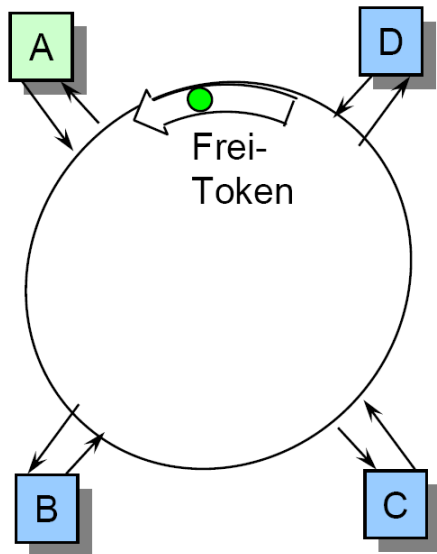
1.6 Tbit/s: In der Entwicklung

## 2.3 Token Ring (IEEE 802.5)

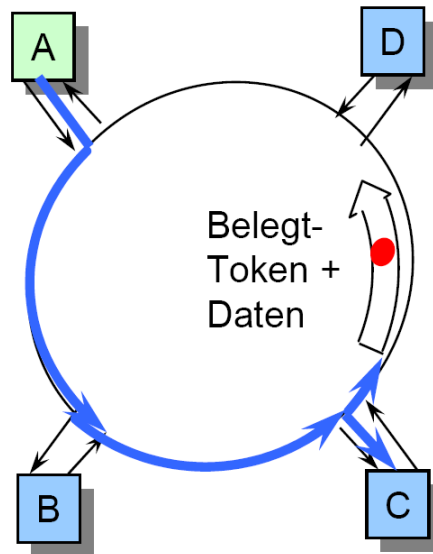
- ▶ Stationen sind in einem Ring verbunden
  - ▶ Jede hat Vorgänger und Nachfolger
  - ▶ Aktive Medienkopplung: einkommende Daten werden regeneriert / verarbeitet
- ▶ Zuteilung des Senderechts durch zirkulierenden Token
  - ▶ Eine Station, die den Token frei empfängt, darf senden
  - ▶ Daten kommen ggf.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



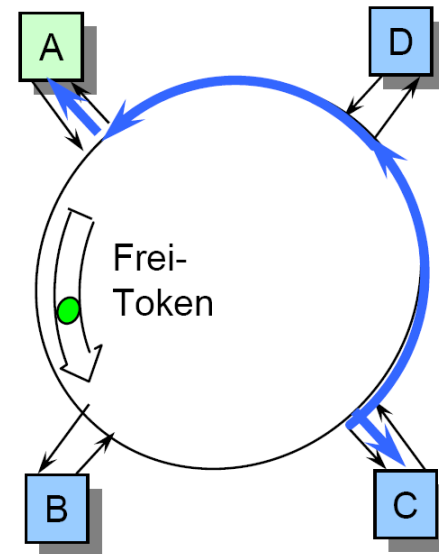
## 2.3 Ablaufbeispiel Token Ring



- 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 ATM

## IDEE: Die Zelle



Verwendung kleiner Übertragungseinheiten

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

Verbindungsorientierte

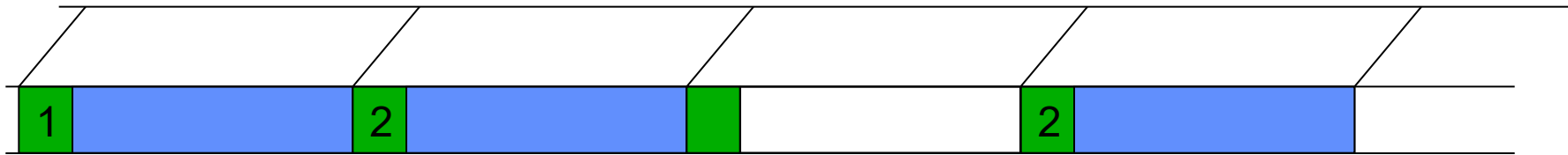
Verwendung kurzer Header mit Verbindungs-Identifizier

Statistisches Multiplexing verschiedener Verbindungen über gemeinsame Übertragungstrecken

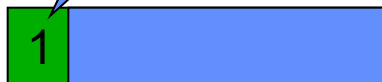
Umfangreiche Routing+QoS Funktionalitäten implementiert in Switches



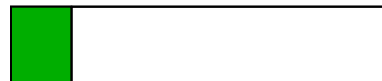
# 2.3 Synchronous und Asynchronous Transfer Mode



VCI/  
VPI



ATM-Cell with Payload

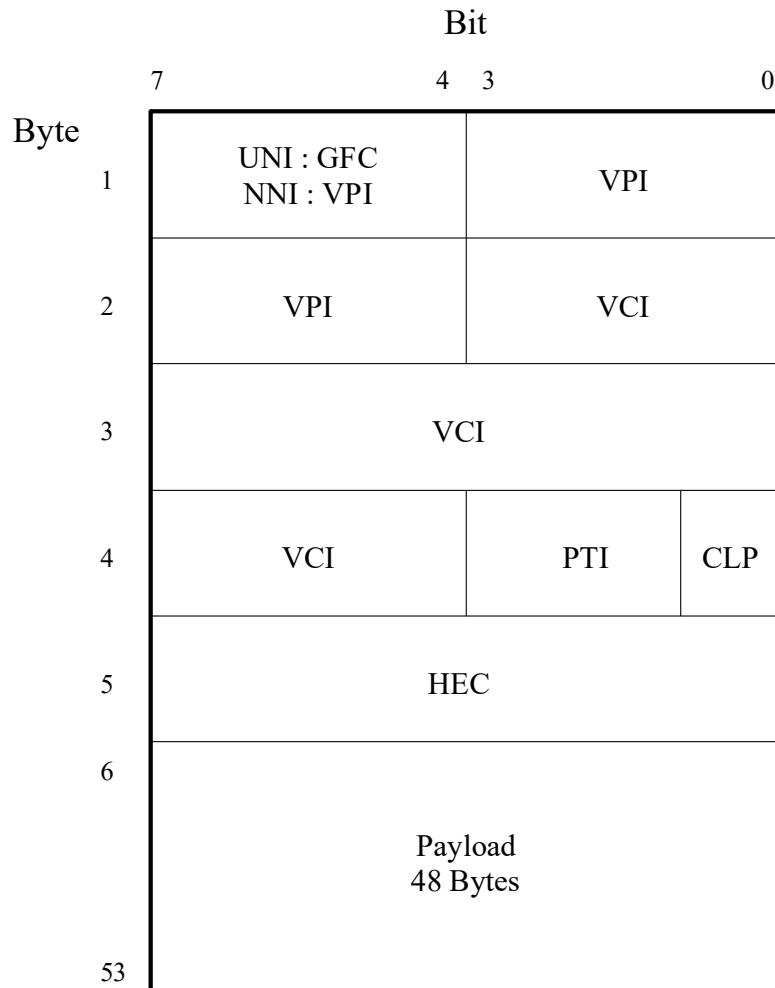


ATM-Cell without Payload, Idle Cell

Asynchronous Transfer Mode



# 2.3 Struktur einer ATM-Zelle



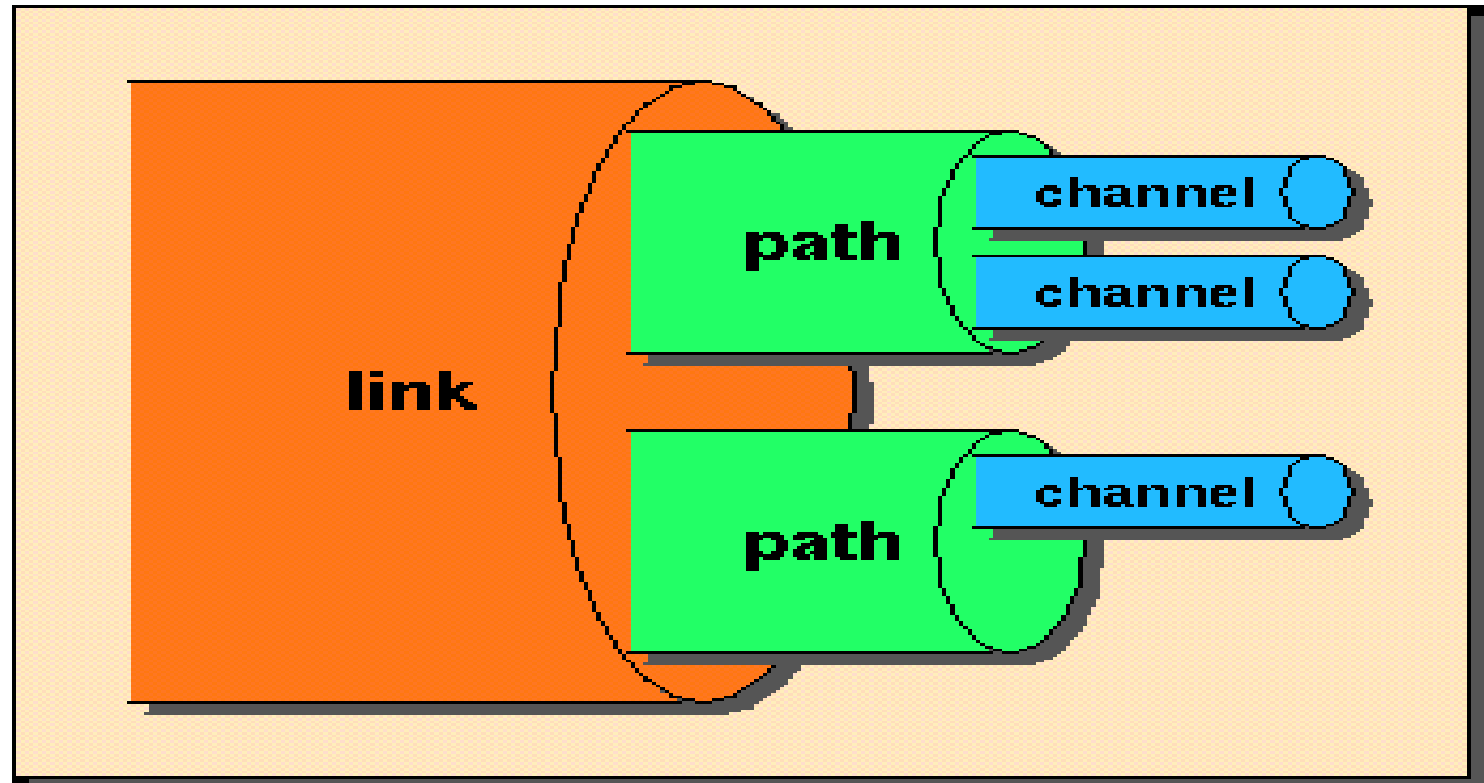
- GFC      Generic Flow Control
- VPI      Virtual Path Identifier
- VCI      Virtual Channel Identifier
- PTI      Payload Type
- CLP      Cell loss priority, if 1 – the cell may be discarded, to avoid Network congestion
- HEC      Header Error Control
- UNI      User-Network Interface
- NNI      Network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

$$\text{HEC-P} = x^8 + x^2 + x + 1$$

(CCITT I.361)



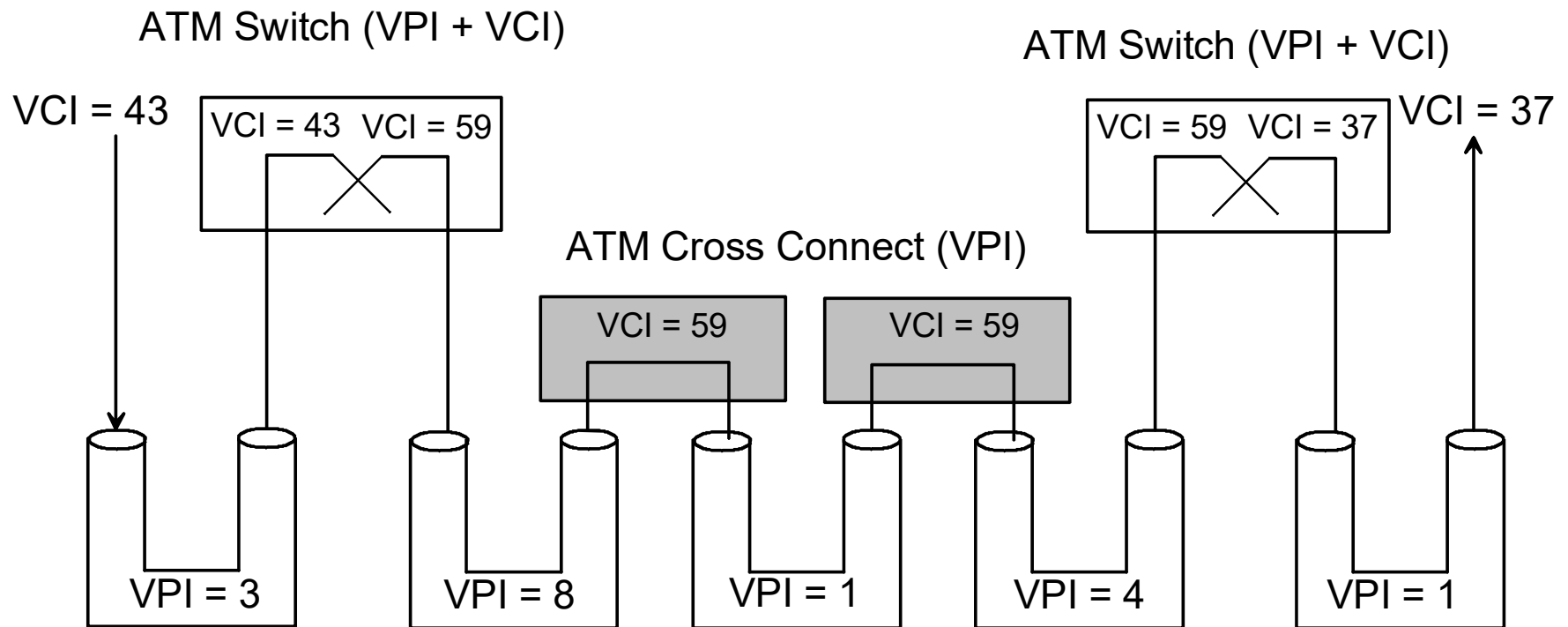
## 2.3 ATM - Virtuelle Kanäle



ATM arbeitet verbindungsorientiert, jedoch ohne Sicherungsschicht



# 2.3 Wechsel von VCI und VPI auf dem Weg durch das Netz



## 2.3 Virtueller Netzwerklayer

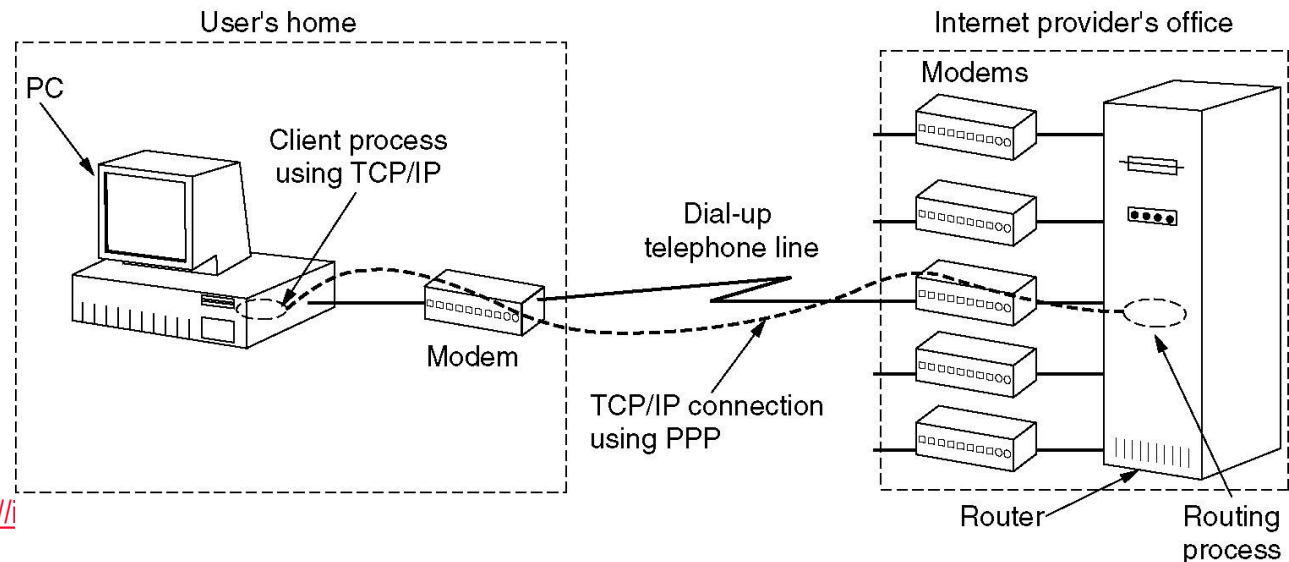
### Bsp: Point-to-Point-Protocoll (PPP)

- RFC 1661 – 1663
- Schicht-2 Rahmenformat mit Flusskontrolle
- Multiprotokollfähig (IPv4, IPv6, ...)
- 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.



# PPP

- PPP war der Standard-Link für Internet Dial-up
- PPP ist weiterhin im Einsatz als Standard-Link für Punkt-zu-Punkt optische Links und DSL/Kabelmodems
- PPPoE (PPP over Ethernet, RFC 2516)  
Encapsulation von PPP frames in Ethernet frames

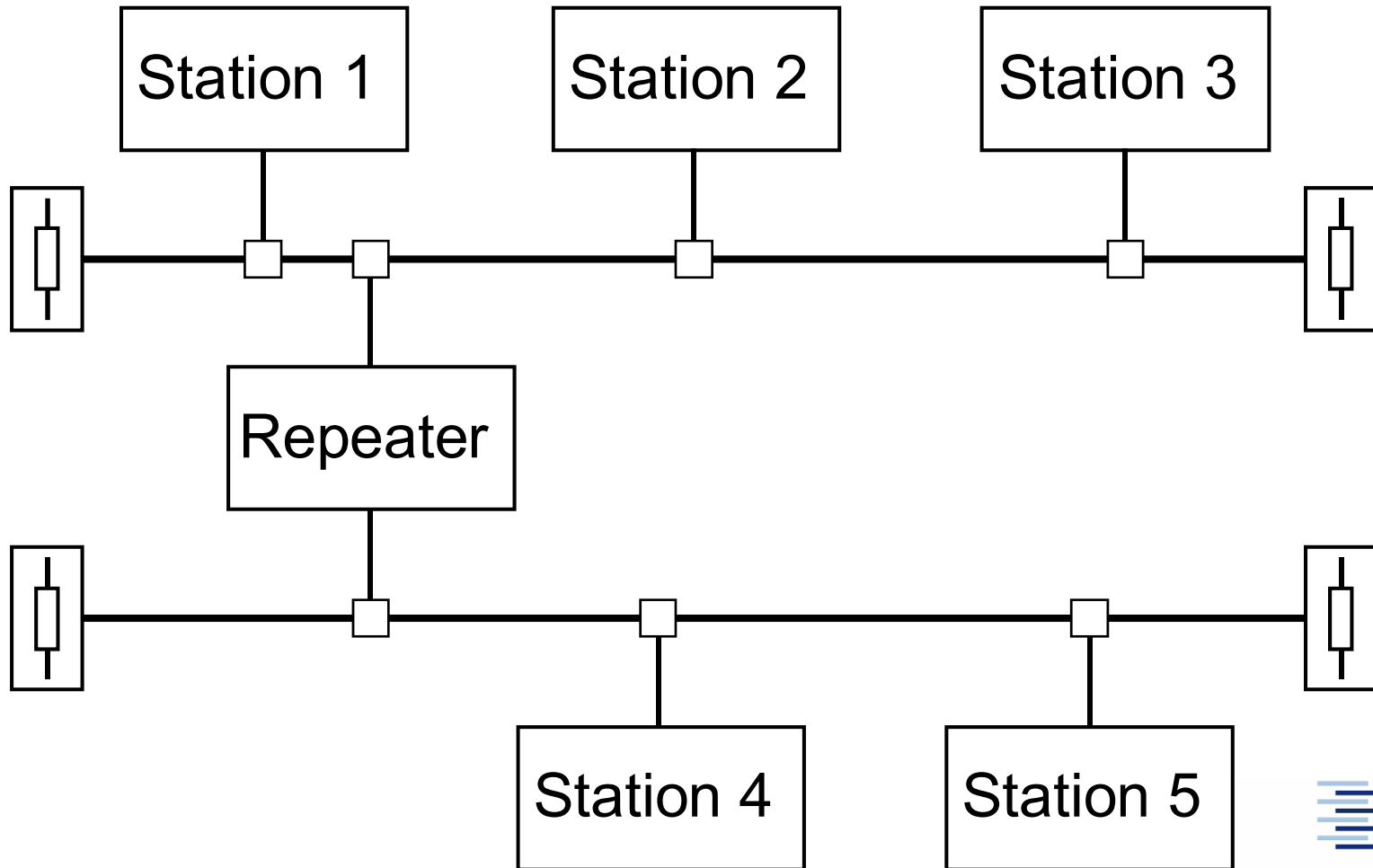


# 2.4 Netzwerk-Zugangskomponenten

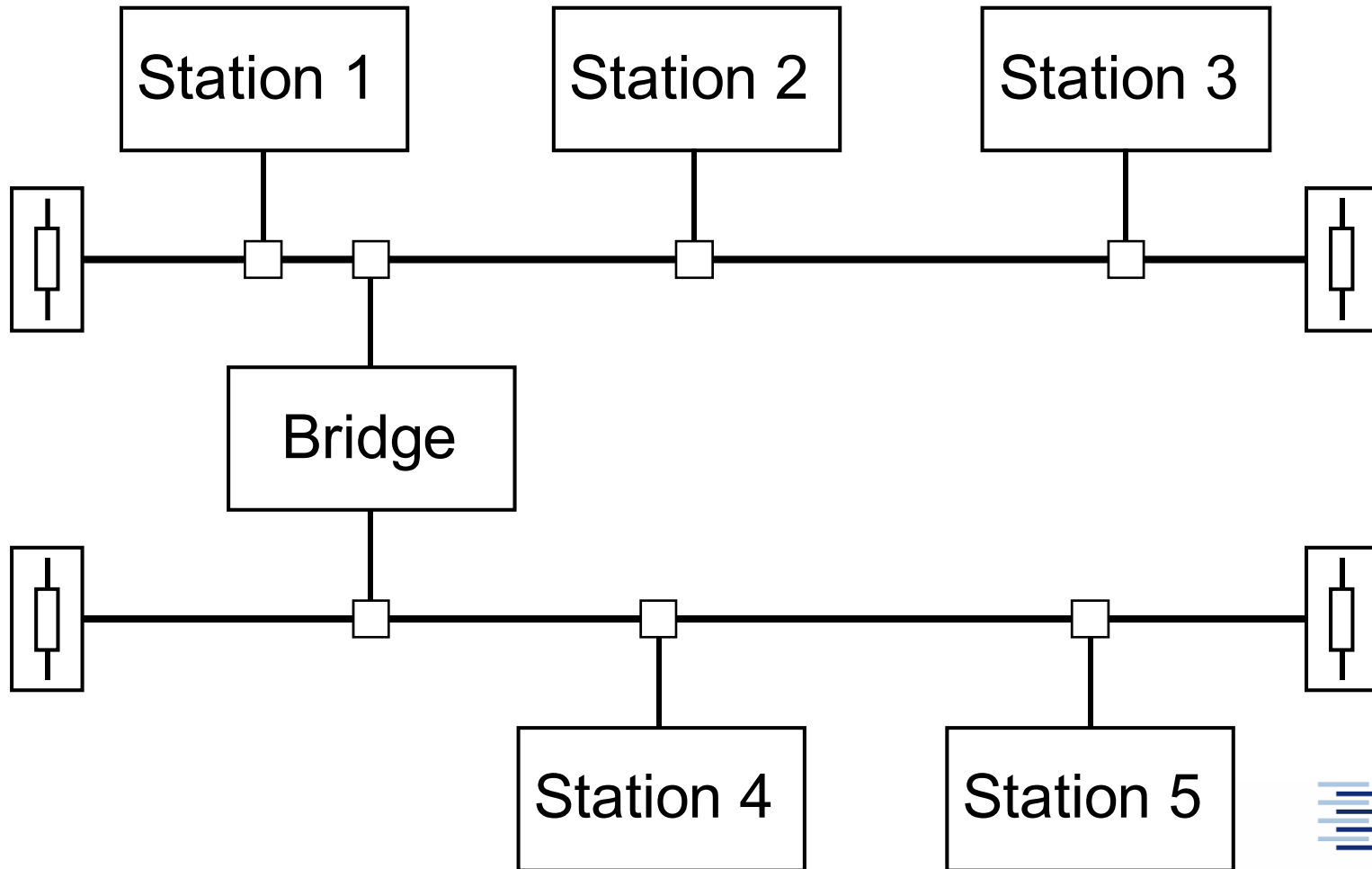
- ▶ Netzwerkinterface
  - ▶ Ethernet-/FDDI-/ISDN-...Netzwerkkarte, Modems, ...
- ▶ Keine weiteren Komponenten
  - ▶ 10Base2 Ethernet, Modem-Modem, ...
- ▶ Signalverteiler/-aufbereiter
  - ▶ Transceiver (10Base5), Hubs (10/100/1000BaseX), WLAN-APs, Medienwandler, Repeater
- ▶ Layer-2 Vermittlungsknoten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



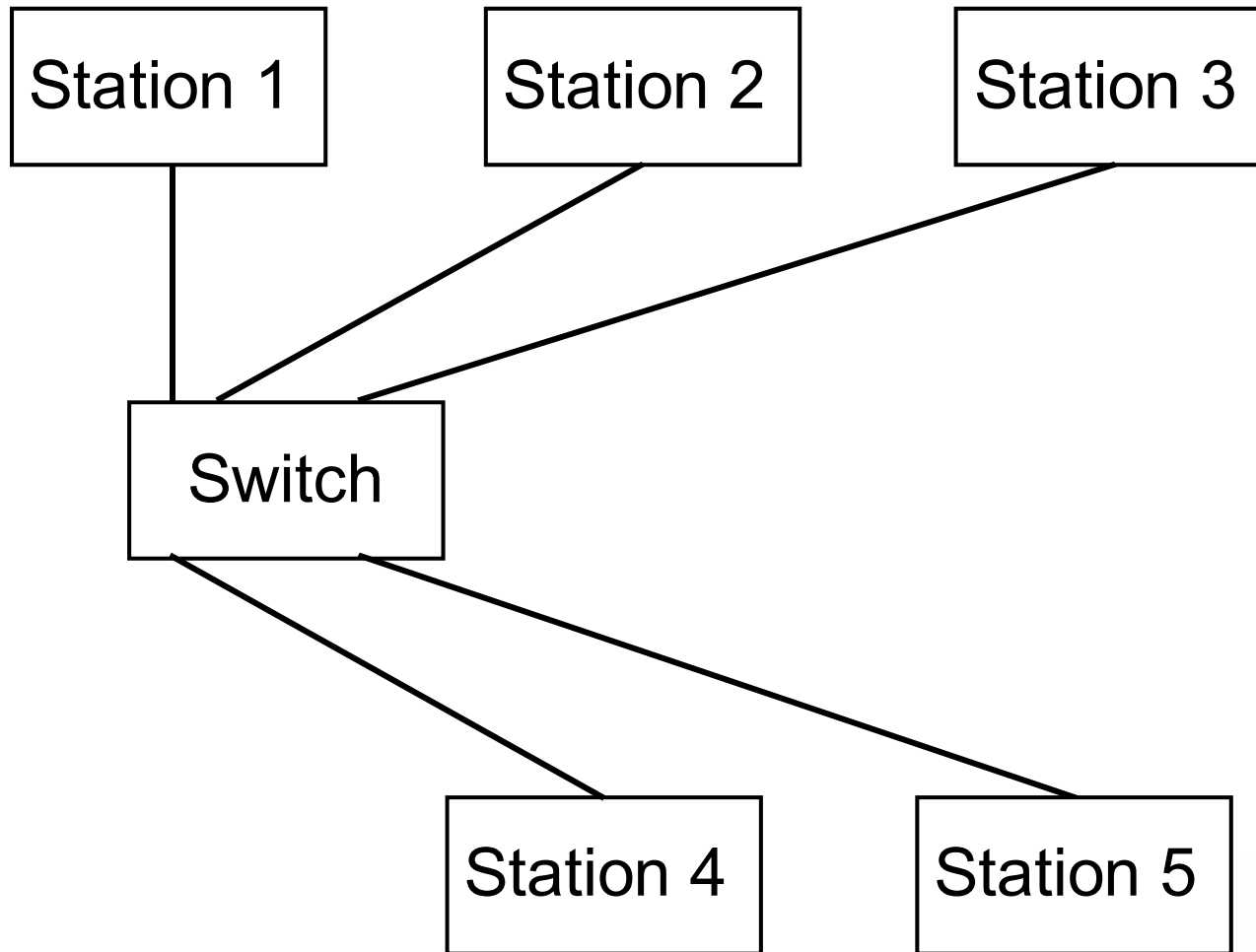
## 2.4 Netzstrukturierung auf Schicht 1



## 2.4 Netzstrukturierung auf Schicht 2



## 2.4 Netzstrukturierung auf Schicht 2



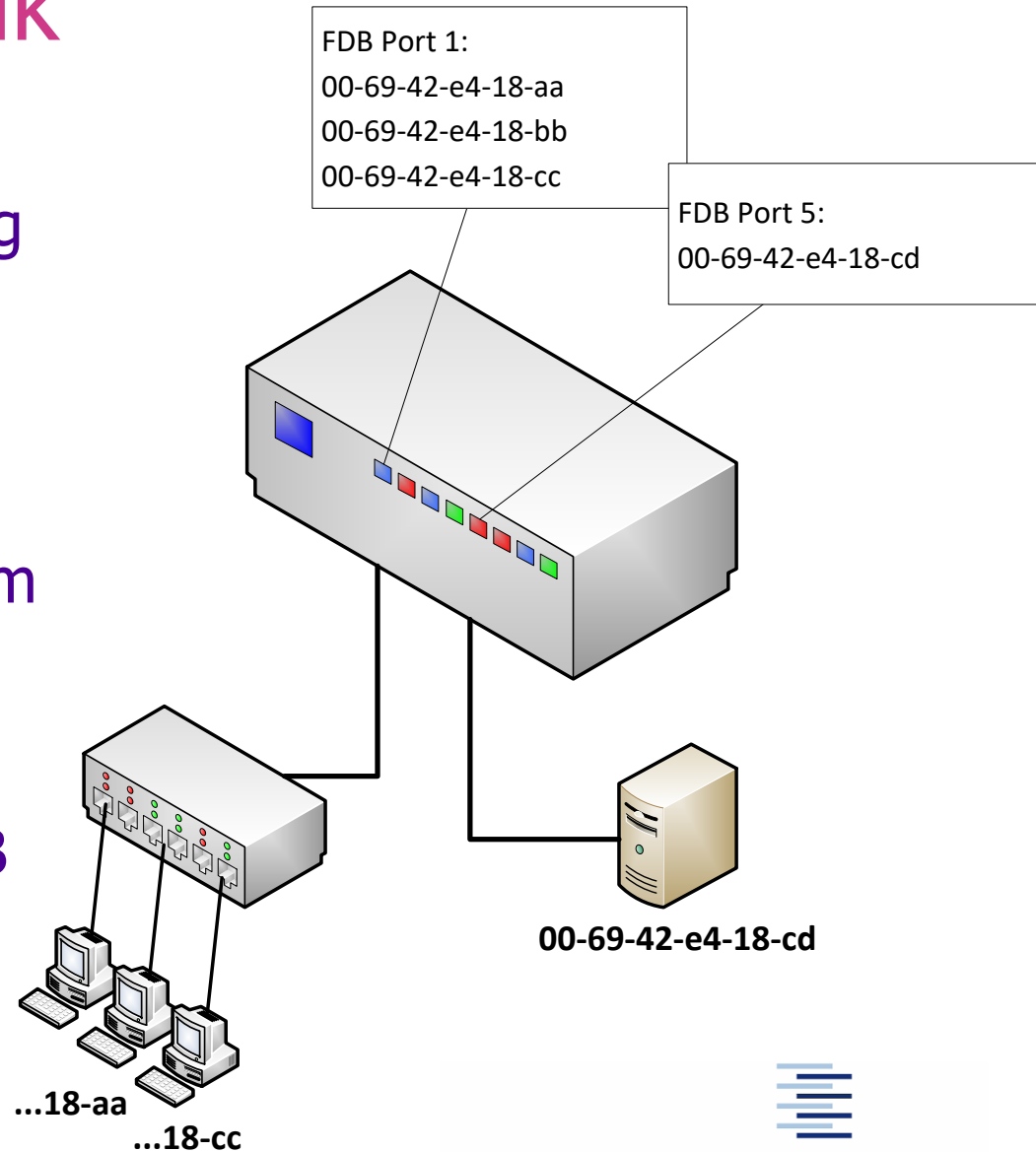
# 2.4 Switching/Bridging

- ▶ 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).**

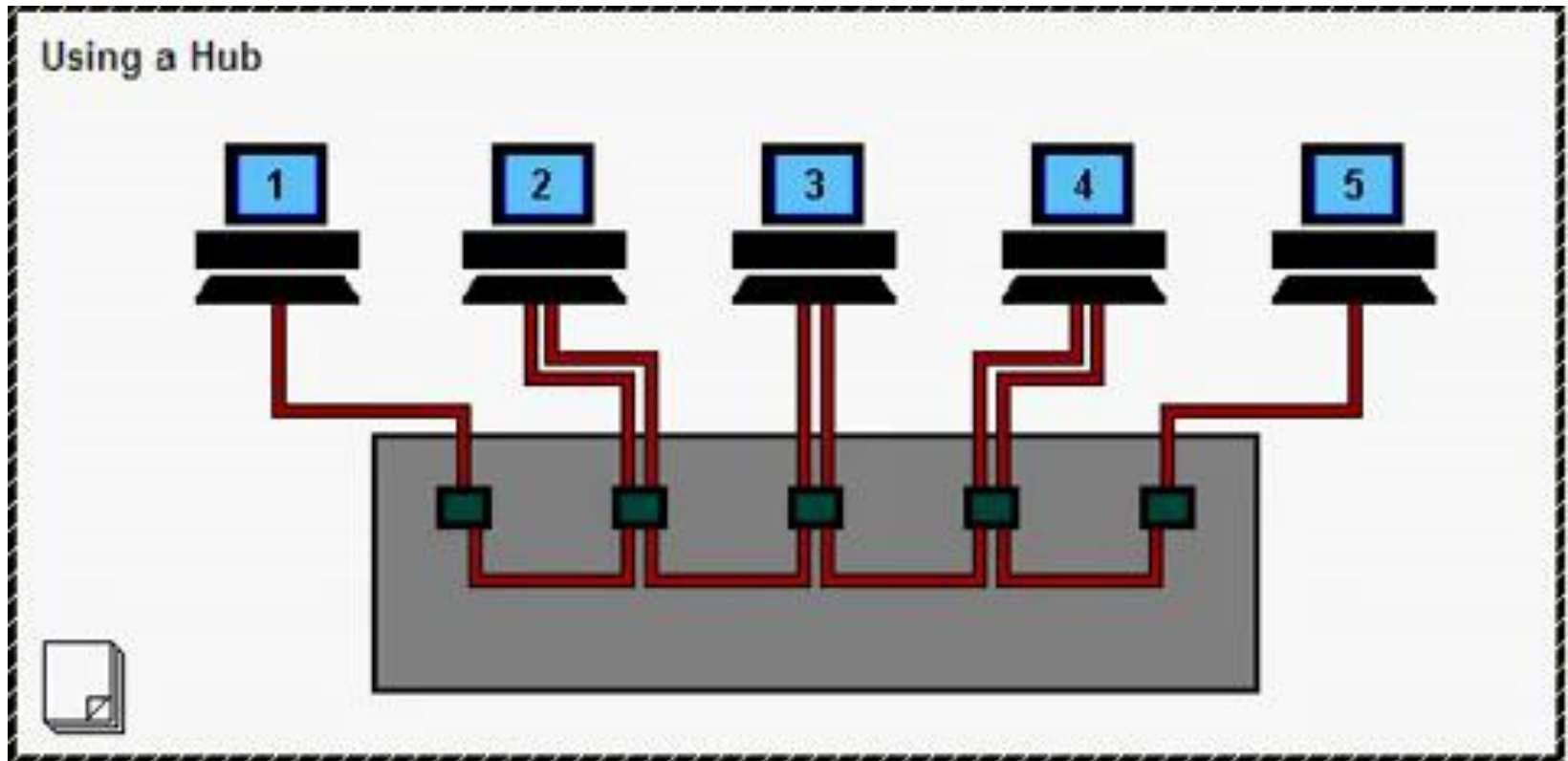


# 2.4 Switching Logik

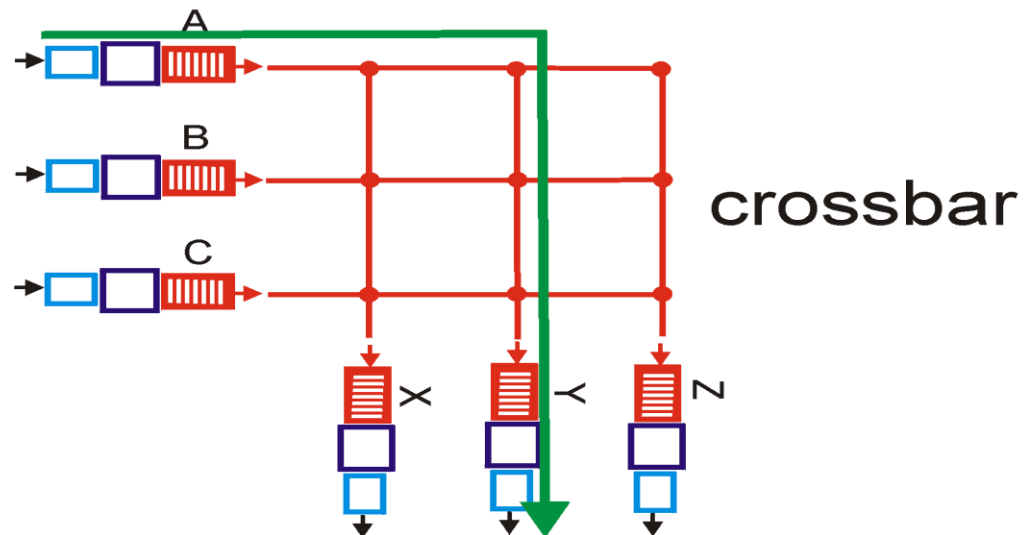
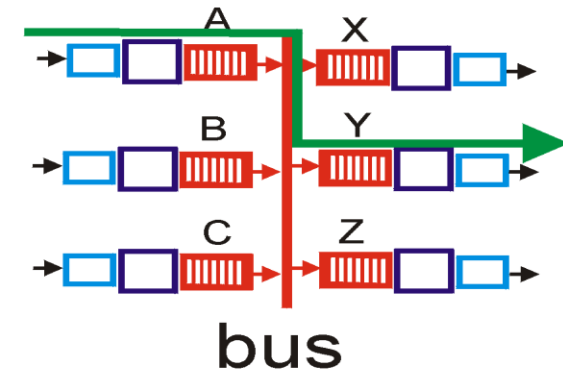
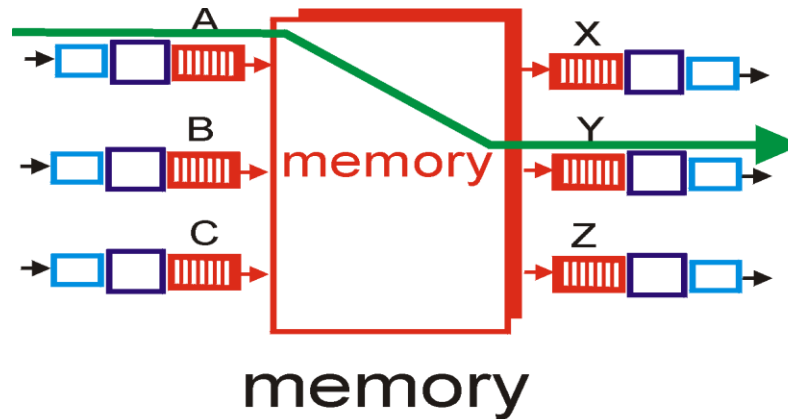
- Switch hält Forwarding Database (FDB) per Port
- FDB hält **alle MAC Adressen** hinter diesem Port
- Weiterleitungsent-scheidung gemäß FDB
- Broadcast für unbe-kannte Adressen



## 2.4 Hub versus Switch



# 2.4 Switch Architekturen



Zwei Switch-Typen:

- Store-and-Forward
- Cut-Through



Switch

Chassis



## 2.4 Adressierung und Vermittlung im Physical Layer

### Layer 1 - Bitübertragungsebene

**Übermittlung:** Erzeugung, Wandlung und Weitergabe des Signalflusses

**Adressierung:**

--

**Übermittlungsknoten:**

Repeater, Hubs,  
Medienwandler

## 2.4 Adressierung und Vermittlung im Link Layer

### Layer 2 – Link Ebene

**Übermittlung:** Steuerung des Datenstrom durch Schaltung MAC-basierter Kanäle

**Adressierung:** Medium Access Control (MAC)

**Übermittlungsknoten:** Bridges, Switches



# 2.5 Ethernet Switching - Zusatzfunktionen

Switches vermitteln auf L2 – welche Intelligenz wird benötigt?

- ▶ Ethernet basiert auf redundanzfreien Topologien
- ⇒ Failover Funktionalitäten zur Erhöhung der Betriebssicherheit.
- ▶ Switching ist schneller als Routing, aber Broadcast-transparent.
- ⇒ Segmentierung zur Abwehr von Broadcast 'Stürmen'.
- ▶ Physikalische Separierung von Teilnehmern ist teuer.
- ⇒ Virtuelle Segmentierung auf einem Kabel / in einer Domain.
- ▶ Echtzeit Verkehrsanforderungen / QoS.
- ⇒ Priorisierung auf dem Layer 2.



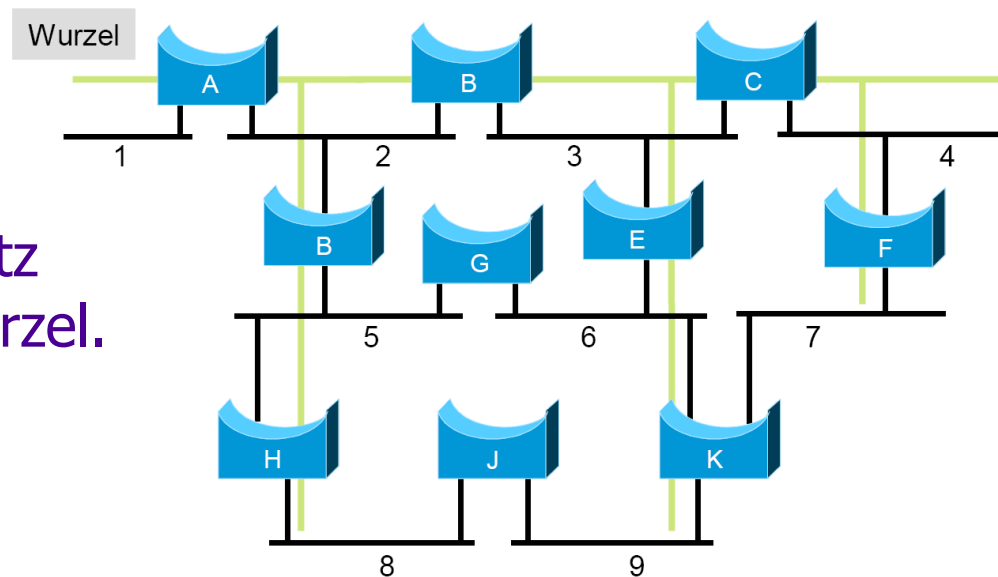
# 2.5 Redundanzwege: Spanning Tree (802.1D)

*Problem:*

Redundant verschaltete Switches erzeugen Forwarder-Loops.

*Lösung:* Dynamische Spannbäume

1. **Wurzelfindung:** Mittels ID, z.B. Switch Seriennummer
  2. **Pfadaufbau:** Von jedem Netz auf kürzestem Weg zur Wurzel. Dabei Bridges 'stand by'.
  3. **Loop:** Ermittle Pfade, um Änderungen zu entdecken.
- o Spanning Tree sehr langsam –  
Verbesserung: Fast Spanning Tree und TRILL



## 2.5 Spanning Tree: Algorhyme

I think that I shall never see  
a graph more lovely than a tree.

A tree whose crucial property  
is loop-free connectivity.

A tree that must be sure to span  
so packet can reach every LAN.

First, the root must be selected.

By ID, it is elected.

Least-cost paths from root are traced.

In the tree, these paths are placed.

A mesh is made by folks like me,  
then bridges find a spanning tree.

Radia Perlman

[https://youtu.be/iE\\_AbM8ZykI](https://youtu.be/iE_AbM8ZykI)



## 2.5 Virtuelle LANs (VLAN)

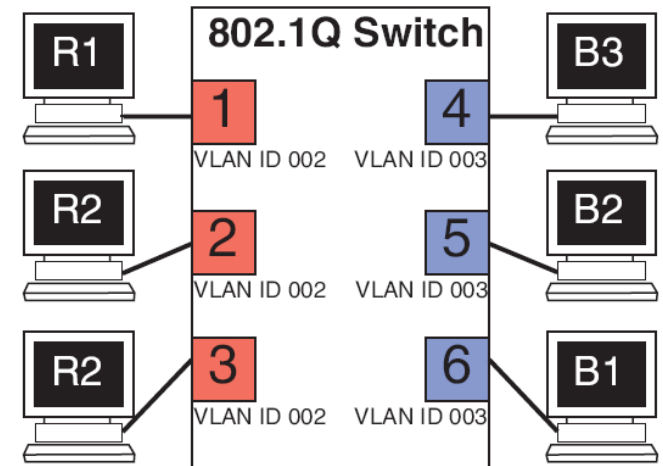
VLAN definieren virtuelle Netzgrenzen, die gegeneinander geroutet werden. Drei Ansätze sind naheliegend:

- o **Port Based VLAN**: Ein unicast oder broadcast Paket wird auf einem Port der ID = x empfangen und nur an Ports derselben ID geforwarded.
- o **MAC Address Based VLAN**: Die VLAN Mitgliedschaft eines Pakets wird an der Quell- oder Zieladresse identifiziert. Switches halten eine Membership-Tabelle.
- o **Protocol (L3) Based VLAN**: Die Mitgliedschaft eines Pakets in einem VLAN wird an dem Layer 3 Protokoll (IP, IPX, Netbios ...) und der L3 Netzzugehörigkeit festgestellt.

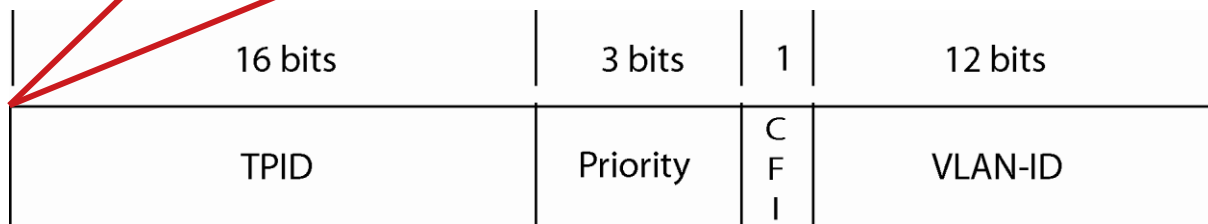
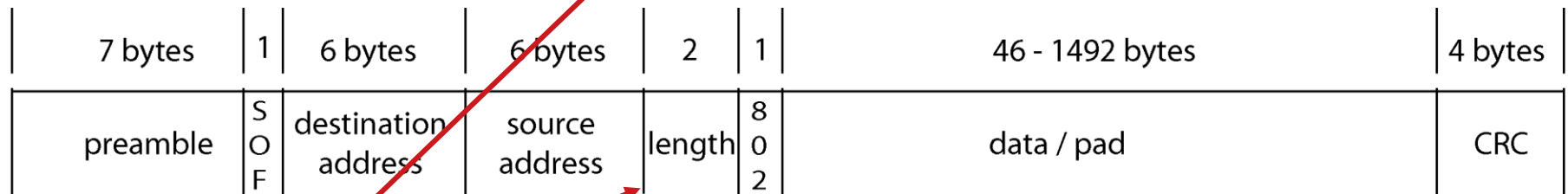
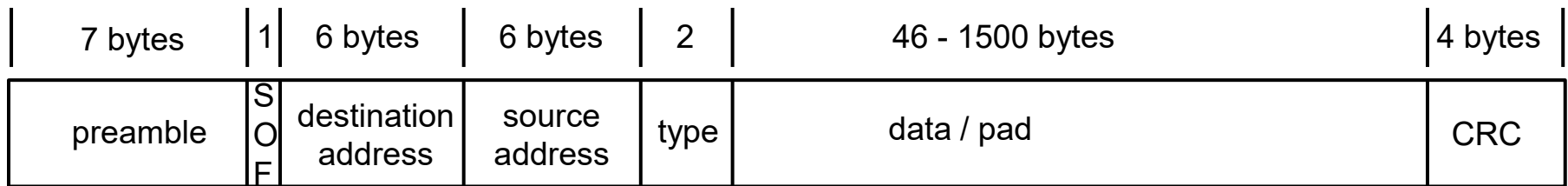


# 2.5 802.1Q Port Based VLAN

- Jede Hostgruppe (VLAN) erhält eine ID
- Pakete werden nur innerhalb eines VLANs geforwarded
- Jeder Switchport gehört zu mind. einer ID
- Jeder Host gehört zu genau einem VLAN
- Zur switchübergreifenden Gültigkeit werden Frames getagged.
- Tagging durch NIC oder Ingress Port
- Default VLAN (ID=1)
- 1D Trunk: Forward alle Tag-freien Frames
- 1Q Trunk: Forward alle Tag-tragenden Frames
- Filtering Database für höherwertige Funktionen



# 2.5 802.1Q/p - Tagging



Tag Protocol Identifier=0x8100  
Priority Tagging für 802.1p

Canonical Format Identifier  
VLAN ID: 802.1Q Zuordnung



## 2.5 VLAN Konfiguration

VLANs müssen separat auf jedem Switch konfiguriert und Ports zugewiesen werden.

Dies kann manuell (CLI, Web) oder mit VLAN-Management Tools der Hersteller erfolgen.

Automatische Verteilung der VLAN-Informationen durch Generic Attribute Registration Protocol (GARP) / der VLAN-Erweiterung GARP VLAN Registration Protocol (GVRP) .

Ebenso: Proprietäre Herstellerprotokolle wie Cisco Virtual Trunking Protocol (VTP).



## 2.5 802.1p Priorisierung

- ▶ Prioritätsklassen werden auf switching queues abgebildet.
- ▶ Port-basierte Priorität: Pakete, erhalten durch einen hoch priorisierten Port, werden als high priority frame behandelt.
- ▶ 802.1p/Q VLAN Prioritätstag: Wenn Tagging in Anwendung, dann wird das Prioritätsbit extrahiert und mit dem Schwellwert 3 verglichen. Die Prioritätswerte 0 – 3 zählen als niedrig, die Werte 4 – 7 als hoch.
- ▶ Aktuelle Erweiterungen: IEEE 802.1 AVB (Audio/Video Bridging)



# 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 weiteren Internet Host befinden?
5. Warum können ‚bloße‘ Ethernet Switches nicht redundant verschaltet werden? Was bewirkt Spanning Tree?
6. Welchen Vorteil bietet eine Segmentierung gem. 802.1Q in großen geschichteten Netzen? Auf welcher Ebene geschieht sie?

