

# *Kapitel 5 Kommunikation in lokalen Rechnernetzen*

- 5.1 Standards für lokale Rechnernetze
- 5.2 Zugriffskontrolle in Ringnetzen
  - 5.2.1 Aufbau, Zweck und Grobbeurteilung von Ringnetzen
  - 5.2.2 Ring mit zentraler Kontrollinstanz
  - 5.2.3 Token-Ring
  - 5.2.4 Ring mit zufälligem Zugriff
  - 5.2.5 Ring mit Festrahmenzirkulation
  - 5.2.6 Ring mit Registereinschub
  - 5.2.7 Aufbau eines Ringinterfaces
- 5.3 Zugriffskontrolle in Bus- und „Broadcast“-Systemen
  - 5.3.1 Aufbau, Zweck und Grobbeurteilung von Bussystemen
  - 5.3.2 Bus mit Aufforderungsverfahren
  - 5.3.3 Bus mit zufälligem Zugriff
  - 5.3.4 Bus mit Reservierung
- 5.4 Lokale (und regionale) Netze im Hochgeschwindigkeitsbereich
  - 5.4.1 Der FDDI-Standard
  - 5.4.2 Fast Ethernet
  - 5.4.3 Der DQDB-Standard
- 5.5 Intranets
- 5.6 Vermittlungsrechner in lokalen Rechnernetzen – „Hubs“ vs. „Switches“ vs. „Routers“

# 5. KOMMUNIKATION IN LOKALEN RECHNERNETZEN

## LANs : *Einige Grundlagen*

**LAN** (= **L**ocal - **A**rea - **N**etwork) : Lokales Rechnernetz

→ Merkmale :

- limitierte geographische Ausbreitung (Gebäude bzw. zusammenhängendes Grundstück)
- eine „Institution“ als Betreiber (Unternehmen, Privatperson, Behörde o.ä.)
- Datenrate typischerweise  $\geq 10, \dots, 100 \text{ Mb/s}$ , ... und häufig sogar:  $\geq 10 \text{ Gb/s}$



**HSLAN** : „**h**igh-**s**peed **LAN**“

→ Datenrate  $\geq 1 \text{ Gb/s}$  (2002)

indes: Datenrate  $\geq 10 \text{ Gb/s}$  (2005)

... und heutzutage: Datenrate  $\geq 100 \text{ Gb/s}$

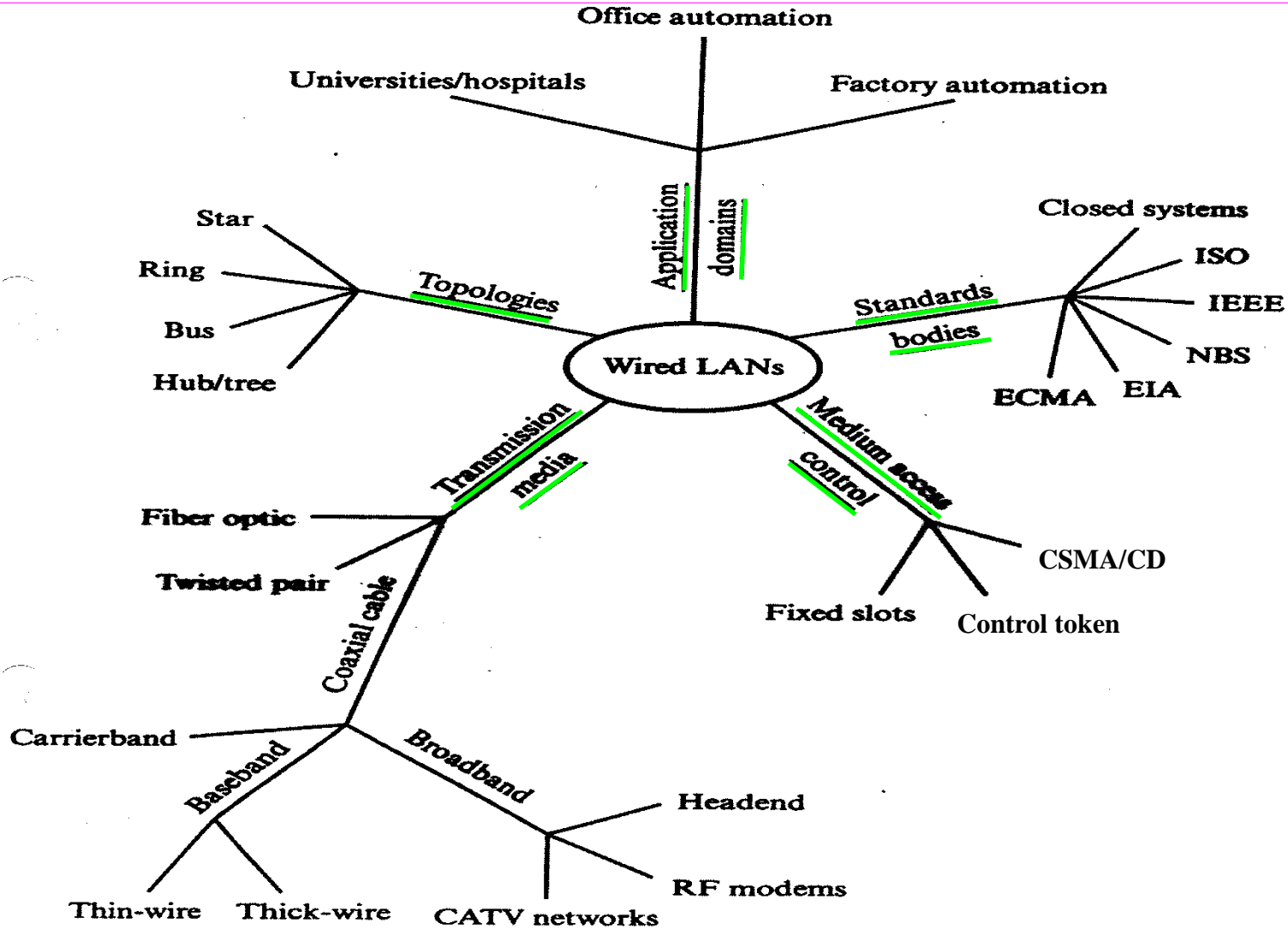
„**wireless LAN**“ : LAN mit drahtloser DÜ (→ im allg. deutlich geringere Datenraten, aber „man holt schnell auf“ !)

# Techn. Charakteristika von LANs :

- *Topologien* : Bus, Ring, Stern
- *Übertragungsmedien*, insbes. :
  - verdrillte Drähte
  - Koaxialkabel
  - Glasfaser
  - Rundfunk
  - Infrarotübertragung
  - Laser/Richtfunk zur LAN-LAN-Kopplung
- *Zugriffskontrolle* auf gemeinsames ÜM
  - u.a. Standards wie
    - **zirkulierende Kontrollmarke** (Token Ring, FDDI, Token Bus, ...)
    - **CSMA/CD** (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ...)
    - **CSMA/CA** (Wireless LAN bzw. kurz: WLAN, ...)

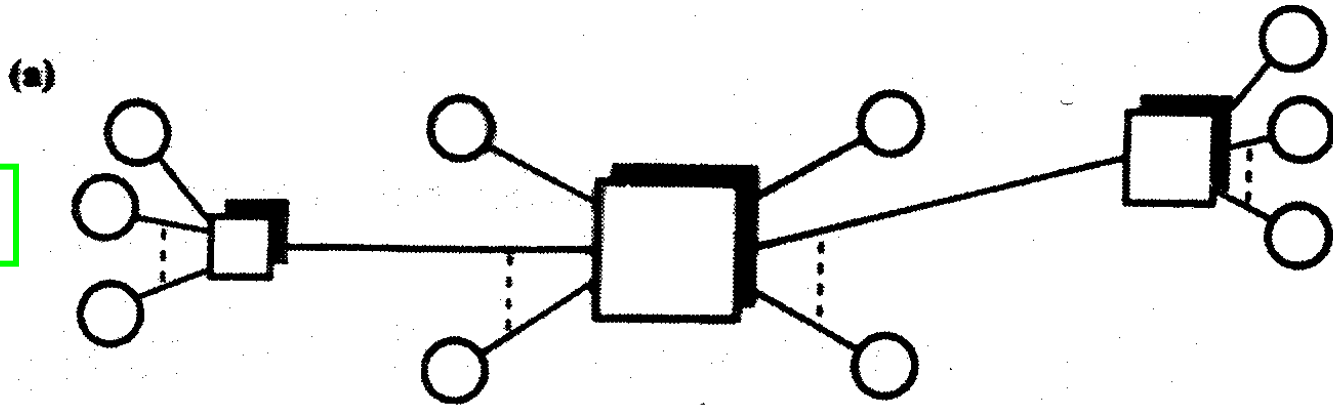


# Realisierungsvarianten für leitungsgebundene LANs ("wired LANs")



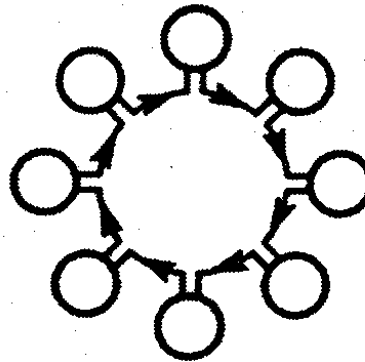
## LAN - Topologien

Stern

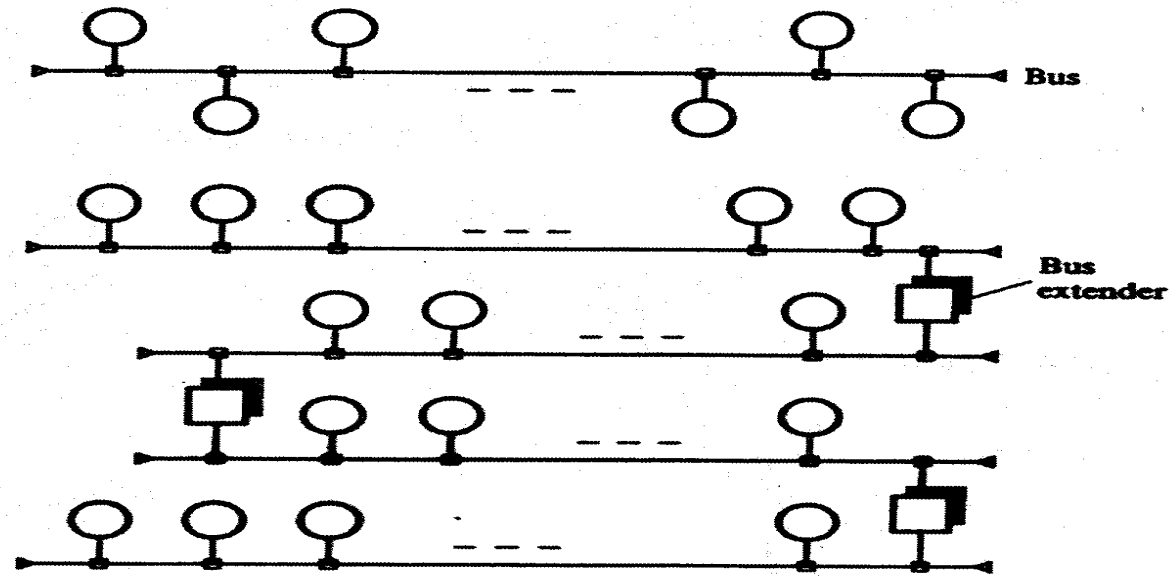


Ring

(b)

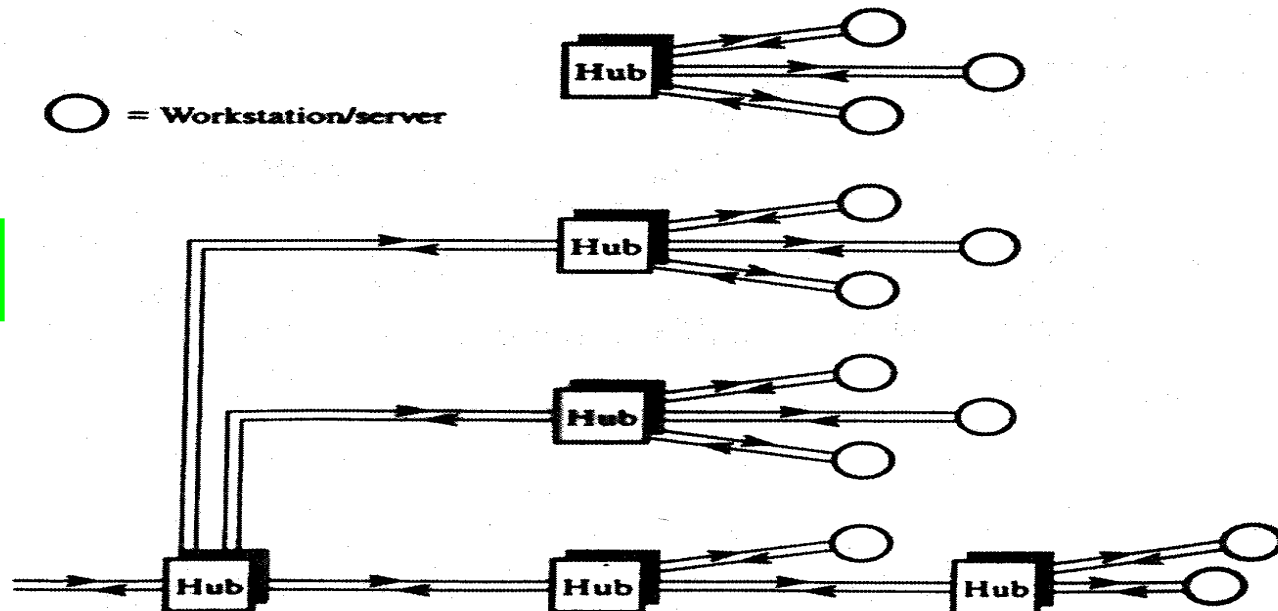


(c)



Bus

(d)

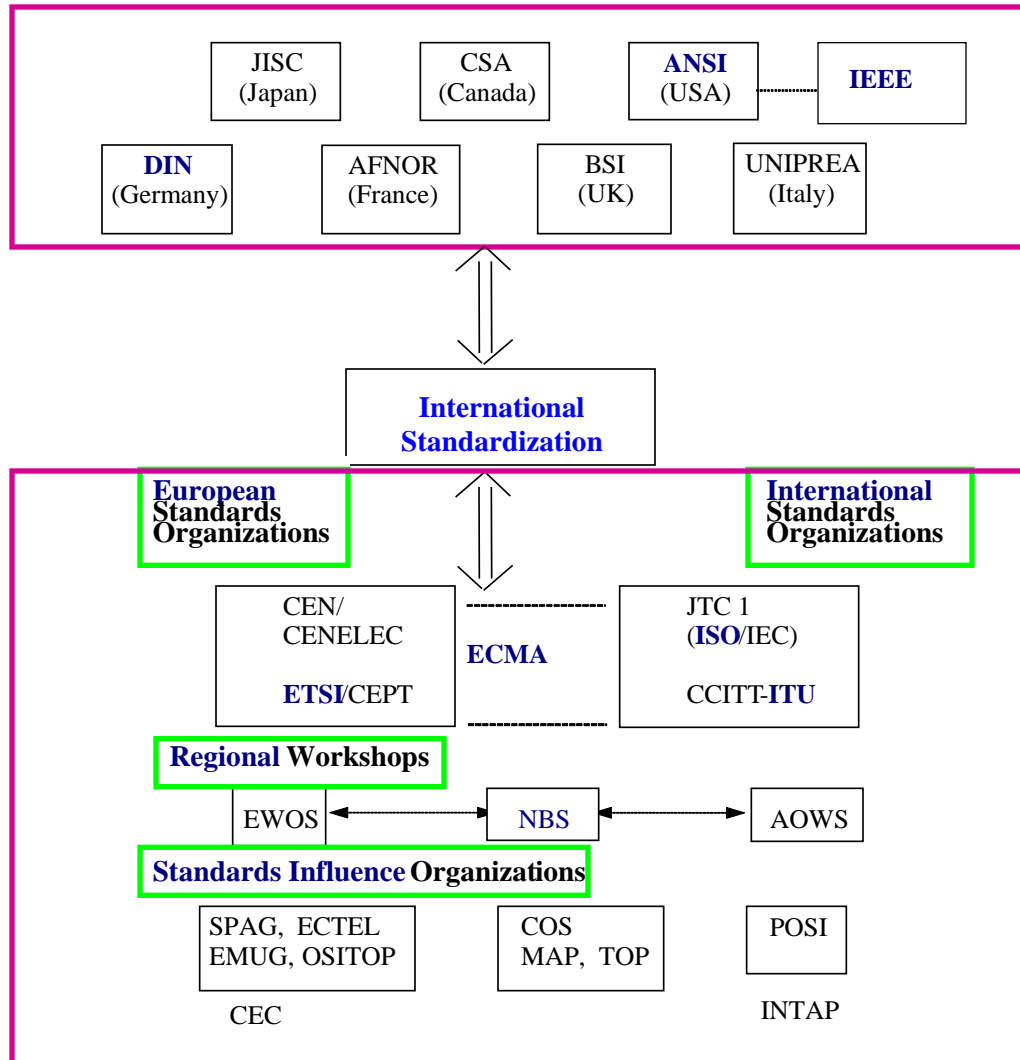


Baum

Alternative zu Hubs: Switches

# 5.1 Standards für lokale Rechnernetze

## Country Standards Organizations

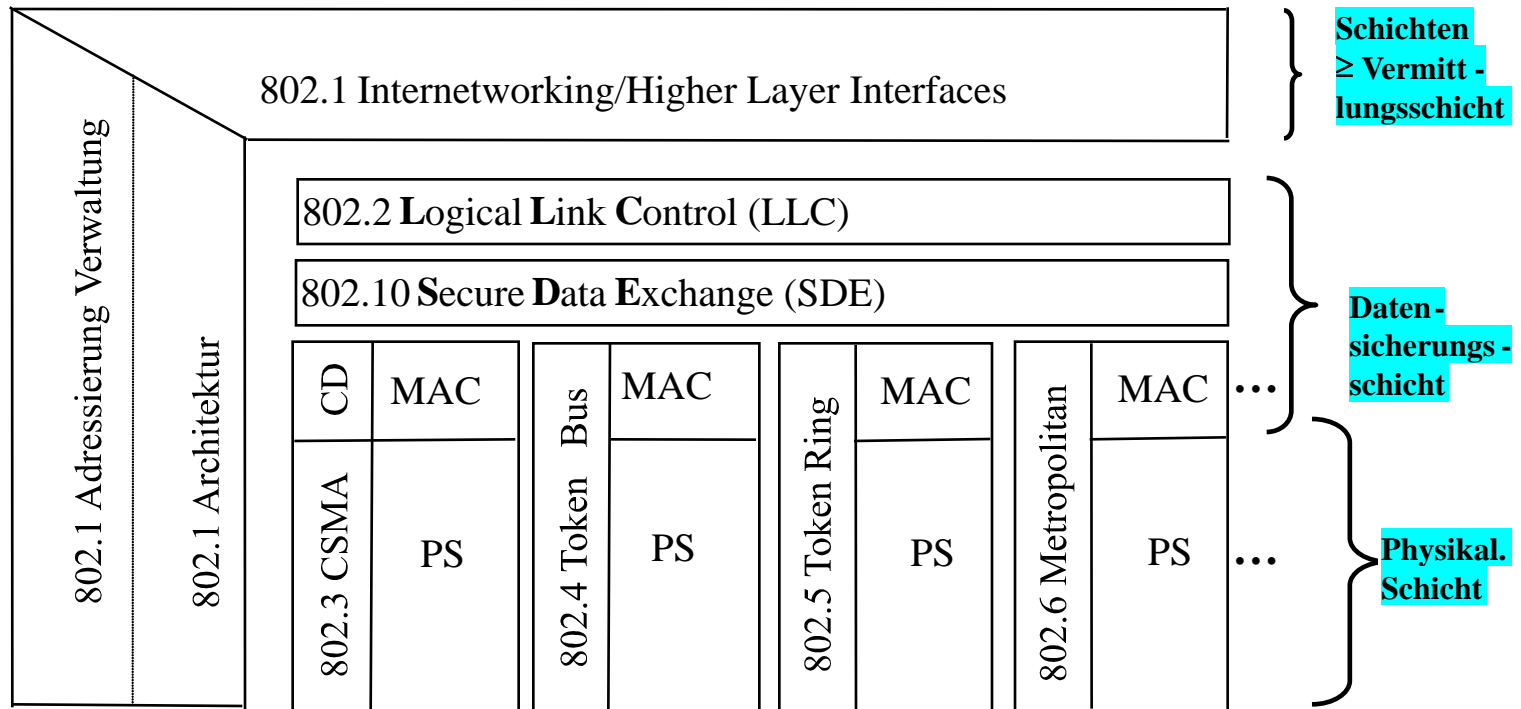


# IEEE 802 – Architekturmodell für LANs

Aktuelle Standardisierungsergebnisse des **IEEE-Komitees**  
für LAN-Standards (**Project 802**), Standardisierungsorganisationen : vgl. DKR V –7-



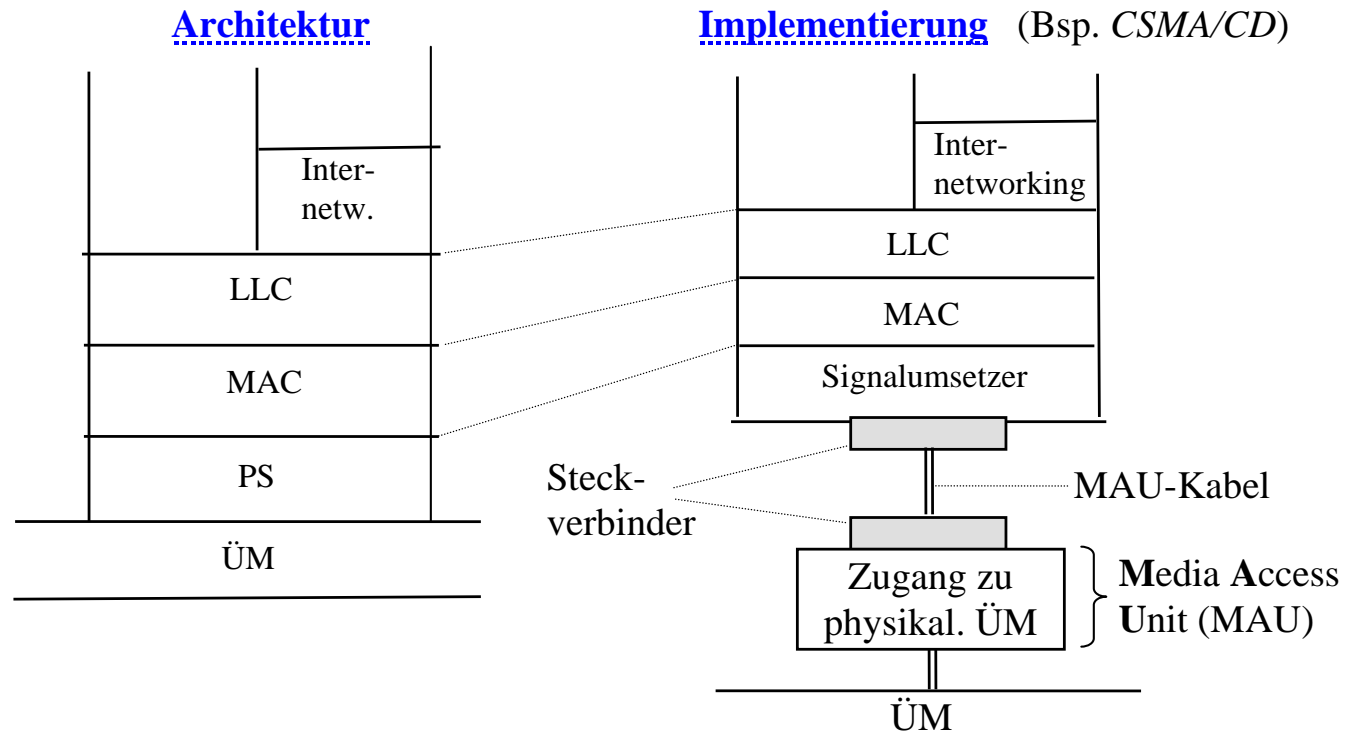
(a) Standard-LAN-Architektur gemäß **IEEE 802** :



MAC : **m**edia **a**ccess **c**ontrol  
weitere LAN-Standards, vgl. Details s.u.



# **Referenzmodell für die Architektur und Implementierung von LANs**

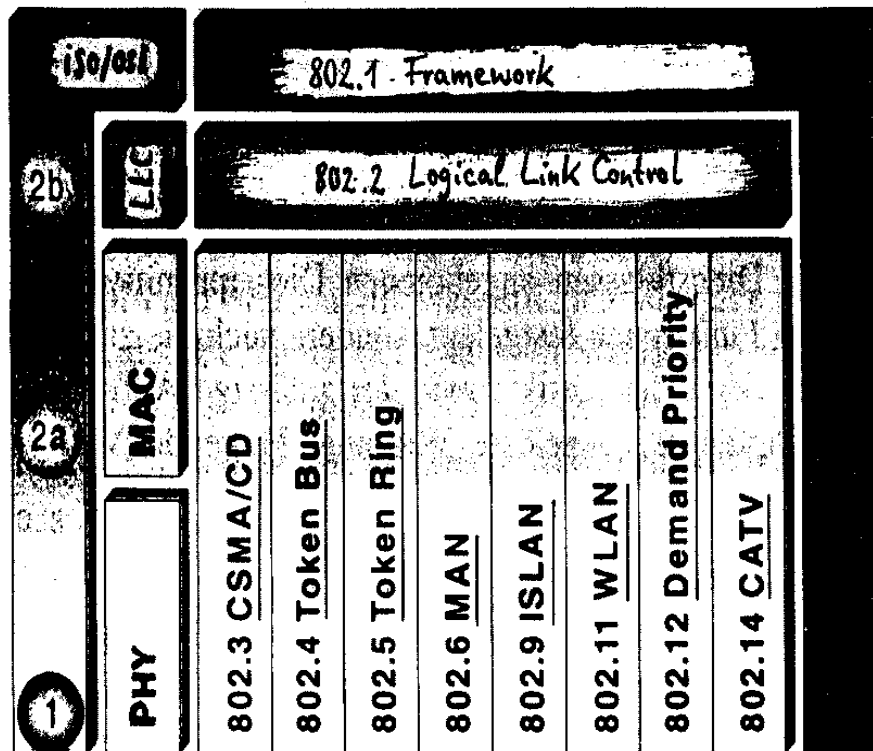


# Übersicht über LAN-Standards (IEEE 802)

## IEEE 802 Working Groups:

- 802.1 **Bridging** (networking) and **Network Management**
- 802.2 **Logical link control** (inactive)
- 802.3 **Ethernet**
- 802.4 **Token Bus** (disbanded)
- 802.5 Defines the MAC layer for a **Token Ring** (inactive)
- 802.6 **Metropolitan Area Networks** (disbanded)
- 802.7 **Broadband LAN using Coaxial Cable** (disbanded)
- 802.8 **Fiber Optic TAG** (disbanded)
- 802.9 **Integrated Services LAN** (disbanded)
- 802.10 **Interoperable LAN Security** (disbanded)
- 802.11 **Wireless LAN & Mesh** (Wi-Fi certification)
- 802.12 **demand priority** (disbanded)
- 802.13 Not Used
- 802.14 **Cable modems** (disbanded)
- 802.15 **Wireless PAN**
  - 802.15.1 (**Bluetooth** certification)
  - 802.15.4 (**ZigBee** certification)
- 802.16 **Broadband Wireless Access** (WiMAX certification)
  - 802.16e (**Mobile**) **Broadband Wireless Access**
- 802.17 **Resilient packet ring**
- 802.18 **Radio Regulatory TAG**
- 802.19 **Coexistence TAG**
- 802.20 **Mobile Broadband Wireless Access**
- 802.21 **Media Independent Handoff**
- 802.22 **Wireless Regional Area Network**

# LAN-Standards (ausgewählte Beispiele)



**IEEE 802 Referenzmodell  
für Lokale Rechnernetze**

## Bemerkungen :

- 802.6 MAN entspricht : DQDB-Standard
- ISLAN ≡ Integrated Services LAN
- WLAN ≡ Wireless LAN
- CATV ≡ Cable TV
- allgemein : IEEE 802-Standards auch von ISO übernommen

## 5.2 Zugriffskontrolle in Ringnetzen

### 5.2.1. Aufbau, Zweck und Grobbeurteilung von Ringnetzen

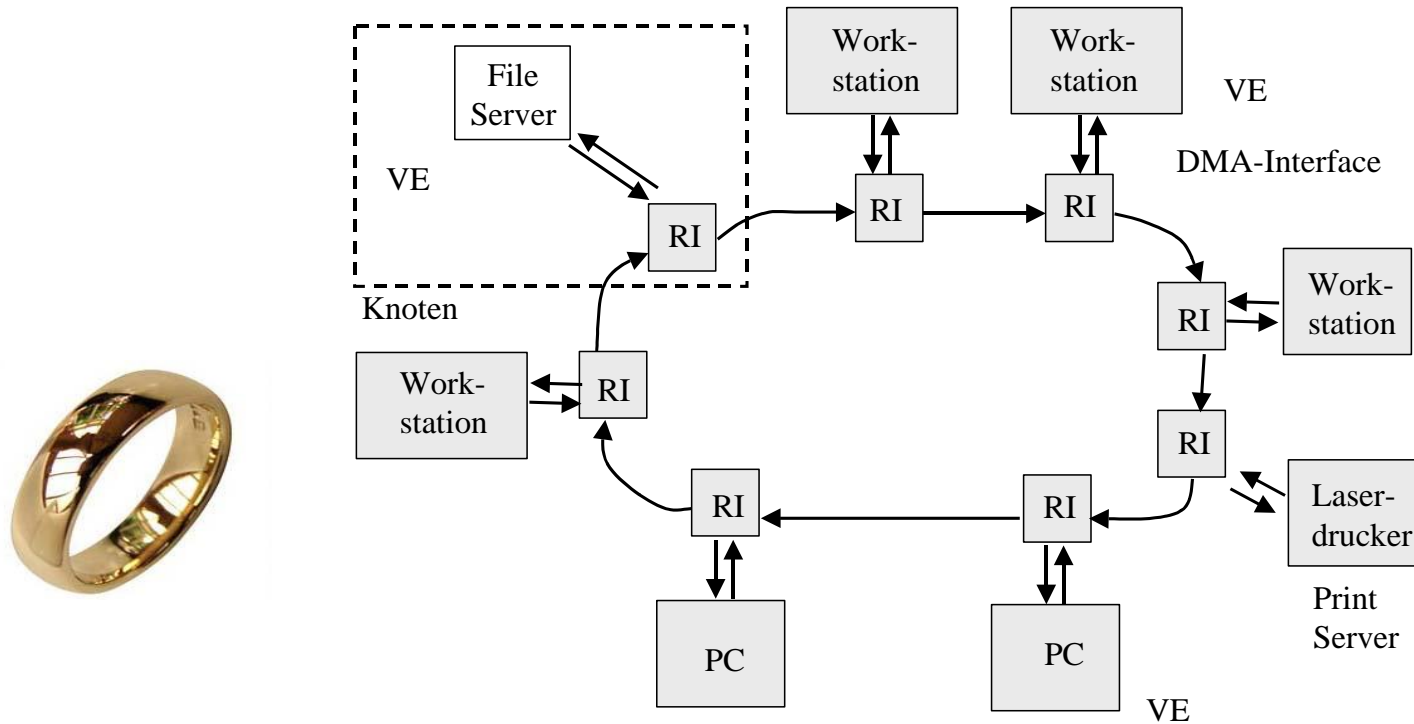
#### *Ringtopologie :*



Topologie eines Kommunikationssystems, die ein gemeinsames Übertragungsmedium (ÜM) benutzt, das einen geschlossenen (zumeist unidirektionalen) Ring bildet. Jede der kommunizierenden Instanzen ist dabei über das ÜM mit genau zwei Kommunikationspartnern direkt verbunden (vgl. Abb. auf nächster Folie).

#### *Ringnetz :*

Menge von Verarbeitungselementen (z.B. Terminals, periphere Geräte, PCs, Workstations), die in Form einer Ringtopologie verbunden sind, wobei der Anschluss an das ÜM zumeist indirekt über dedizierte **Ring-Interfaces** (RI) erfolgt.

**Beispiel** eines Ringnetzes :

VE : Verarbeitungselement  
(auch : Station)

Verwendetes physikal. ÜM : z.B. Koaxialkabel, Lichtleiter.

Datenrate : i.a.  $\geq 10 \left[ \frac{\text{MBit}}{\text{sec}} \right]$ .

Verwendung von Ringnetzen in lokalen Rechnernetzen.

**Hauptproblem** : **Synchronisation** (z.B. durch Serialisierung) der konkurrenten Zugriffswünsche auf das gemeinsame ÜM

→ **Lösungsvarianten**: **I. Ringnetze mit zentraler Kontrollinstanz** (vgl. 5.2.2)  
**II. Ringnetze mit gleichberechtigten Stationen** (vgl. 5.2.3. bis 5.2.6)

### *Vorteile* eines Ringnetzes :

- *Wegeermittlung* (routing) *unproblematisch*, da keine alternativen Wege verfügbar;
- einfache Möglichkeit für *Rundsenden* (broadcast);
- *keine Sättigungskontrolle* (congestion control) notwendig, da Übertragungsblöcke zwischen Sender und Empfänger nicht zwischengespeichert werden;
- i.a. *hohe Übertragungsgeschwindigkeiten* und *digitale Übertragung*  
→ keine Modems;
- einfache Funktionen mit Implikation *kostengünstiger Lösungen* (Kosten proportional zu Anzahl angeschlossener Stationen);
- *einfache Erweiterbarkeit*.

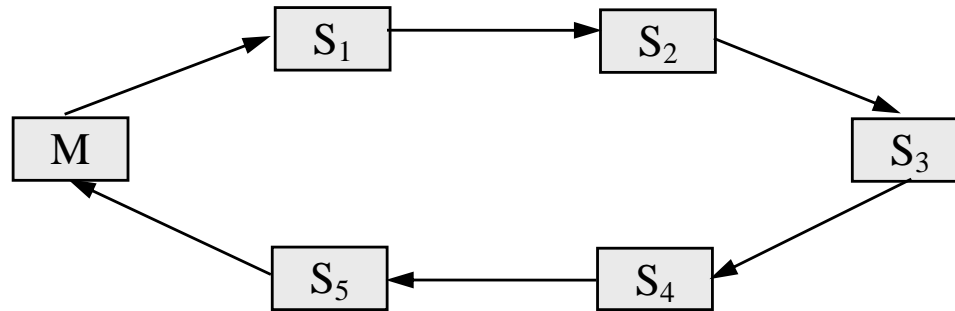
### *wesentliche Nachteile* eines Ringnetzes :

- *mangelhafte Zuverlässigkeit* (→ “bypass“ wegen Ausfall von Knoten);
- *Schwierigkeiten bei Verlust des Zugriffsrechts* bei zentralisierten Ringzugriffskontrollmechanismen (z.B. bei Ausfall der zentralen Kontrollinstanz in 5.2.2. oder Verlust der Kontrollmarke in 5.2.3.)

Aufgabe der Ringinterfaces → Entlastung des zugeordneten Verarbeitungselementes u.a. durch Übernahme folgender Funktionen :

- Absenden sämtlicher Dateneinheiten der Station (d.h. des zugeordneten Verarbeitungselementes) unter Berücksichtigung des Ringzugriffskontrollmechanismus;
- Adressierung der Zielknoten;
- Entgegennahme von, an die eigene Station adressierten, Dateneinheiten und deren Weitergabe an das Verarbeitungselement;
- evtl. Entnahme selbst abgesandter Dateneinheiten vom Ring nach einer vollständigen Umrundung des Rings;
- Weiterleitung ankommender Dateneinheiten, *falls*  
Zieladresse der Daten  $\neq$  eigene Adresse und Absenderadresse  $\neq$  eigene Adresse  
(zuvor Verstärkung des die Daten repräsentierenden Signals).

## 5.2.2 Ring mit zentraler Kontrollinstanz



M: Master, z.B. zentraler Großrechner

$S_i$ : Slave  $i$ , z.B. Personal Computer oder sonstige Benutzerstationen

### **Konzeptbeschreibung :**

- Genau einer der Knoten des Ringnetzes übernimmt die Funktion einer zentralen Kontrollinstanz ( $\rightarrow$  **master**);
- Master vergibt Zugriffsrecht auf gemeinsames Übertragungsmedium an die anderen (untergeordneten) Knoten ( $\rightarrow$  **slaves**);
- Datenaustausch ausschließlich zwischen Master und Slaves;
- Kommunikation zwischen Slaves nur indirekt über Master als Vermittler.

### **Vorteile :**

- + einfaches Konzept
- + vereinfachte Adressierung :
  - durch Master nur Empfängeradressierung (empfangender Slave);
  - durch Slave nur Absenderangabe (eigene Adresse). *Ergo*: nur 1 MAC-Adresse notw.



**Nachteil :**

- geringe Zuverlässigkeit wegen zentraler Kontrollinstanz

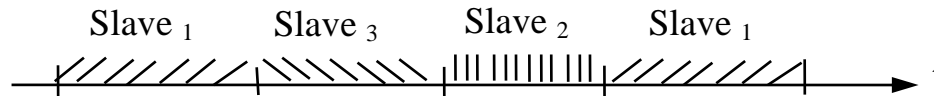
**Varianten :**

(α) *statische Reservierung* (static assignment)

z.B. synchronous **t**ime **d**ivision **m**ultiplexing (STDM), vgl. Abschn. 3.9

→ a priori feste Reserv. von Zeitscheiben (time slots) für gegebene Station.

Bsp.:



**Vorteil** : wenig komplex (u.a. keine Adressangabe notwendig)

**Nachteil** : wenig effizient (z.B. Zeitscheiben „verschenkt“, falls Station nicht sendewillig)

(β) *bedarfsabhängige Reservierung* (demand assignment)

→ Vergabe von Zeitscheiben durch Master auf Anforderung (z.B. Anfrage des Masters bei Slaves bzgl. Sendebereitschaft), d.h. nur geringer Unterschied zu Multidrop-Verbindung mit Polling.

Frühes Realisierungsbeispiel : SPIDER-System bei Bell Labs

## 5.2.3 Token-Ring

In 5.2.3.,..., 5.2.6. behandelt : Ringnetze mit gleichberechtigten Stationen (Verzicht auf zentrale Kontrollinstanz → Implikation : aufwändigere Zugriffskontrollmechanismen)

**Token-Ring** = Ring mit zirkulierender Kontrollmarke :

aktuell wichtigste Variante für Ringnetze

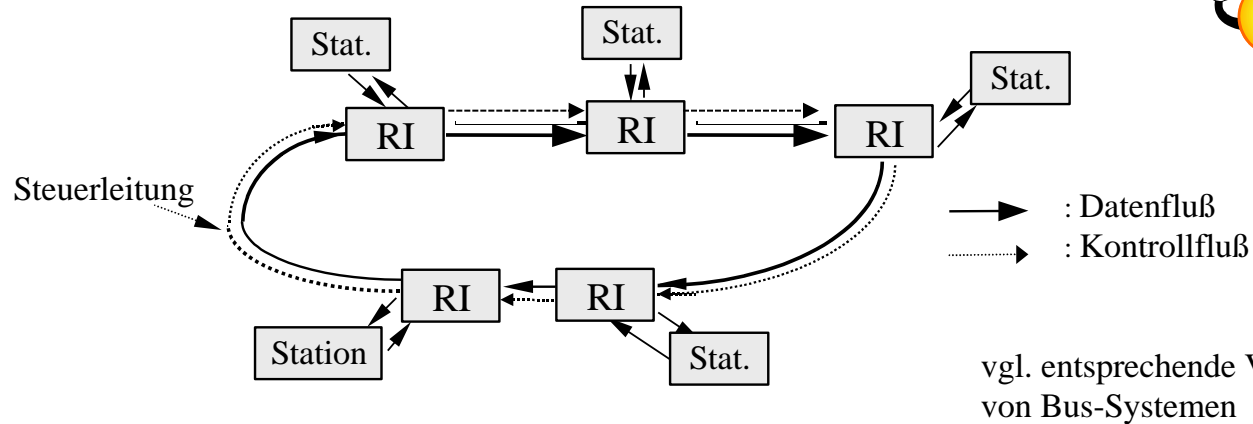
**Konzept**beschreibung :

- gleichberechtigte, autonome Knoten, wobei zu jedem Zeitpunkt höchstens ein Ringinterface im Besitz des Zugriffsrechts;
- Weitergabe des Zugriffsrechts an den „Nachfolgeknoten“ auf dem Ring, z.B. falls Knoten mit Zugriffsrecht
  - (a) nicht sendewillig *oder*
  - (b) bereits eine oder sämtliche vorhandene Dateneinheiten abgesandt.

*Nota bene:* Token-Konzept auch relevant und nützlich für andere Informatik-Teilgebiete (z.B. bei verteilter Datenhaltung zur Transaktionsverwaltung)

## Varianten für die Weitergabe des Zugriffsrechts :

(α) Verwendung *dedizierter Steuerleitungen* (“daisy chain“)



(β) Verwendung einer *zirkulierenden Kontrollmarke* (“control token“)  
*Kontrollmarke* (KM) i.a. durch spezielles Bitmuster (wie z.B. 11111111) repräsentiert

*Regel* : Knoten sendeberechtigt  $\Leftrightarrow$  Ringinterface im Besitz der Kontrollmarke

**Vorteil** : beliebige Länge für Datenblöcke

**Nachteil** : - zu jedem Zeitpunkt  $\leq 1$  sendeberechtigter Knoten  
 - Verlust/Duplizierung der Kontrollmarke problematisch  
 - Fairness-Problem bei Festhalten der KM durch ein Ringinterface



## Beschreibung des Prinzips der zirkulierenden Kontrollmarke

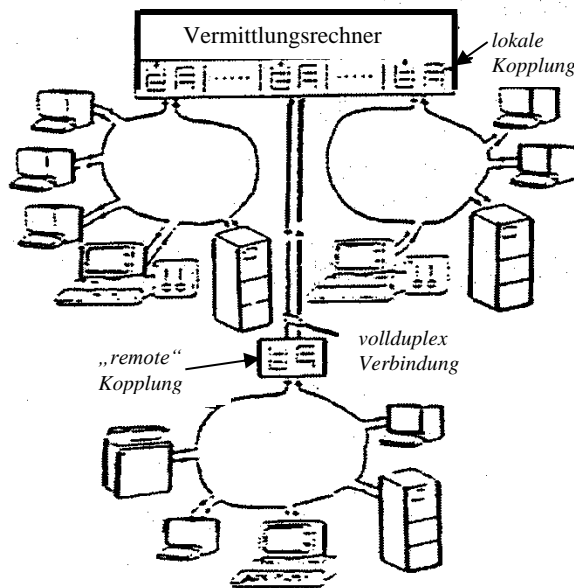
am Beispiel des **IBM Token Ring**

Bem.: zirkulierende Kontrollmarke in Ringnetzen bereits eingeführt durch Farmer/Newhall,  
ca. 1969, Bell Labs

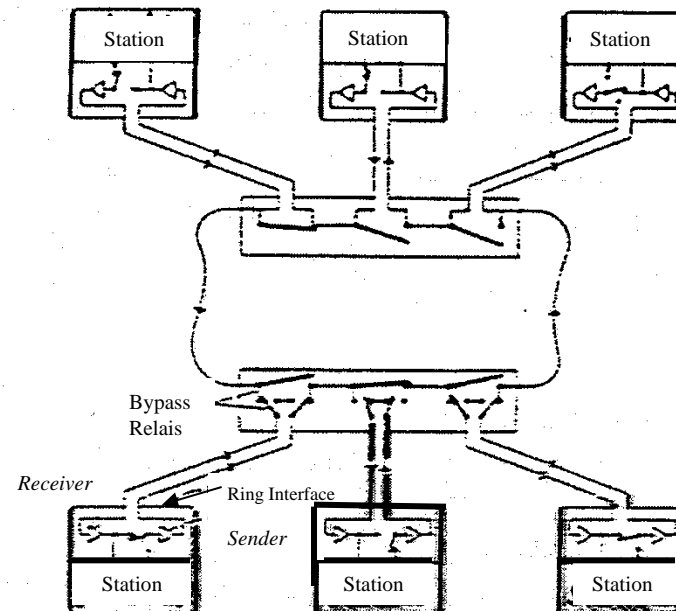
1997: **ca. 30%** aller LANs auf Token Ring-Basis – blieb bedeutend bis sich Ethernet durchsetzte

## Konfigurationen von IBM Token Ring-Netzen :

### A. Kopplung mehrerer Ringnetze



### B. Aufbau eines Ringnetzes



## Modi für Ringinterfaces (hier: fehlerfreier Fall), z.B.

- **Sendemodus** (im Besitz der freien Kontrollmarke)
- **Abhörmodus** (auf Suche nach freier Kontrollmarke)



- Ringinterface im **Sendemodus** :
  - Absenden einer Dateneinheit (Format s.u.); TK-Bit : = 1
  - Starten eines Timers und Warten auf eigene Dateneinheit (nach vollständiger Ringumrundung)
  - *falls* (rechtzeitiger) Empfang des Headers der eigenen Dateneinheit in ungeändertem Zustand : Absenden freier Kontrollmarke (Format s.u.);  
*ansonsten* → Sonderbehandlung
  
- Ringinterface im **Abhörmodus** :
  - Analyse sämtlicher erhaltener Signale (ggf. Empfang ankommender Daten)
  - *falls* freie Kontrollmarke (KM)  $\wedge$  gesetztes Prioritäts-Bit (PI, s.u.) okay  $\wedge$  sendewillig :  
Belegung KM (TK-Bit : =1)  $\wedge$  Übergang in Sendemodus;  
*ansonsten* → KM-Weitergabe

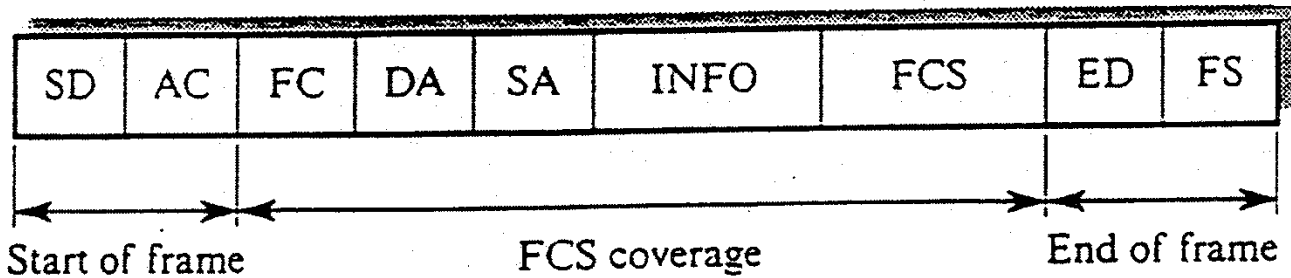
## Token Ring : Aufbau der Protokolldateneinheiten

(a) 1 1 1 Octets



Kontrollmarke

(b) 1 1 1 2/6 2/6 < 5000 4 1 1 Octets

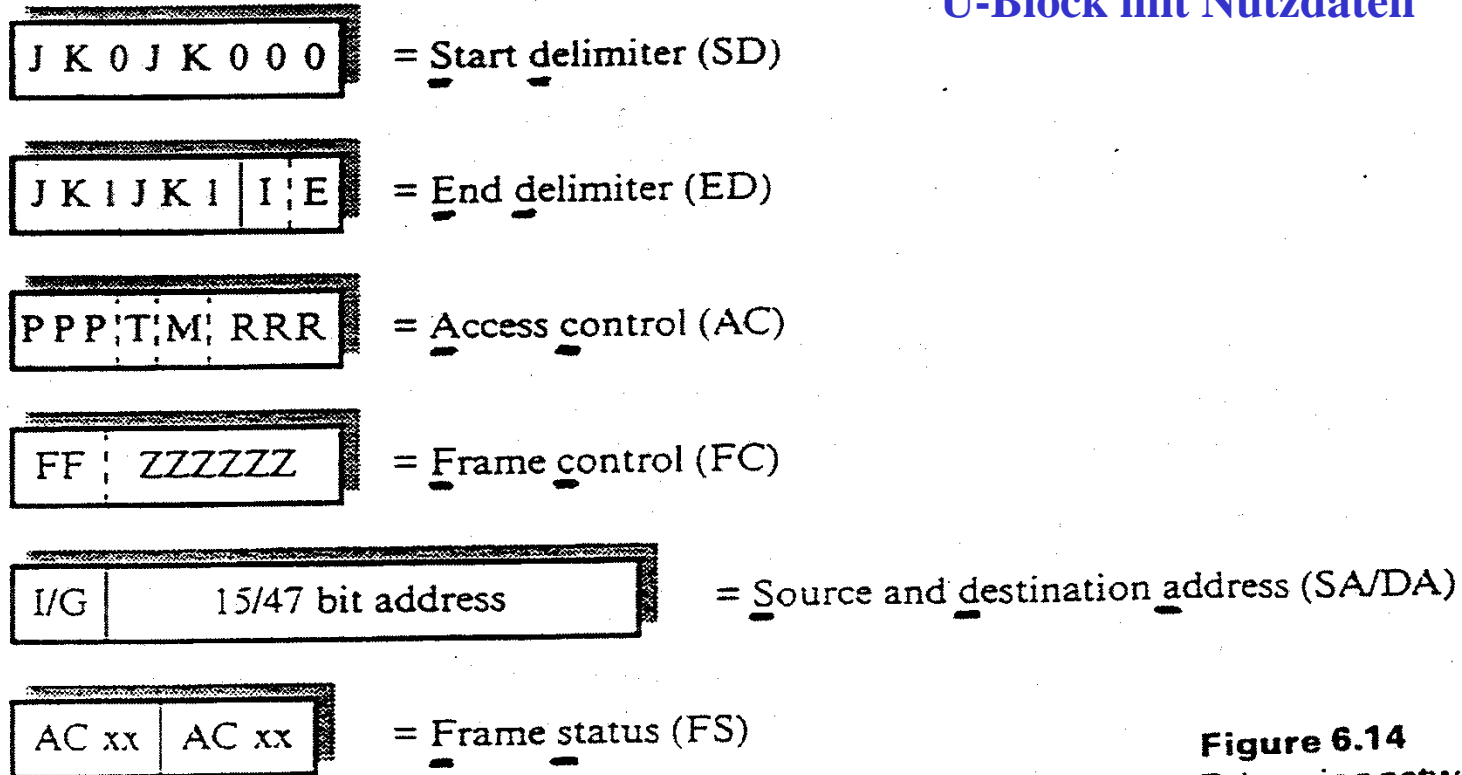


Ü-Block mit Nutzdaten

## Token Ring : Aufbau der Protokolldateneinheiten (Forts.) [Kür]

(c)

### Ü-Block mit Nutzdaten



**Figure 6.14**  
Token ring network  
frame formats and  
field descriptions:  
(a) token format;  
(b) frame format;  
(c) field descriptions.

aus: [Halsall 96]

## Allgemeine Eigenschaften von Ringnetzen mit zirkulierender Kontrollmarke :

### Signalverzögerung in den Ringinterfaces :

Um Änderbarkeit der KM zu gewährleisten, ist das Signal in jedem Ringinterface um das für die Übertragung eines Bit benötigte Zeitintervall zu verzögern.

### Varianten für die Entnahme einer Dateneinheit vom Ring :

- durch *Empfänger*
- durch *Sender* (→ automatische Quittierung)
- durch *Ringinterface, das aktuell im Besitz der KM.*



### Existenz eines Überwachungsknotens erforderlich zur

- Synchronisation der Knoten
- Entdeckung eines Verlusts von Übertragungsblöcken und insbesondere der KM
- Regenerierung verlorener Kontrollmarken
- Initialisierung

→ und doch wiederum eine zentrale Instanz mit Einführung eines Überwachungsknotens !!



## Leistungsfähigkeit lokaler Rechnernetze auf Token Ring-Basis

### DER PARAMETER **a**



Die Größe der Auswirkung der nicht-produktiven Verzögerung, die aus der Token-Weitergabe (von Station zu Station) resultiert, hängt ab von :

- **Network speed**, d.h. **Datenrate**  $v_D$  [bit/s]
- **Network size**, d.h. **Länge des Rings**  $l$  [m]
- **Packet length**, d.h. **Paketgröße** (mittlere bzw. konstante)  $L$  [bit]
- **Speed of light**, d.h. **Lichtgeschwindigkeit** (genauer : **Signalausbreitungsgeschwindigkeit**)  $c$  [m/s]

Diese 3 Größen (da  $c = \text{const.}$ ) lassen sich zu nur einer kombinieren – dem Parameter **a** :

$$\mathbf{a} = \frac{\text{Speed of Medium} \bullet \text{Size of Medium}}{\text{Speed of Light} \bullet \text{Packet Size}}, \text{ d.h. } \mathbf{a} = \left(\frac{1}{c}\right) \bullet \left(\frac{v_D}{L}\right)$$



**a** ist die **Ende-zu-Ende Signalverzögerung** des Mediums, *ausgedrückt in* der **Anzahl von Blöcken (frames)**, die – direkt aneinander angrenzend – **auf dem Medium zu einem Zeitpunkt** koexistieren können (d.h. **a** Blöcke befinden sich gleichzeitig in Übertragung; oder auch: sie werden gerade „on the fly“ übertragen).

Ein MAC-Protokoll verhält sich ähnlich auf verschiedenen Netzen mit demselben **a** :

➤ 4 Mb/s, 20 km, 1 kByte Blöcke **a** = 0.05

➤ 100 Mb/s, 0.4 km, 1/2 kByte Blöcke **a** = 0.05

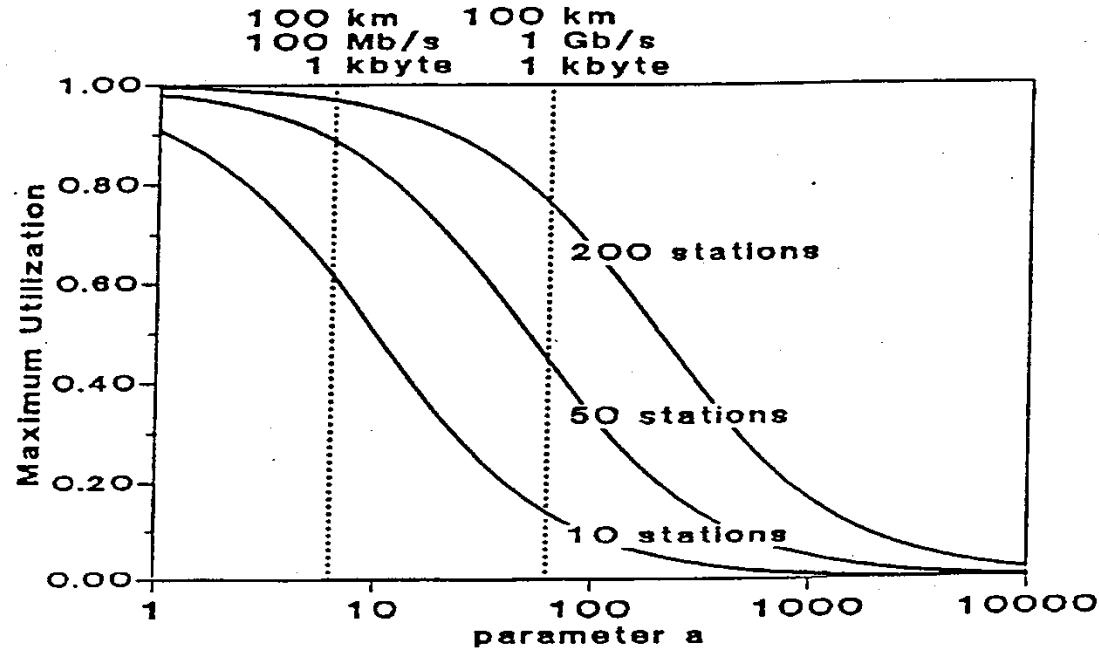
Ausführliche Begründung für die Formel für „**a**“:

Sei  $\tau_{\text{Umlauf}}$  = Signalumlaufzeit um Ring; ergo:  $\tau_{\text{Umlauf}} = l/c$

Sei  $\tau_{\text{SendPacket}}$  = Zeitdauer, um ein vollständiges Paket abzusenden; ergo:  $\tau_{\text{SendPacket}} = L/v_D$

Dann gilt:  $\mathbf{a} = \tau_{\text{Umlauf}} / \tau_{\text{SendPacket}} = (l/c) / (L/v_D) = (l/c) \bullet (v_D/L)$ , s.o.

# Auslastungsverhalten bei wachsendem $a$



- Voraussetzungen: spezielle Verkehrsannahmen, Tokenfreigabe nach jedem übertragenen Block
- Auslastung wächst, sofern Token erst nach Übertragung mehrerer Blöcke freigegeben wird  
→ dies erhöht jedoch die Zugriffszeit auf das ÜM

## 5.2.4 Ring mit zufälligem Zugriff (contention)

**Konzept**beschreibung (nach Clark) :



Abhören des Rings durch sendewilliges Ringinterface RI

- (a) *falls Ring* bei RI **unbelegt** → sofortiger Beginn des Sendevorgangs;  
abzusenden : Datenblock und direkt anschließend eine Kontrollmarke (Token)
- (b) *falls Ring* bei RI **belegt** → Suche eines Tokens notwendig;  
falls Token gefunden : Umwandlung des Tokens in “Connector“  
(z.B. Modifikation des letzten Bit) und Absenden des eigenen Datenblocks.

**Sonderfälle :**

(1) *Ring leer*  $\wedge$  *genau ein Ringinterface RI<sub>1</sub> sendewillig*

→ RI<sub>1</sub> bringt abzusendenden Datenblock DB<sub>1</sub> und direkt anschließend Token auf Ring :

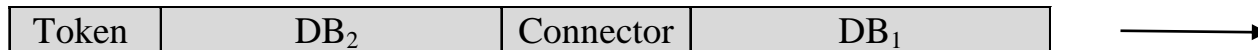


*nach vollständiger Ringumrundung:* Absorbierung von DB<sub>1</sub>  $\wedge$  Token durch RI<sub>1</sub>.

(2) *Ring von genau einem Ringinterface  $RI_1$  belegt zu  $t = t_0$ ;*

*$RI_2$  ebenfalls sendewillig zu  $t = t_0 + \varepsilon$ , jedoch Verkehr von  $RI_1$  durch  $RI_2$  bereits festgestellt*

→ Umwandlung des Tokens in Connector durch  $RI_2$  und Anfügen des abzusendenden Blocks  $DB_2$  an Connector; anschließendes Senden eines Tokens :



d.h. Ring ab sofort identisch mit Token-Ring (solange Verkehr auf Ring)

(3) *Auftreten eines Zugriffskonflikts ausgehend von leerem Ring*

(z.B. quasi gleichzeitiger Zugriff von  $RI_1$  und  $RI_2$  auf Ring ohne Erkennung der Konfliktsituation)



**Konsequenz** : Absorbierung sämtlicher Signale von  $RI_2$  durch  $RI_1$   
bzw. von  $RI_1$  durch  $RI_2$

insbes. abgesandter Datenblock  $\neq$  empf. Datenblock für  $RI_1$  *und* für  $RI_2$   
(z.B. gewährleistet, falls Senderadresse in Datenblöcken mitgeführt)

**Konfliktauflösung** : Warten eines zufälligen Zeitintervalls durch  $RI_1$  und  $RI_2$ ,  
anschließend erneuter Sendevorgang.

TESTFRAGEN: Gibt es im Hochlastbereich signifikante Unterschiede zwischen Contention Ring und Token Ring ? Wie ist die mittlere Wartezeit für einen Sender bei ansonsten leerem Ring in jedem der beiden Netztypen ?

## 5.2.5 Ring mit Festrahmenzirkulation



### Konzeptbeschreibung :

- Vorbemerkung : Sei  $T_o$  die gesamte Signallaufzeit für eine vollständige Ringumrundung (incl. zusätzlicher künstlicher Verzögerung des Signals in den Ringinterfaces, z.B. durch Benutzung von Schieberegistern)  
→ bei gegebener Übertragungsgeschwindigkeit des physikalischen Übertragungsmediums reicht Zeitintervall  $T_o$  zur Übertragung von  $L_o$  [Bit]. ┘
- Zur Festrahmenzirkulation erfolgt **Slotbildung** durch Unterteilung von  $T_o$  (s.o.) in  $m$  äquidistante Zeitintervalle der Länge  $T$ ,  
wobei 
$$m \cdot T \leq T_o, \quad m \in \mathbb{N}$$
  
(Beachte : Slot der Länge  $T$  ausreichend zur Übertragung einer Dateneinheit mit einer Länge von maximal  $L$  [Bit]).
- 2 Zustände für **Slots** : “**frei**” oder “**belegt**” (angezeigt durch Markierung).
- **Fragmentierung** sämtlicher abzusendender Dateneinheiten in Datenblöcke mit Länge  $\leq L$  [Bit].

- Bei **Sendevorgang durch ein Ringinterface** :

- (1) Auffinden eines freien Slots durch Untersuchung der „vorbeilaufenden“ Signale
- (2) Markierung des gefundenen freien Slots als “belegt”
- (3) Benutzung des Slots zur Übertragung eines (ggf. fragmentierten) Datenblocks.

- **Wiederherstellung freier Slots** :

z.B. *durch Empfänger* oder (nach einer Ringumrundung des Signals)  
*durch Sender* → Markierung des Slots als “frei”

Beispiel zur Slotbildung :

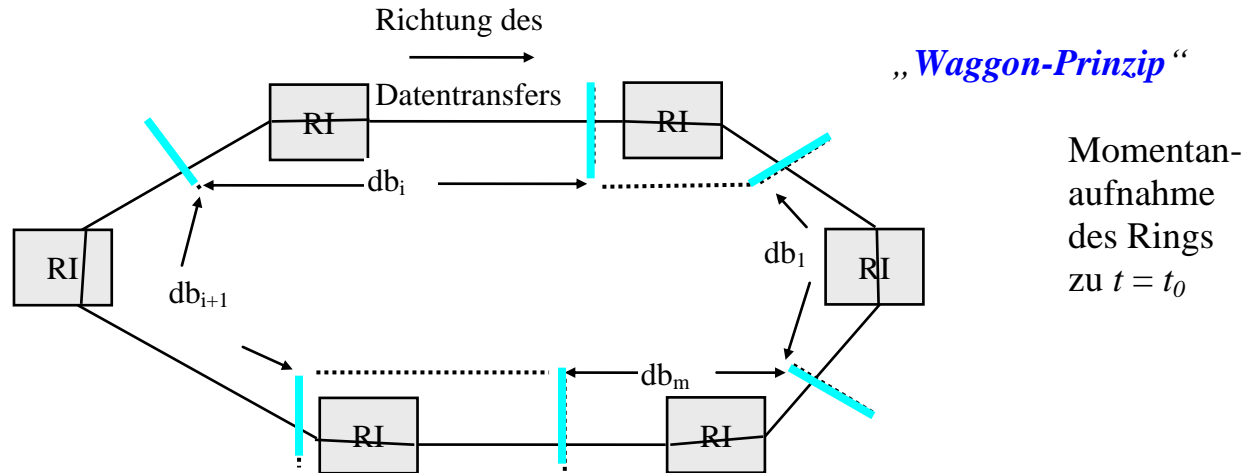
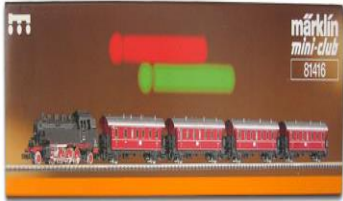
$$\left. \begin{array}{l} \text{Sei } T_o = 0,5 \text{ [msec]} = 500 \text{ [\mu sec]} \\ \text{Übertragungsgeschwindigkeit : } 10 \text{ [Mbit/sec]} \end{array} \right\} \Rightarrow L_o \approx 5 \text{ [KBit]}$$

Dies impliziert für  $m = 10$  :

$$L \approx 1/2 \text{ [KBit]} \text{ bzw. } T \approx 50 \text{ [\mu sec]} \text{ als Slot-Länge.}$$

→ **Interessante Frage** : Wie werden Slots und ihre Grenzen bei Initialisierung des Rings erzeugt ?

## Verfeinerte Darstellung der Festrahmenzirkulation :



$db_j, j = 1, \dots, m$  Teile des Rings, die zum Zeitpunkt  $t_0$  durch eine Signalfolge belegt sind / sein könnten, die genau einem Datenblock (der Slot-Länge  $L$ , s.o.) entspricht

Bem. : 1. Bit von  $db_k$  gesetzt  $\leftrightarrow db_k$  durch Datenblock belegt

**Vorteil :** Faire Aufteilung des gemeinsamen Übertragungsmediums

**Nachteil :** Konstante Länge für Datenblöcke ( $\rightarrow$  Fragmentierung/ Reassemblierung; evtl. schlechte Slotausnutzung durch nur teilweise Füllung)

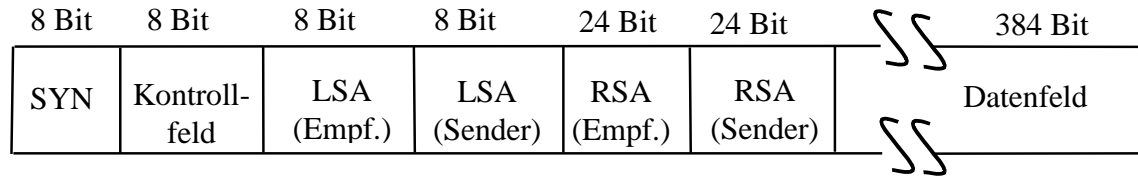
Festrahmenzirkulation in Ringnetzen bereits früh eingeführt durch Pierce, ca. 1972, Bell Labs.

TESTFRAGE: Ist für die Geschwindigkeit der „Waggons“ die Datenrate des Rings oder die Signalausbreitungsgeschwindigkeit ausschlaggebend ?



Pierce-Blockformat :

**NUR EXEMPLARISCH !!! (Kür)**



optional

SYN : Synchronisationszeichen

LSA : lokale Stationsadresse (für Kommunikation innerhalb des lokalen Ringnetzes)

RSA : regionale Stationsadresse (bei Kommunik. zwischen versch. lok. Ringnetzen)

Bem. zu **Kontrollfeld** :

- Bits 1 / 2 zur Spezifik. des *Nachrichtentyps* (z.B. priv. Nachricht, Rundsendenachricht)
- Bits 3 / 4 zur Anzeige der *Slotbelegung* (z.B. “frei“, “belegt“, “belegt  $\wedge$  1x gesichtet“, “belegt  $\wedge$  2x gesichtet“)

*Existenz eines Überwachungsknotens* erforderlich zur

- **Synchronisation** der Knoten, **Initialisierung** des Rings mit leeren Slots
- **Entdeckung eines Verlusts** von Übertragungsblöcken

## 5.2.6 Ring mit Registereinschub

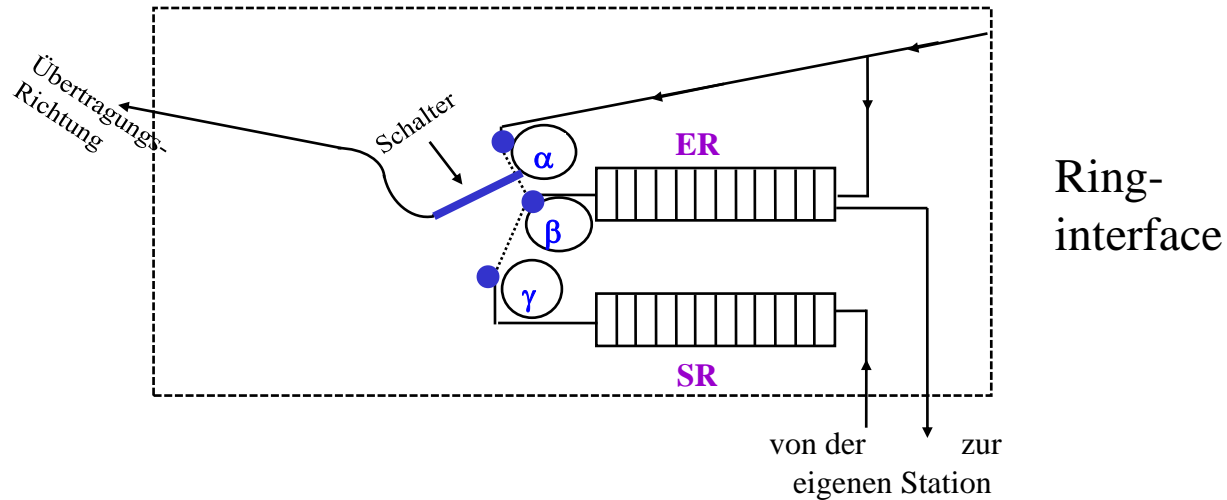
Versuch, Vorteile der Techniken Steuerumlauf und Festrahmenzirkulation zu kombinieren.  
→ *dynamisches „Verlängern/Verkürzen“ des Rings*

Konzeptbeschreibung (einer Variante von E. R. Hafner) :

- 2 Zustände für Ringinterfaces : „*aktiv*“ und „*passiv*“
- Ringinterface nur im Zustand „passiv“ sendeberechtigt
- Sendevorgang durch Einschieben des eigenen Datenblocks zwischen zwei beliebige aufeinanderfolgende Dateneinheiten → Verlängerung des Rings und Wechsel in Zustand „*aktiv*“
- durch Entnahme des eigengenerierten Datenblocks nach einer vollständigen Umrundung des Rings → Verkürzung des Rings und Wechsel in Zustand „*passiv*“ (wieder sendeberechtigt)



## Möglicher Aufbau eines geeigneten Ringinterfaces :



**SR = Senderegister** (Funktion als Ausgabepuffer)

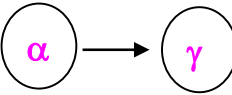
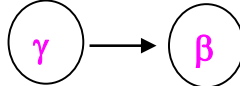
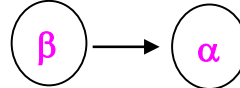
**ER = Empfangsregister** (Verwendung eines Schieberegisters)

Bem.: Neben o.g. Variante existieren anspruchsvollere Varianten mit der Möglichkeit der Akkumulation sämtlicher Lücken zwischen Datenblöcken und der Konsequenz, mehr als einen Datenblock zu einem Zeitpunkt pro Ringinterface zu übertragen

## Sequenz der Ereignisse bei einem Sendevorgang

(Voraussetzung : Ringinterface RI sei zunächst „**passiv**“, d.h.  
Schalterstellung = )



- (1) Laden von SR mit abzusendendem Datenblock DB
- (2) Abwarten einer Lücke zwischen zwei aufeinanderfolgenden Datenblöcken, um in dieser Lücke DB „einzuschieben“  
[*nota bene*: Beim Einschieben von DB darf kein vorbeikommender Block dadurch zerstört werden !!!]
- (3)  $Zustand(RI) := \text{„aktiv“}$ ;  bis SR entleert, d.h.  
DB auf Ring (während Sendevorgang : Abspeicherung eintreffender Signale in ER; *nota bene*: Schiebetakt gemäß Datenrate des Rings)
- (4) sobald SR leer : Wechsel der Schalterstellung 
- (5) sobald DB nach vollständiger Ringumrundung wieder in ER :  
Löschen DB und Wechsel der Schalterstellung  ;  
 $Zustand(RI) := \text{„passiv“}$  .

## Empfang einer Dateneinheit :

Kopieren des Inhalts von ER und Weiterleitung an lokale Station.

Beurteilung von Ringnetzen mit **Registereinschub**  
(*register insertion* bzw. *delay insertion*) :

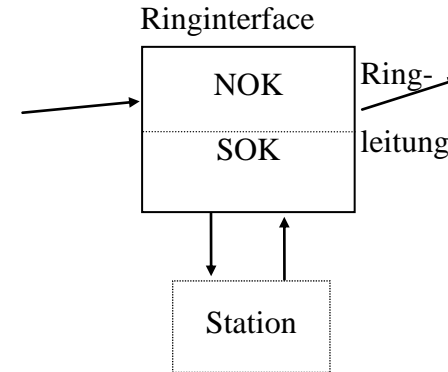
- Vorteile** :
- + faire Aufteilung des Übertragungsmediums
  - + i.a. bessere Auslastung des physikalischen Übertragungsmediums und geringere Verweilzeiten für Dateneinheiten zwischen Sender und Empfänger als bei Steuerumlauf und Festrahmenzirkulation.
- Nachteile** :
- bei manchen Varianten (z.B. siehe oben beschriebene Version) :
    - $\leq 1$  Dateneinheit pro Ringinterface auf Ring
  - Länge der Datenblöcke zwar variabel, jedoch limitiert durch Größe des Ausgabepuffers.

# 5.2.7 Aufbau eines Ringinterfaces

Bem.: Beschreibung eines (z.B. für Token-Ring oder Contention-Ring geeigneten) Ringinterfaces

Grobunterteilung :

- **netzorientierte Komponente** (NOK)
- **stationsorientierte Komponente** (SOK)



Aufgaben einer

(a) **netzorientierten Komponente** :

- (a1) **Sendekontrolle** (z.B. Aufbereitung von Datenblöcken; bei Token-Ring: Versuch in Token-Besitz zu gelangen) → vgl. „Sendeteil“ in NOK
- (a2) **Empfangskontrolle** (z.B. Entgegennahme von Datenblöcken mit : “Empfängeradresse = eigene Stationsadresse“, insbesondere CRC-Überprüfung sowie Weitergabe dieser Blöcke an SOK) → vgl. „Empfangsteil“ in NOK
- (a3) **Adressanalyse** (z.B. Auswertung der Adresse erhaltener Datenblöcke zur Unterstützung der Empfangskontrolle) → vgl. „Adresserkennung“ in NOK

Bem.: weitgehende Unabhängigkeit dieses Teils von der Art der verwendeten Ringzugriffskontrolle

(a4) **Signalformung**

(z.B. Umwandlung digitaler in analoge Signale zum Zwecke der DÜ, Berücksichtigung des Datenübertragungsverfahrens, ...)

→ vgl. „*Signalumsetzer*“ in NOK

(b) **stationsorientierten Komponente** :

Bereitstellung einer Möglichkeit zur Kommunikation zwischen NOK  $\wedge$  der angeschlossenen lokalen Station

(Hauptzweck :

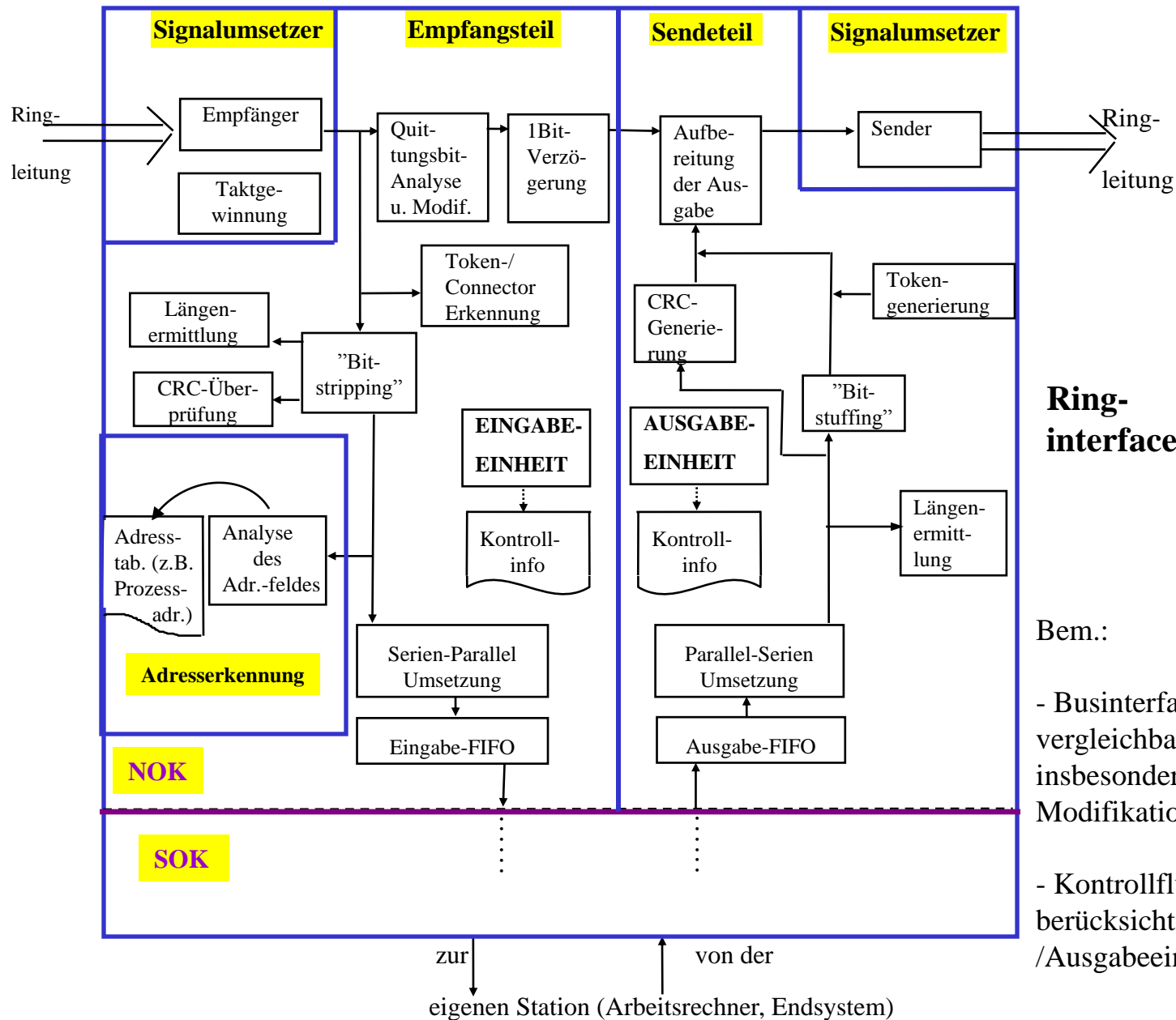
- Austausch von Daten zwischen NOK und Station mit hoher Übertragungsgeschwindigkeit, sowie
- mit relativ geringer Beeinträchtigung der Station)

→ *übliche Realisierungsvariante* :

**vollduplex DMA-Interface** (mit weitgehender Unabhängigkeit von NOK)

*nota bene:* Bei der Auslagerung von Kommunikationsfunktionen auf dedizierte Hardware handelt es sich um ein weit verbreitetes Prinzip bei der Rechnernetzung !

# Datenflüsse zwischen den Teilkomponenten eines Ringinterfaces



## Ring-interface



Bem.:

- Businterfaces (vgl. 5.3.) mit vergleichbarem Aufbau; insbesondere nur geringfügige Modifikationen für Contention-Bus

- Kontrollflüsse in Abb. nicht berücksichtigt (nur durch Ein-/Ausgabeeinheit angedeutet)



## 5.3 Zugriffskontrolle in Bus- und "Broadcast"-Systemen

### 5.3.1. Aufbau, Zweck und Grobbeurteilung von Bussystemen

#### Bustopologie :

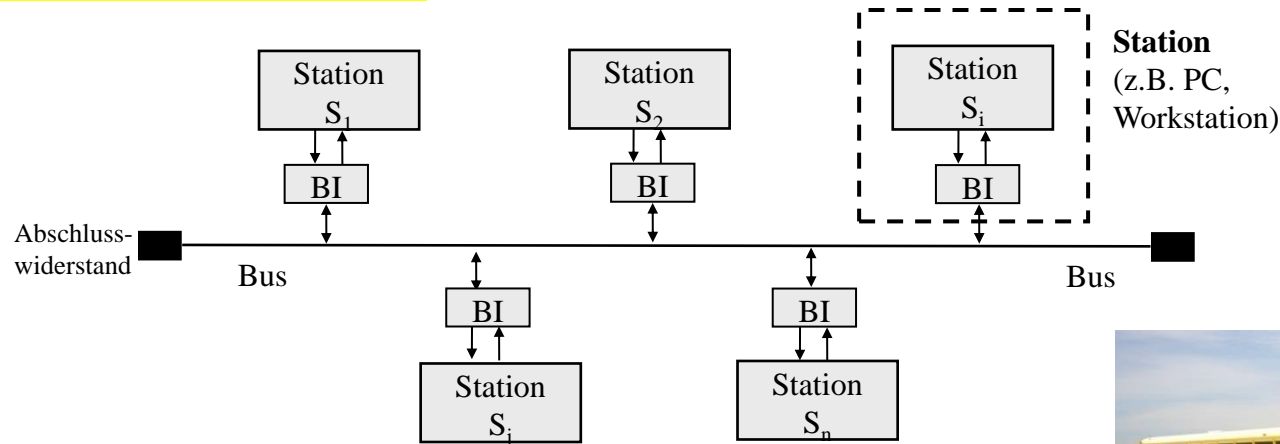
Topologie eines Kommunikationssystems, die ein gemeinsames Übertragungsmedium (ÜM) benutzt, auf das  $\geq 3$  kommunizierende Instanzen zugreifen können. Jede der kommunizierenden Instanzen ist dabei über das ÜM mit sämtlichen Kommunikationspartnern direkt verbunden (vgl. Abb. auf Folie DKR: V.42).



#### Bussystem :

Menge von Verarbeitungselementen (z.B. periphere Geräte, Rechner, Prozessoren), die in Form einer *Bustopologie* verbunden sind, wobei der Anschluss an das ÜM zumeist indirekt über dedizierte *Businterfaces* (BI) erfolgt.

## Beispiel eines Bussystems



- Verwendetes physikalisches ÜM :
  - *Koax.-Kabel*, *Lichtleiter* in Bussystemen
  - (terrestrische) *Funksysteme* in "Broadcast"-Systemen

Bem.: Satellitenverbindungen können ebenfalls als Broadcastsysteme fungieren; aufgrund der beträchtlichen Signallaufzeit sind in Satellitenkommunikationssystemen i.a. zur Zugriffskontrolle nur Aufforderungs- und Reservierungsverfahren (s.u.) sinnvoll.
- Datenrate i.a.  $\geq 10$  [Mbit / sec]
- Hauptproblem : Kontrolle der Zugriffs der kommunizierenden Instanzen auf das gemeinsame ÜM
 

=> s. Zugriffskontrolltechniken (*access control techniques*)



### Vorteile eines Bus-/Broadcastsystems :

- Wegeermittlung unproblematisch, da direkter Datenaustausch zwischen sämtlichen Kommunikationspartnern möglich;
- einfache Möglichkeit für Rundsenden;
- keine Sättigungskontrolle notwendig, da Übertragungsblöcke zwischen Sender und Empfänger nicht zwischengespeichert werden;
- i.a. hohe Übertragungsgeschwindigkeit (Datenrate) und digitale Übertragung;
- einfache Funktionen mit Implikation kostengünstiger Lösungen (Kosten i.a. weniger als proportional zu Anzahl angeschlossener Stationen);
- äußerst einfache Erweiterbarkeit;
- Immunität gegenüber Knotenausfall.

### Wesentliche Nachteile eines Bus-/Broadcastsystems :

- Bussystem nicht mehr funktionsfähig bei Ausfall des Übertragungsmediums (evtl. redundante Auslegung);
- bei Vielzahl von Knoten und/oder hohem Verkehrsaufkommen :  
Übertragungsmedium möglicher “Flaschenhals” (bottleneck) mit Problemen bei Wunsch nach Erhöhung der Übertragungsgeschwindigkeit (“Ü-Kapazität”).

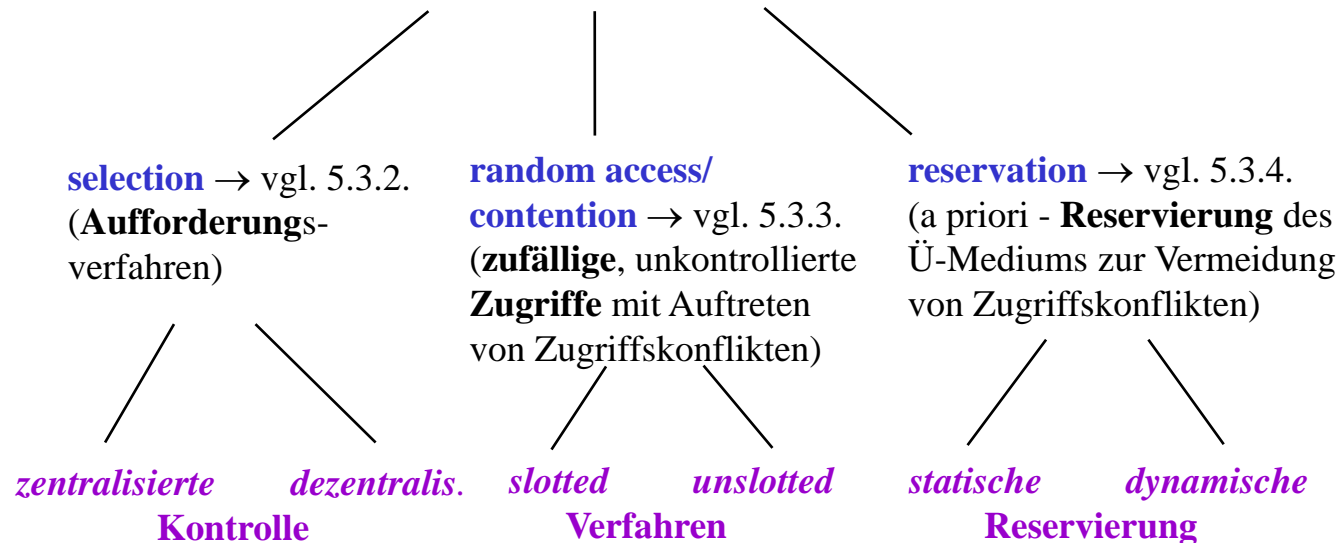
## Aufgabe der Businterfaces

- Entlastung des zugeordneten Verarbeitungselementes u.a. durch Übernahme folgender Funktionen :
  - Absenden sämtlicher Dateneinheiten der Station (d.h. des zugeordneten Verarbeitungselementes) unter Berücksichtigung der Bus-Zugriffskontrolltechnik;
  - Adressierung der Zielknoten;
  - Entgegennahme von, an die eigene Station adressierten, Dateneinheiten und deren Weitergabe an das Verarbeitungselement;
  - Analyse des Belegungszustandes des Übertragungsmediums vor einer Übertragung bei einigen Bus-Zugriffskontrolltechniken;
  - Signalformung für abzusendende und zu empfangende Signale.

## Zugriffskontrolle in Bus-/Broadcastsystemen



### Klassifikation nach *Luczak*

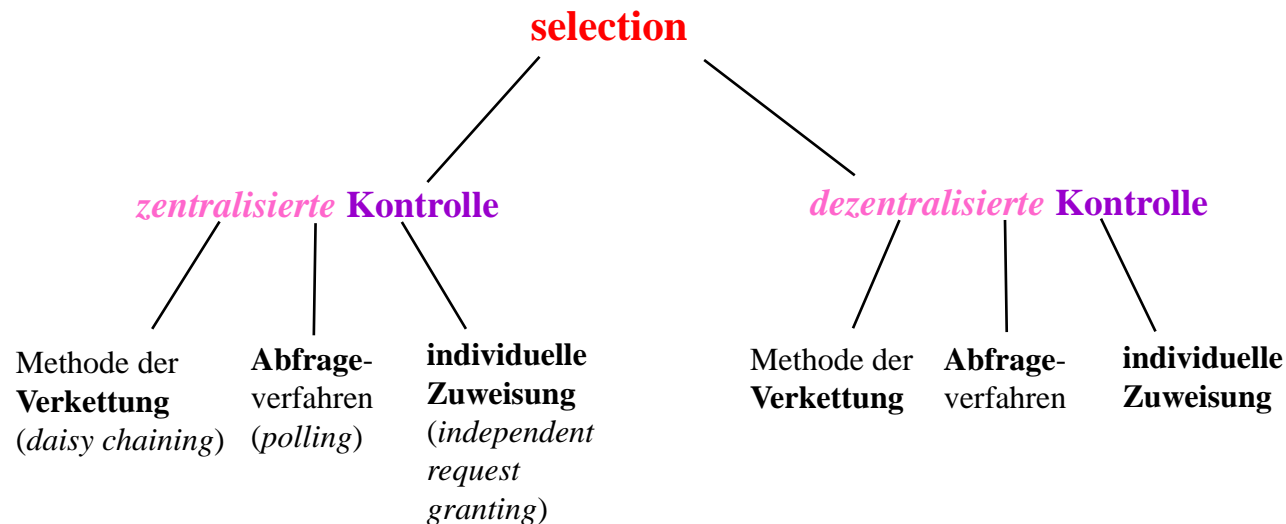


## 5.3.2 Bus mit Aufforderungsverfahren

### Bemerkungen :

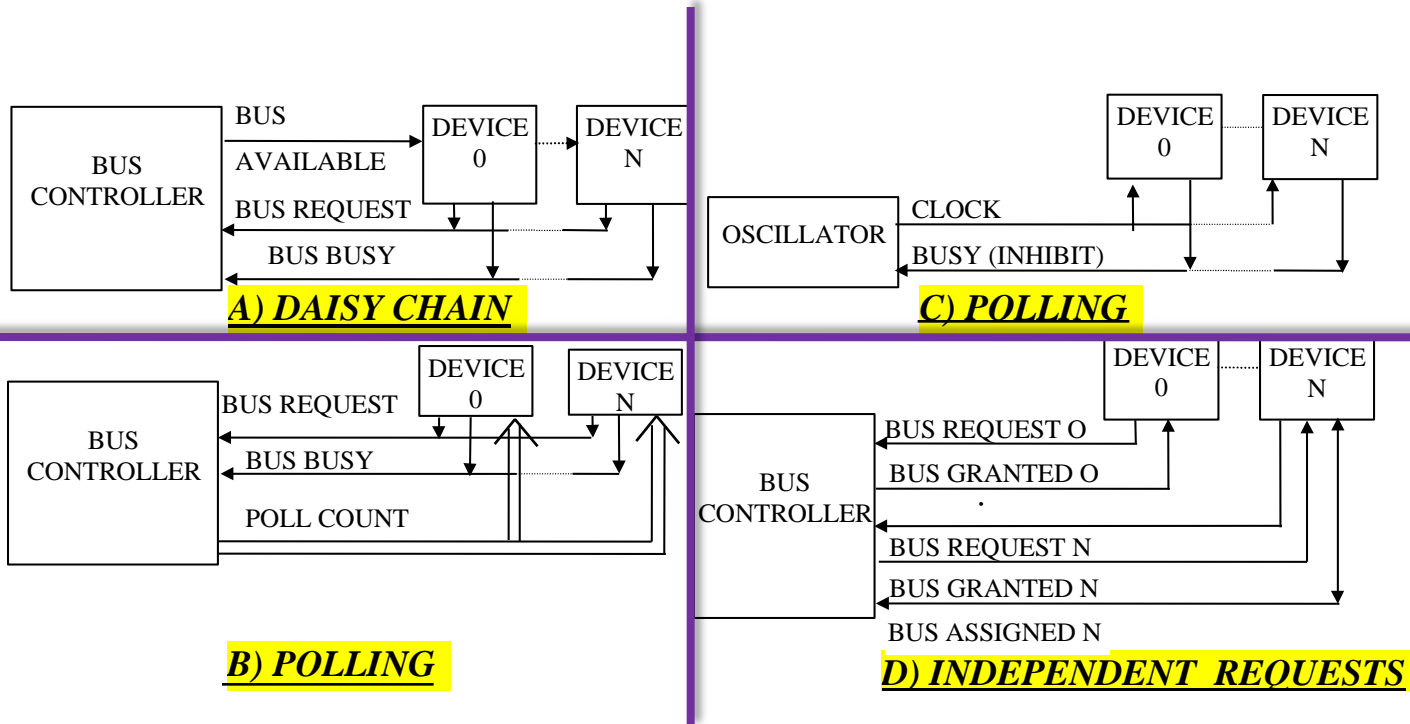
- Zugriff auf Ü-Medium erst nach spezieller Aufforderung
- erstes Beispiel für Aufforderungsverfahren :  
Polling auf Mehrpunktverbindungen (vgl. BSC-, HDLC-Varianten)
- selection : älteste Technik für Zugriffskontrolle (insbes. auch Verwendung bei rechnerinternen Bussystemen)

### Klassifikation :

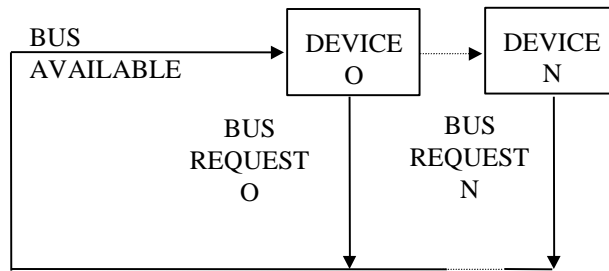


# Realisierungsbeispiele für Aufforderungsverfahren

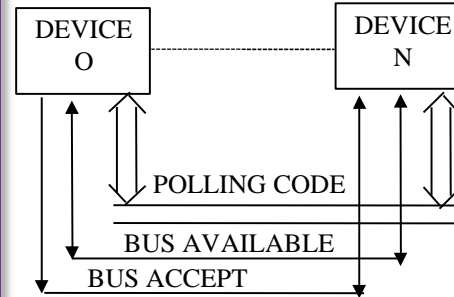
## Verfahren mit zentralisierter Kontrolle



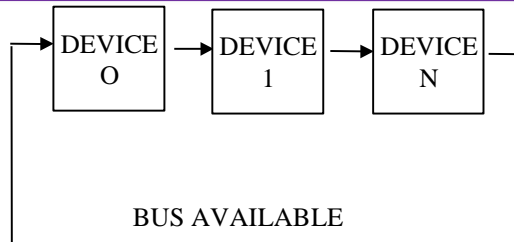
- Verfahren mit dezentralisierter Kontrolle :



**E) DAISY CHAIN**

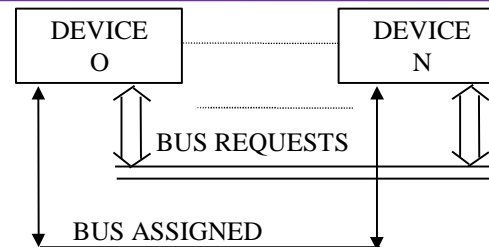


**G) POLLING**



**F) DAISY CHAIN**

(vgl. Token Bus) → siehe u.a. ARCnet



**H) INDEPEND. REQUESTS**

Bem:

- Modifikation und Kombinationen o.g. Verfahren möglich (z.B. Kombination von "daisy chaining" und "polling")
- manche der Zugriffskontrolltechniken aus dem Bereichen "random access" und "reservation" könnten auch als implizite Aufforderungsverfahren angesehen werden (z.B. TDMA, s.u.)
- Variante F) kann als Steuerumlauf - Prinzip (zirkulierendes Zugriffsrecht), vgl. Token-Ring in 5.2.3., angesehen werden.

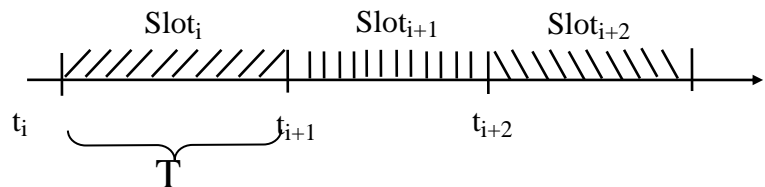


## 5.3.3 Bus mit zufälligem Zugriff

### Vorgehensweise :

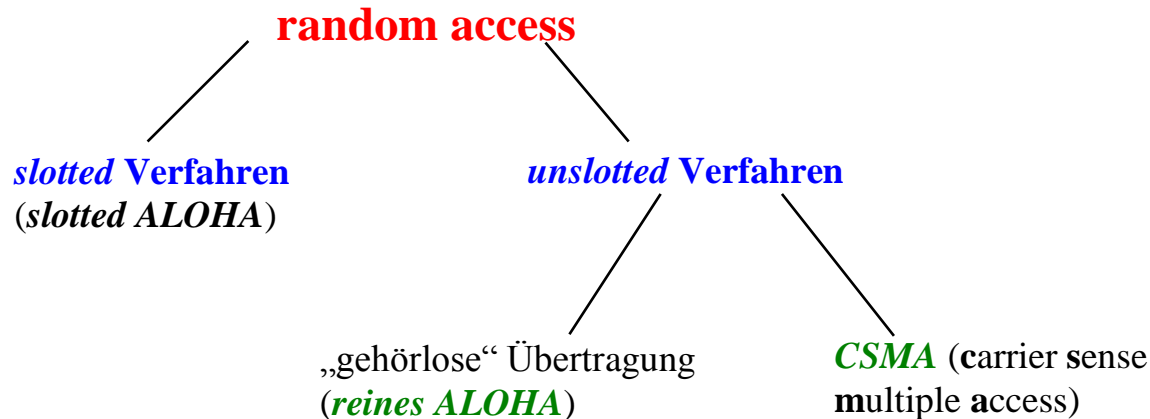
- keine Vergabe von Zugriffsrechten für Zugriff auf Ü-Medium, sondern zufälliger Zugriff  
→ **Erkennung** und **Auflösung von Zugriffskonflikten** notwendig  
(collision detection/resolution)
- evtl. Definition von **Slots** = **Zeitscheiben** / **Zeitschlitz** (vgl. Slotbildung in Ringnetzen in 5.2.5.) zur Reduzierung der Konfliktwahrscheinlichkeit;

bei Slotbildung : Unterteilung der Gesamtzeit in Intervalle der Länge  $T$  ( $\cong$  Slots) ; Sender hat ggf. abzusendende Dateneinheiten in Teile (auch Pakete genannt) zu fragmentieren, die in genau ein Slot passen; Übertragungsbeginn bei Slotbeginn.



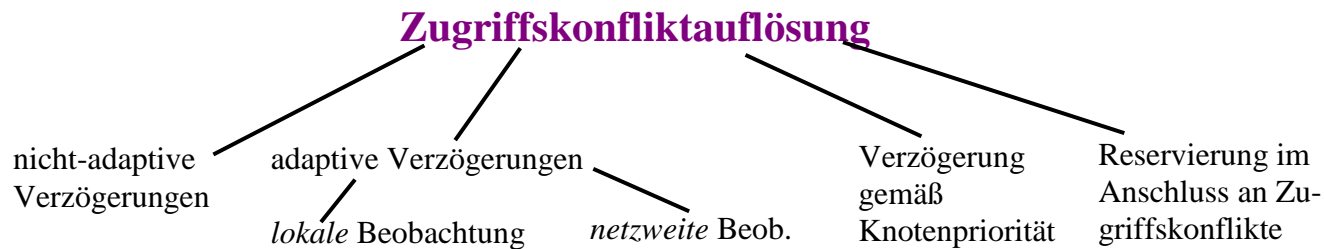
Bem. : Das Intervall der Länge  $T$  reicht *bei gegebener Datenrate* zur Übertragung eines Pakets der Länge  $L[\text{Bit}] \rightarrow$  Slot ausdrückbar als Zeitintervall oder als Paketlänge (s.o.)

## Klassifikation der Zugriffskontrolltechniken :



## Klassifikation der Techniken zur Auflösung von Zugriffskonflikten :

(relevant für sämtliche *random access* - Zugriffskontrolltechniken)



... Auf geht's nach Hawaii ...



## A. ALOHA-Verfahren

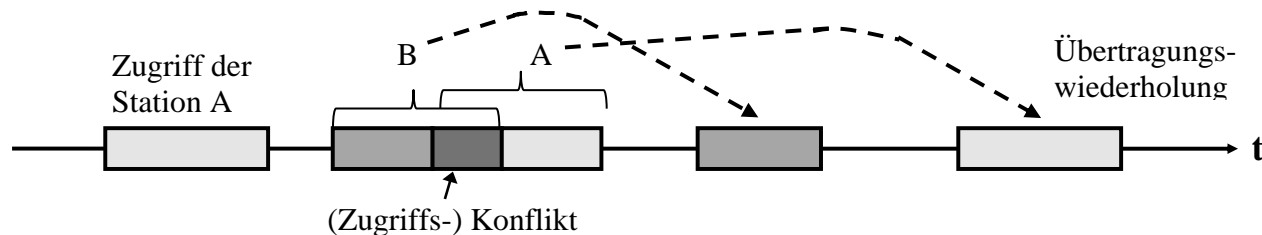


Slotted und unslotted (reines) ALOHA :

(a1) *unslotted ALOHA* :

Senden einer Station zu beliebigem Zeitpunkt;

bei Zugriffskonflikt (erkannt durch Ausbleiben von ACK) → freiwilliges Warten der betroffenen Stationen (zufällige Dauer), anschließend : erneuter Übertragungsversuch



→ **maximaler Durchsatz** :  $\frac{1}{2e}$  (vgl. Abb. s.u.) mit  $e = 2,7182\dots$

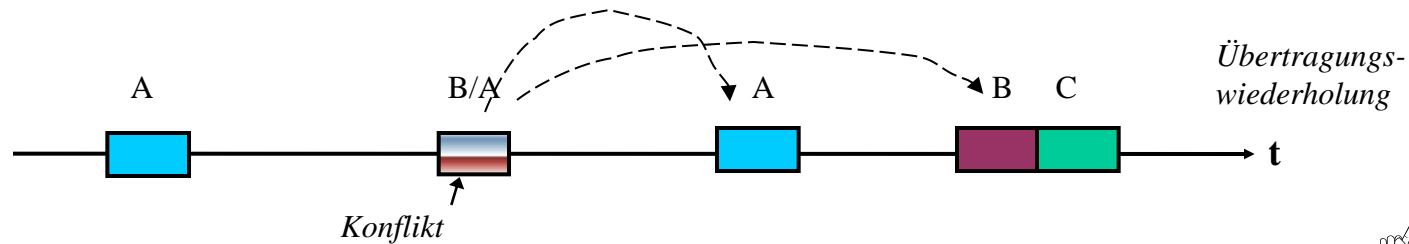
*Nota bene:* Bei der Diskussion des ALOHA-Verfahrens ist mit „**Durchsatz**“ stets der (dimensionslose) **normierte bzw. relative Durchsatz** gemeint, der sich durch Division des erzielten empfängerseitigen Durchsatzes (in [Bit/s]) durch die Datenrate des Übertragungsmediums (ebenfalls in [Bit/s]) ergibt.

**ALOHA** : Hallo!, Willkommen!, Tschüß!, Auf Wiedersehen!, Mach's gut! (im eigentlichen Wortsinn steht die Silbe *alo* jedoch für "in Anwesenheit von", und die Silbe *ha* für "Odem des Lebens". Es impliziert also, dass die Gesprächspartner sich der Anwesenheit Gottes bewusst sind. Somit ist es deutlich mehr als ein einfacher Gruß beziehungsweise eine einfache Verabschiedung.) [aus: WIKIPEDIA]

## (a2) *slotted ALOHA*

Bildung von Slots; Übertragungen nur ab Beginn eines Slots, ansonsten wie unslotted ALOHA (s.o.)

→ **Verwendung u.a. bei Mobitex (Mobilfunk)** [paketvermittelltes Datennetz mit  $\leq 8$  kbit/s pro Benutzer]



→ **maximaler Durchsatz** :  $\frac{1}{e}$  (vgl. Abb. s.u.)

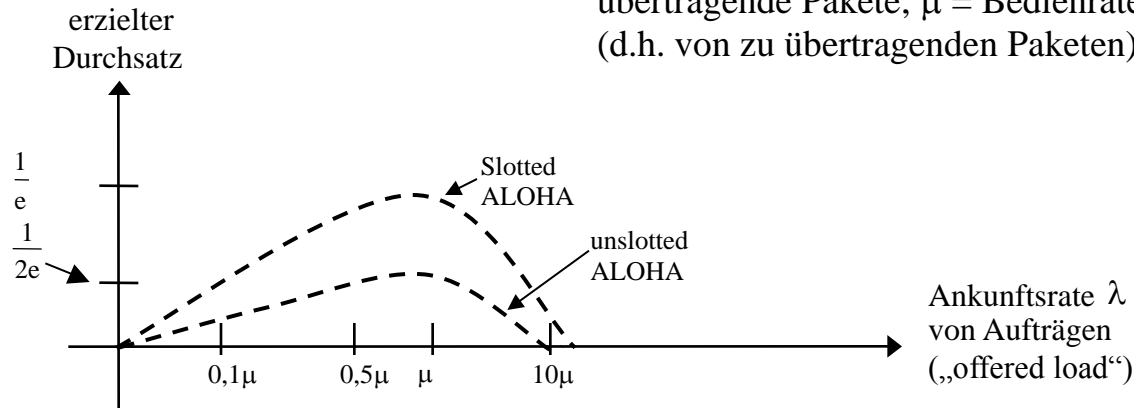


Bem.: slotted/unslotted ALOHA mit inhärent unstabilem Verhalten (Sättigungszustand)

Leistungsvergleich zwischen *slotted* und *unslotted ALOHA* :

Randbedingungen :

Vielzahl gleichartiger Stationen, gegenseitig unabhängige Zugriffe; Poissonankunftsströme für zu übertragende Pakete;  $\mu$  = Bedienrate von Aufträgen (d.h. von zu übertragenden Paketen)



**Beispiel** : **Slotted ALOHA** mit n Benutzern  $B_1, \dots, B_n$

seien  $G_i$  : Wahrscheinlichkeit des Zugriffs von Benutzer  $B_i$   
auf das Ü-Medium zu Beginn eines Slots

$S_i$  : Wahrscheinlichkeit für erfolgreichen Zugriff von  $B_i$  auf  
das Ü-Medium ( $\hat{=}$  Durchsatz für  $B_i$ )

es gilt : Zugriff erfolgreich für  $B_i \Leftrightarrow B_i$  greift zu  $\wedge B_k$  greifen nicht zu  $\forall k \neq i$

d. h. 
$$S_i = G_i \cdot \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (1 - G_j) , \text{ sofern } \textit{Zugriffe gegenseitig unabhängig} !$$



Sonderfälle : ( $\alpha$ ) *genau zwei Benutzer  $B_1, B_2$*  :

$$S_1 = G_1 (1 - G_2) \wedge S_2 = G_2 (1 - G_1)$$

$$\Rightarrow S = S_1 + S_2 = G_1 (1 - G_2) + G_2 (1 - G_1)$$

sei  $G_1 = x \cdot G_2$  ,  $x \gg 1$  , d.h. häufig sender Benutzer  $G_1$   
und selten sender Benutzer  $G_2$

$$\Rightarrow S = x \cdot (G_2 - 2 \cdot (G_2)^2) + G_2 , \text{ d.h. falls } G_2 \leq \frac{1}{2} \text{ so gilt :}$$

$S$  monoton wachsend mit  $x$ , wobei (selbstverständlich)  $S \leq 1$

( $\beta$ ) *identische Benutzer* :

$$G_i \triangleq G/n \wedge S_i \triangleq S/n \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$\Rightarrow \frac{S}{n} = S_i = \frac{G}{n} \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{n-1} \Rightarrow \boxed{S = G \cdot \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{n-1}}$$

**Grenzwertbetrachtung** :  $n \rightarrow \infty$

$$S = G \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{n-1} = G \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{(-G)}{n}\right)^n = G \cdot e^{-G}$$

Berechnung von  $S_{\max}$  ( $n = \infty$ ) :

$$S' = 0 \quad \Rightarrow \quad -G \cdot e^{-G} + e^{-G} = 0 \rightarrow G = 1$$

$$\text{d.h. } S \text{ maximal f\"ur } G = 1 \quad \wedge \quad \boxed{S_{\max} = e^{-1} = \frac{1}{e}}$$

... *aber Vorsicht* :

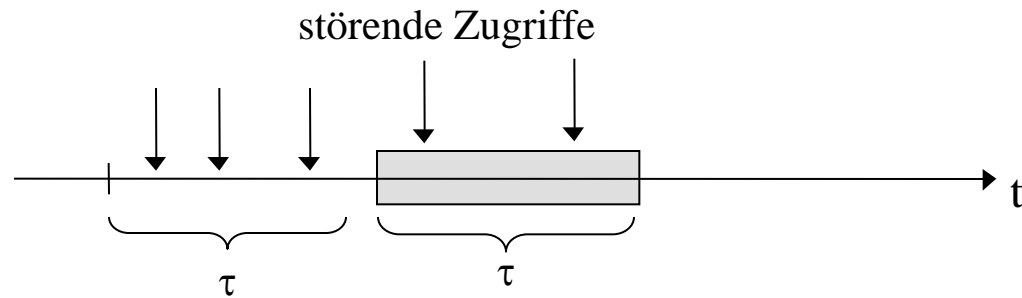
die Wartezeit von Paketen bei  $G = 1$  ist **UNENDLICH** groß, d.h.  $G = 1$  ist kein geeigneter „Betriebspunkt“ eines ALOHA- Netzes !!!



Bem. zu **Verwundbarkeitsperiode** für slotted und unslotted ALOHA

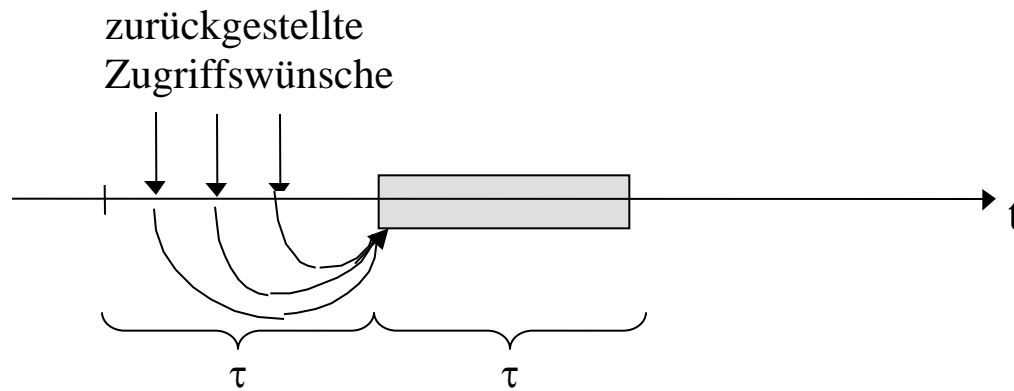
*reines ALOHA* :

$\tau \triangleq$  Paketübertragungszeit



$\Rightarrow$  „Verwundbarkeits“-intervall :  $2\tau$

*slotted ALOHA* :



$\Rightarrow$  „Verwundbarkeits“-intervall :  $\tau$





## Berechnung des Maximaldurchsatzes für reines ALOHA :

$$S(n) = G \cdot \left(1 - \frac{2G}{n}\right)^{n-1}, \text{ da Zugriffswahrscheinlichkeit verdoppelt}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} : \boxed{S = G \cdot e^{-2G}}$$

$$\Rightarrow \boxed{S_{\max} ?} \quad S' = 0 \quad : \quad e^{-2G} - G \cdot 2 \cdot e^{-2G} = 0$$

$$\Leftrightarrow 1 - 2G = 0$$

$$\Leftrightarrow G = \frac{1}{2}$$

d.h. S maximal für  $G = \frac{1}{2}$      $\wedge$

$$\boxed{S_{\max} = \frac{1}{2} \cdot e^{-2 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{1}{2e}}$$



... END of Hawaii-Exkursion



# MOBILFUNK

— Alternative (zu ALOHA) für „Packet Radio“ —

Einsatzgebiet : Mobilkommunikation → u.a. *Funktelefon*

Bsp. für Frequenzbereich : [800, 900] MHz (in USA), u.a.m.

Aufteilung des Frequenzbereiches :

- a. Einteilung des Gesamtgebietes in Zellen (Hexagone,  $\approx$  “Bienenwabenstruktur“) → Beispiel für *Raummultiplexen*
- b.  $\exists_1$  Frequenzbereich  $F_i$  pro Zelle  $Z_i$  → zelleninternes *Frequenzmultiplexen* kombiniert mit *Zeitmultiplexen*
- c.  $F_i \cap F_j = \emptyset$  falls  $Z_i$  und  $Z_j$  „benachbart“ (angrenzend) → “*graph colouring problem*“ (z.B. 4-Farben Problem)

Dynam. Nutzung des Frequenzbereiches :

- Wechsel des Frequenzbereichs  $F_i$  nach  $F_j$  bei Verlassen von  $Z_i$  und Eintritt in  $Z_j$  ; *genauer* : belege freies  $\tilde{v} \in F_j$   
(Vergabe von  $\tilde{v}$  durch zentr. Verwaltungsstation<sup>1)</sup>  $V_j$  in der Zelle  $Z_j$  nach Abmeldung bei der bisher zuständigen Basisstation  $V_i$  und „Weiterreichen“<sup>2)</sup> an  $V_j$ )  
 $\tilde{v}$  : an Benutzer zugewiesener Frequenzbereich

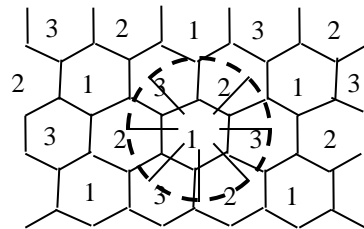
---

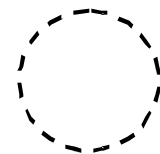
1) “Base Station“/ Basisstation

2) “handover“/ “handoff“

- Zentrale (zellenübergreifende) Registration der Zuordnung :

**DEE / Mobilstation** (z.B. in PKW)  $\leftrightarrow$  **Zelle** zu  $t = t_0$   
 (benötigt für Routing von Gesprächen)



 Grenze ( $\approx$ )  
 für die „Störungen“  
 durch Sender S

Bsp.: D1- digitales Funktelefonnetz (Telekom) sowie zahlreiche weitere  
 zellenbasierte Mobil(funk)netze

*Nota bene:* Details zu Mobilkommunikation in DKR- Kap. 7

## B. CSMA-Verfahren (CSMA = Carrier Sense Multiple Access)

**CSMA-Prinzip** : jede Station besitzt Möglichkeit, Belegung des Übertragungsmediums festzustellen (“*carrier sensing*“);  
bei bereits belegtem Übertragungsmedium → Verzögerung  
des ggf. geplanten Absendens eigener Daten und ergo Reduzierung der Konfliktwahrscheinlichkeit.



### CSMA – spezifische Probleme :

- (1) Erkennung von Zugriffskonflikten
- (2) Regelung des Zugriffs auf das ÜM

#### ad (1) : Varianten zur **Zugriffskonflikterkennung**

- Quittierung durch Empfänger (Konfliktanzeige durch ausbleibende Quittung)  
→ Realisierungsbeispiel : *HYPERchannel*
- Erkennung von Überlagerungen bei  $\geq 2$  sich überlappenden Sendevorgängen (Notwendigkeit des “Abhörens“ des ÜMs)  
→ Realisierungsbeispiel : *Ethernet*

**Wartezeit vor Neuzugriff auf das ÜM nach erkannter Konfliktsituation** (d.h. Überlagerung mehrerer Übertragungen) notwendig

- **Berechnung** des abzuwartenden Zeitintervalles RTI (*retransmission time-interval*) gemäß Techniken zur Auflösung von Zugriffskonflikten (s. Klassifikation), d.h. Verwendung von Algorithmen, die
- **unabhängig** sind **vom Knoten** und **von der Last**;
  - **aktuelle Belastung** aus **lokaler Sicht berücksichtigen**;
  - **aktuelle Belastung** des **Gesamtnetzes**, z.B. ermittelt durch eine zentrale Beobachtungsstation, **berücksichtigen**;
  - **Verzögerung** in **Abhängigkeit** von einer **Knotenpriorität** berechnen;
  - **nach** einem **Zugriffskonflikt explizite Zugriffsrechte** vergeben (d.h. mit Reservierungen arbeiten).



ad (2) : **Regelung des Zugriffs** auf das Übertragungsmedium (bei freiem und belegtem Medium)

→ **deference/acquisition technique** :

( $\alpha$ ) *nonpersistent CSMA* :

bei Sendewunsch prüft sendewillige Station Zustand des Übertragungsmediums (“*listen before transmit*“)

I. Medium frei : sofortiges Senden

II. Medium belegt : Verschieben des Sendewunsches um RTI  
(RTI zufällig gezogen)

Bem.: Version mit Minislotbildung existiert (Synchronisation der Stationen notwendig);

Slotbildung vgl. slotted ALOHA, allerdings :

Minislot-Länge  $\ll$  Slot-Länge



( $\beta$ ) *persistent CSMA* : vgl. DKR V.63

(β) *persistent CSMA* :

- (β1) *p-persistent CSMA* ( $p = 0.03$  oder  $p = 0.1$  üblich; Sonderfall :  $p = 1$ )  
 Voraussetzung : Bildung von Minislots (nota bene : 1-persistent CSMA auch als unslotted Version).

Sendewillige Station hört Ü-Medium permanent ab  
 (“listen before and while transmit“)

I. *falls ÜM frei* : Senden mit Wahrscheinlichkeit  $p$  oder freiwilliges Warten eines Minislot mit  $1-p$  (falls nach Ablauf dieses Minislot Medium frei → Wiederholung der Operation I; falls Medium jedoch belegt → Warten um zufällig gezogenes RTI)

II. *falls ÜM belegt* : Warten bis Medium frei; anschließend : Operation I.

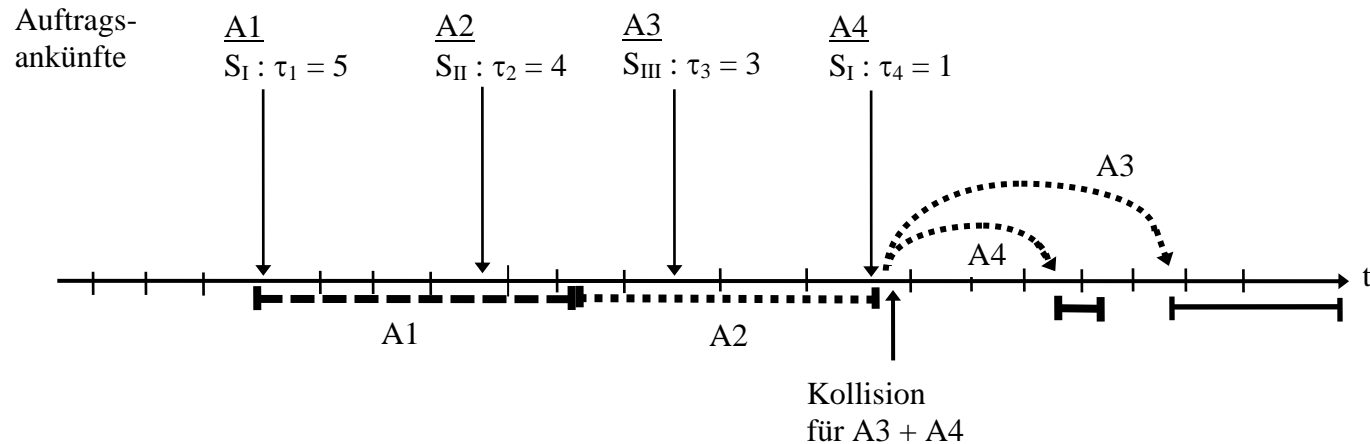


(β2) *Stationsprioritäten* :

Wartezeitbestimmung im Konfliktfall abhängig von (fest zugewiesener oder im „round-robin“-Verfahren zyklisch vertauschter) Knotenpriorität.

## unslotted 1-persistent CSMA

(Beispiel für Zugriffsfolge zu Ü-Medium)



$S_I, S_{II}, S_{III}$  : Stationen

$\tau_i \equiv$  geforderte „Bedienzeit“ für Auftrag  $i, i \in \{1, \dots, 4\}$   
 ( $\rightarrow$  Transferzeit von Daten über Bus)

Bem. : slotted-Version entsprechend (Minislots angedeutet)



# Ethernet

## Historie :

- ursprüngl. Ethernet-Entwurf und -Implementierung von Xerox Corp. (1975);
- Kooperation zwischen **DEC**, **Intel**, **Xerox** („*DIX*-Gruppe“) zur Erarbeitung einer Neuspezifikation ausgehend von der ursprüngl. Spezifikation;
- Standardisierung der „*DIX*“ - Neuspezifikation mit Konsequenz einer dominierenden Bedeutung von Ethernet für lokale Rechnernetze auf der Basis von Bussystemen.

***1997 : ca. 45% aller LANs auf Ethernet-Basis***

(... seither: weiter stetig ansteigender Anteil an Ethernet-LANs – zumindest bis zum starken Aufkommen der WLANs)

## Entwurfsziele für Ethernet :

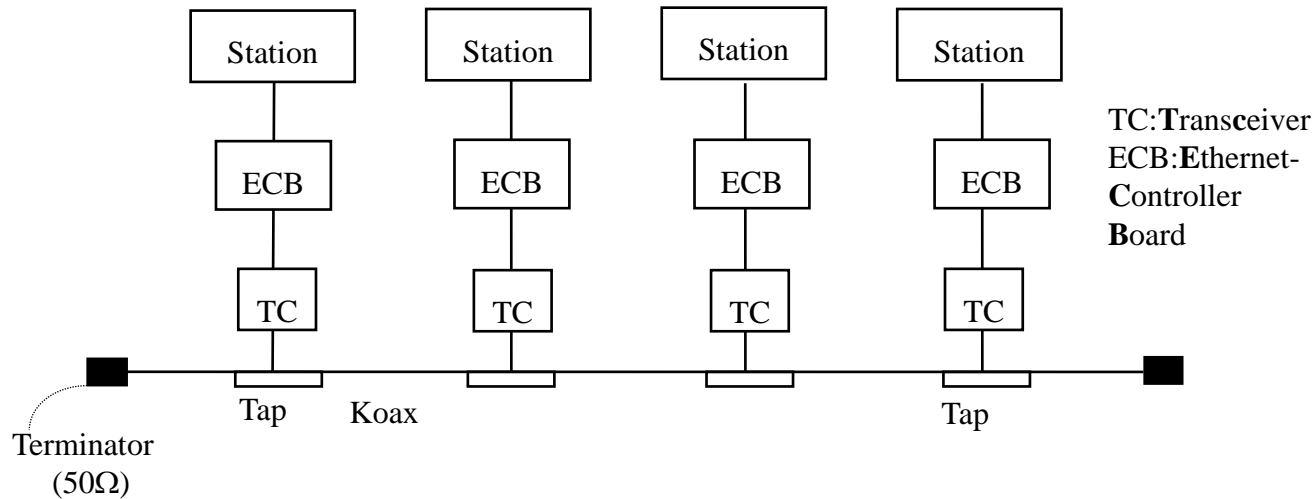
- **einfaches** und **kostengünstiges** Kommunikationssystem;
- **Verzicht auf optionale Funktionen** (wegen Wunsch nach Kompatibilität für verschiedene Implementierungen);
- **Flexibilität bei der Adressierung** (z.B. Adr. von Knoten, Knotengruppen, sämtl. Knoten bei Rundsenden);
- **Fairness beim Zugriff auf** das gemeinsame **Ü-Medium** (Gleichbehandlung von Knoten bei gleichzeitiger Verhinderung dominierender Knoten);
- **Erreichung hoher Datenrate bei** gleichzeitiger **geringer Gesamtverzögerung** von Dateneinheiten zwischen Sender und Empfänger;
- **stabiles Verhalten** des Kommunikationssystems **auch bei hoher Belastung**;
- **einfache Wartbarkeit** und relativ **problemloser Betrieb**;
- Verwendung einer **Schichtenarchitektur gemäß ISO-Referenzmodell (OSI)**

## Restriktionen beim Entwurf von Ethernet :

- **kein voll duplex-Betrieb** wegen gemeins. ÜM möglich (abgesehen von Stern- oder Punkt-zu-Punkt-Topologien in späteren Ethernet-Standards);
- nur stark **eingeschränkte Fehlerkontrolle** (z.B. Erkennung und Korrektur von Zugriffskonflikten und Erkennung von Bitfehlern ohne Korrektur (!));  
**zunächst ausschließlich** Verwendung eines Ü-Mediums mit fester Datenrate von **10 Mb/s**; *inzwischen* :
  - 100 Mb/s** – *Fast Ethernet* (seit 1995),
  - 1 Gbit/s** – *Gigabit Ethernet* (seit 1998),
  - 10 Gbit/s** – *10 Gigabit Ethernet* (seit 2002),
  - 40 Gbit/s und 100 Gbit/s** – *Standard IEEE 802.3ba bzw. IEEE P802.3ba seit 17. Juni 2010* – *100 Gigabit Ethernet*,  
*etc, etc ???* → z.B.: IEEE gründet im April 2013 eine IEEE 802.3-Forschungsgruppe zur Entwicklung eines Ethernet-Standards für 400 Gbit/s)
- **ursprünglich keine** Möglichkeit der **Vergabe von Prioritäten** für Stationen (→ Probleme bei Realzeitanwendungen); **ABER** : diverse **Erweiterungen des Ethernet-Standards** zur Realisierung von Dienstgüte- (QoS-)Garantien in Ethernets
- **kein Schutz gegen permanent sendende Stationen.**

- **Konventioneller Aufbau eines Ethernet-Segmentes**

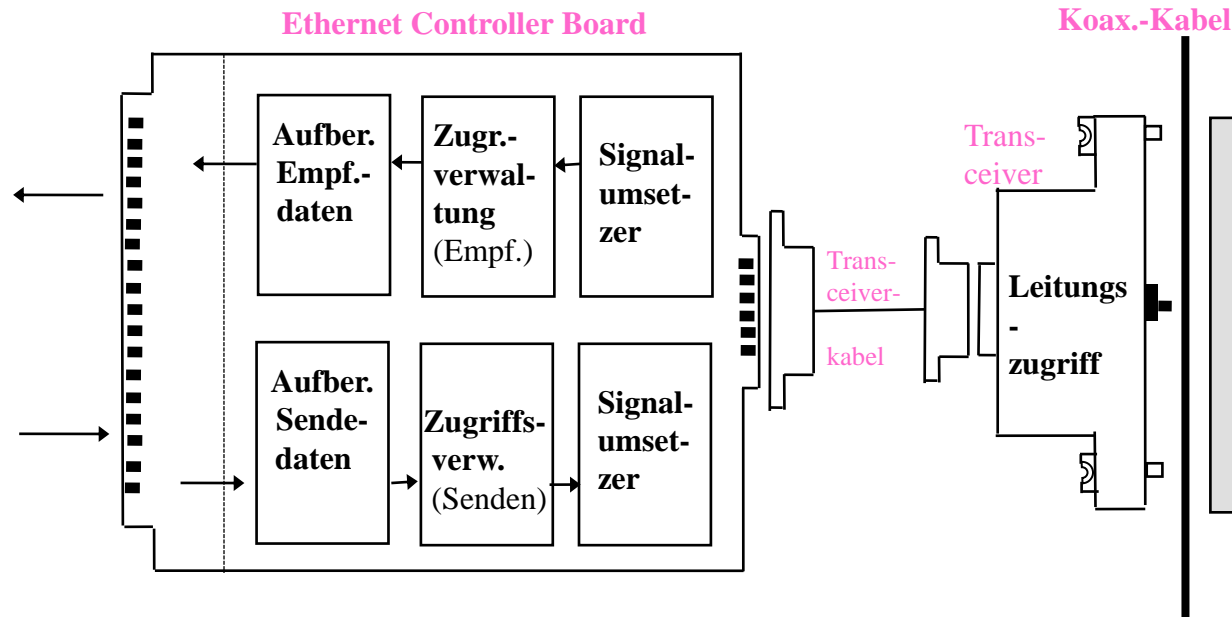
(in der **Frühphase des Ethernet-Einsatzes**; inzwischen i.d.R. ersetzt durch **Hub-/Switch-Lösungen**):



Beispiel für den **Aufbau eines komplexeren Kommunikationssystems auf Ethernet Basis**:

*über „Repeater“ (Verstärker) verbundene Segmente oder Hub-/Switch-Lösungen*

wichtigste **Teilkomponenten** eines **Ethernet Controller Boards** und **typische Hardware-Realisierung** (vgl. IEEE 802) : ...



**Wichtigste Charakteristika** der Ethernet-Spezifikation (ursprüngliche Norm):

➤ **Physikalische Schicht :**

- Datenrate des ÜM : 10 [MBit/sec], u.a. (→ ABER: Fast Ethernet, Gbit-Ethernet, ..., 100 Gbit-Ethernet)
- max. Entfernung zwischen kommuniz. Stationen : 2,5 km
- max. Anzahl von Stationen : 1024
- Ü-Medium : Koaxialkabel mit Basisbandübertragungsverfahren, u.a.
- Topologie : verkettete Busstrukturen



➤ **Datensicherungsschicht :**

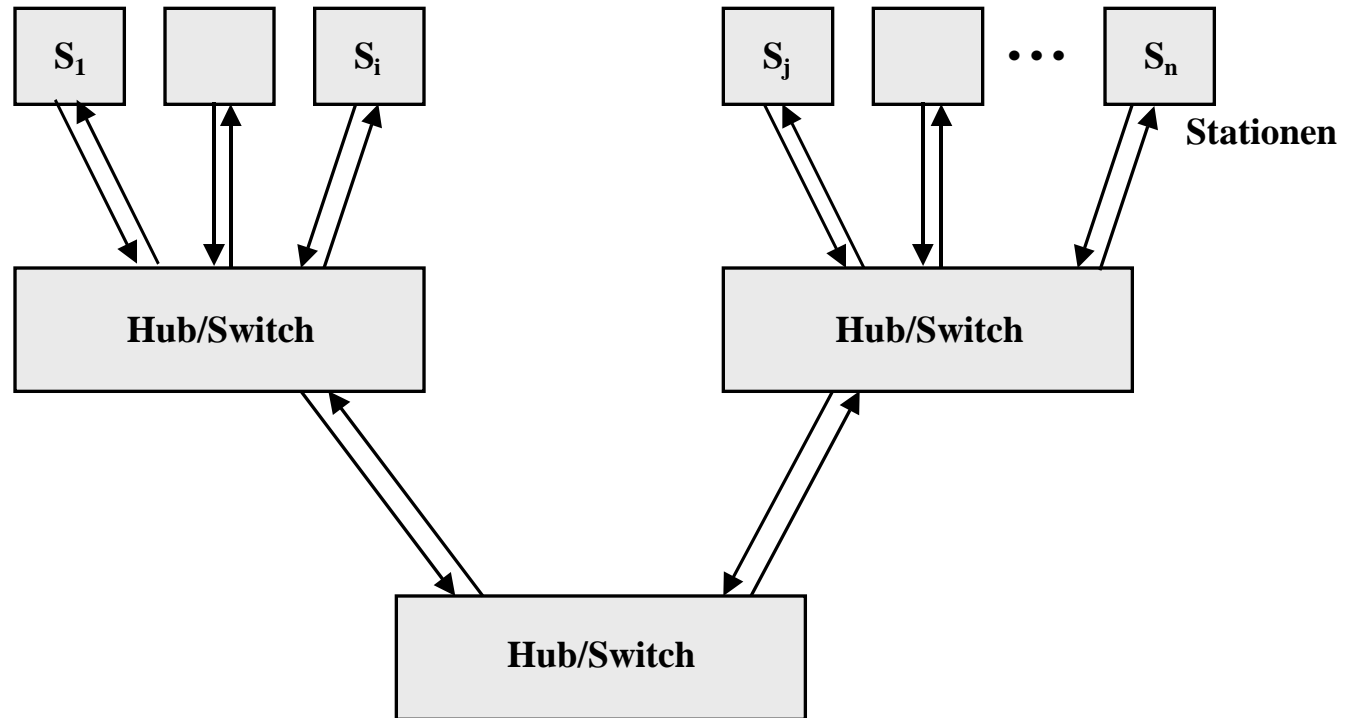
- Zugriffstechnik zum gemeinsamen Ü-Medium :

**1-persistent CSMA** (*unslotted* → variable Dateneinheiten-Länge)

- **Collision Detection** (CD) : Erkennung der Überlagerung von  $\geq 2$  gleichzeitigen Sendevorgängen: zunehmende Wartezeit bei steigender Anzahl von Kollisionen vor Übertragungswiederholungen (**adaptive Verzögerungen**); **minimale Sendedauer** :  $2 \cdot \tau_{\text{prop}}$ , sofern  $\tau_{\text{prop}}$  = Signallaufzeit zwischen Stationen mit max. Abstand, vgl. 5.4. (*nota bene* : CSMA / CD ist nicht mehr sinnvoll für Gbit-Ethernet u.ä. !!!  
→ nur noch Pkt-zu-Pkt-Verbindungen, i.a. vollduplex)

**„Exponential Backoff“:**

Ziehe gleichverteilt aus  $[0, T]$ ,  $[0, 2T]$ , ...

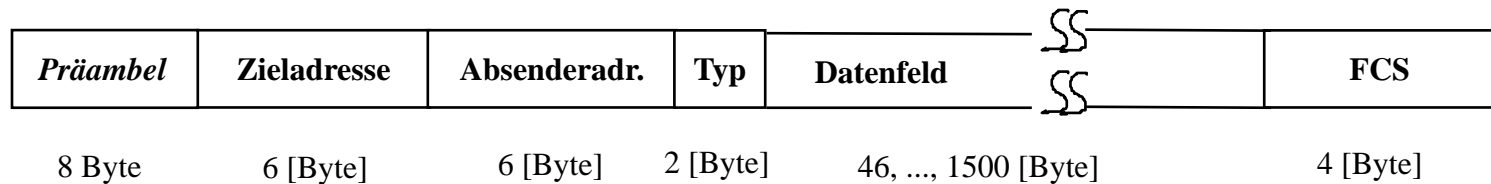
**“Switched Ethernet“ :**

nota bene : zur Verfeinerung der Begriffe **“Hub“** und **“Switch“** sowie ihrer Abgrenzung, vgl. Abschn. 5.7



## Ethernet - Dateneinheitenformat innerhalb der Datensicherungsschicht :

(Beispiel)



Bytes = 8-Bit-Bytes

FCS : Prüfsumme für CRC 32 (Generatorpolynom, vgl. Kap. 2)

Absenderadr. und Typangabe : in Datensicherungsschicht nicht interpretiert,  
ausschließlich für höhere Schichten von Bedeutung

Datenfeld : nur ganzzahlige Vielfache von 8-Bit-Bytes möglich

*Präambel : zur Synchronisation*

## 5.3.4 Bus mit Reservierung

Bemerkungen:

- statische oder dynamische Reservierung von Zeitintervallen (Slots) mit Berechtigung des Zugriffs auf das Übertragungsmedium während der reservierten Intervalle
- dynamische Reservierung erfolgt bedarfsabhängig (entweder durch zentrale Instanz oder dezentralisiert)

a) *zentrale Kontrolle:*

- verbindungsorientierte Kontrolle: Station verlangt Übertragung für bestimmtes Zeitintervall
- nachrichtenorientierte Kontrolle: Station verlangt Übertragung genau einer Nachricht

b) *dezentrale Kontrolle:*

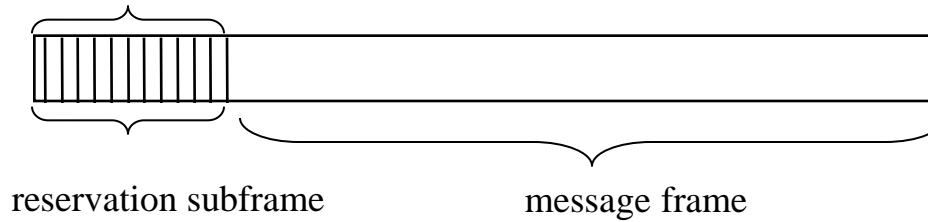
(Verwendung insbes. für Satellitenverbindungen, Vielzahl von Varianten)

- implizierte Reservierungen, oder
- explizite Reservierungen innerhalb dedizierter Minislots für Reservierungszwecke (reservation subframes) oder direkt innerhalb der Nachrichtenslots (message frames).

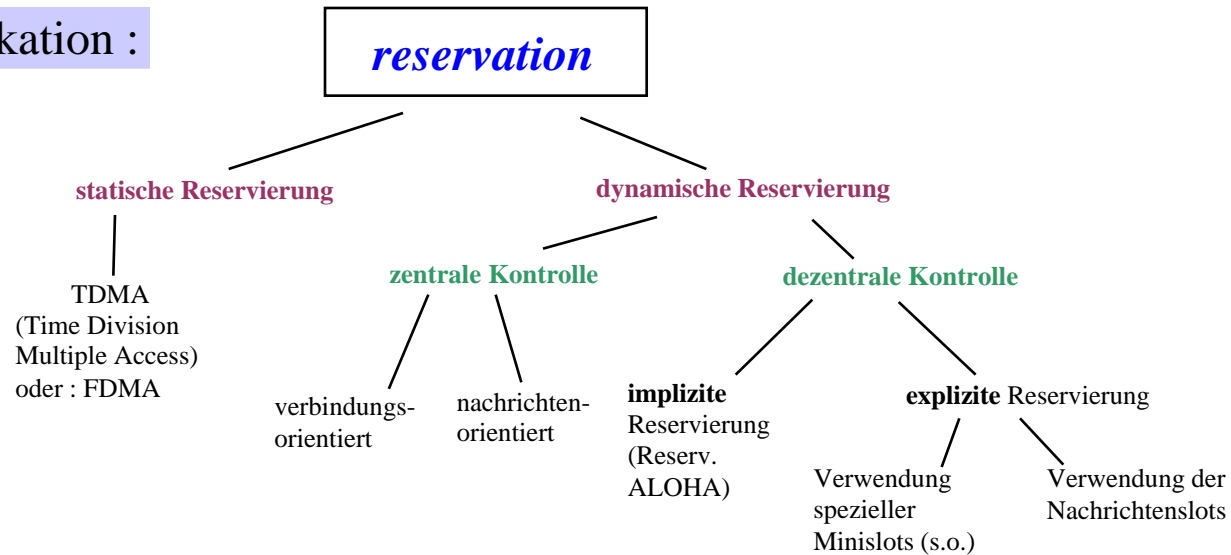


## Grobaufbau eines Frame (für explizite Reservierungen)

optionales Minislot



### Klassifikation :

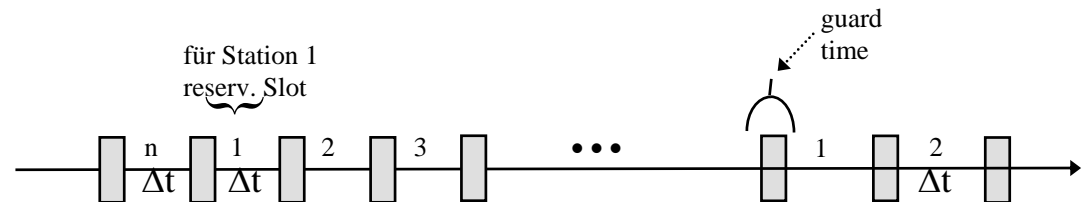


## A. **Statische Reservierung**

Statische Reservierung eines Teils der Bandbreite des Übertragungsmediums für jede Station

**TDMA** : jede Station erhält ein vordefiniertes Zeitintervall (Slot), für den alleinigen Zugriff auf das Übertragungsmedium; Slot-Länge:  $\Delta t$

Beispiel :



Bemerkung : Lücken zwischen benachbarten Slots (guard times) zur Vermeidung von Interferenzen, wobei (natürlich!):  $guard\ time \ll \Delta t$



**FDMA** (Frequency Division Multiple Access) : Zuordnung eines Teils des gesamten Frequenzbandes zu den verschiedenen Stationen.

## B. **Dynamische Reservierung**

### (b1) **zentrale Kontrolle**

zentrale Kontrollinstanz zur Reservierung des Übertragungsmediums

(für die Dauer einer Verbindung oder der Übertragung einer vollständigen Nachricht) → vgl. rechnerinterne DÜ über Bus

### (b2) **dezentralisierte Kontrolle mit impliziter Reservierung**



#### Reservation - ALOHA :

Slotted ALOHA (s. 5.3.3.) als Basis mit folgenden Erweiterungen :

- 3 **Zustände** für Station S :
  - „**eigen**“ : falls S letztes Slot erfolgreich benutzte
  - „**fremd**“ : falls Station  $\neq$  S letztes Slot erfolgreich benutzte
  - „**leer**“ : falls letztes Slot nicht (erfolgreich) benutzt
- *Zugriff* von S auf nächstes Slot *zustandsabhängig*
  - „eigen“ → Zugriff (Stationen  $\neq$  S verzichten auf Zugriff)
  - „fremd“ → S verzichtet auf Zugriff
  - „leer“ → Zugriff (mit Möglichkeit eines Zugriffskonfliktes, siehe Slotted ALOHA)



## 5.4 Lokale (und regionale) Netze im Hochgeschwindigkeitsbereich

- Hochgeschwindigkeitsnetze (noch um Jahrtausendwende : ca. 100 Mb/s ; 2006: eher Gb/s-Bereich; ... und in wenigen Jahren: Tb/s-Bereich ?!)  
→ **HSLANs** (**H**igh-**s**peed **LANs**)
  - 3 wesentliche Standardisierungen für Hochgeschwindigkeitskommunikation im LAN/MAN/WAN-Bereich :
    - **FDDI** als Fortentwicklung von Token Ring
    - **Fast Ethernet** und **Gbit-Ethernet** als Fortentwicklung von Ethernet
    - **DQDB** als spez. Standard für Hochgeschwindigkeitsnetze ohne Pendant bei Datenraten  $\leq 10$  Mb/s
- ... und zusätzlich natürlich :
- auch **ATM**-Vermittlungsrechner im LAN-Bereich für schnelle Paketvermittlung einsetzbar (vgl. Abschn. 5.6 und **ATM**-Konzept in Kap. 6)

Nota bene : FDDI und DQDB primär für MANs (dennoch in Kap. 5 behandelt, da Fokus auf Zugriffskontrolle).

➤ **Spezielle Probleme bei HSLANs :**

- Wert des Parameters “a“ (vgl. 5.2.3) erhöht sich, sofern nicht Netzausdehnung verkleinert oder Paketgröße erhöht wird  
⇒ sehr effiziente Zugriffskontrolle benötigt
- tendenziell Engpässe in angeschlossenen Stationen

➤ **Neue Merkmale von Übertragungsdiensten in HSLANs :**

- Übertragungsverzögerung auf ÜM zunehmend vernachlässigbar (bei (über-)regionaler Netzausdehnung, da Signallaufzeit trivialerweise nicht reduzierbar !)
- häufig auf Physikalischer und Datensicherungsschicht keine Durchsatzengpässe (zumindest nicht bei Daten- und Sprachkommunikation, evtl. jedoch bei Bewegtbildübertragungen – sofern sich zahlreiche überlagern)
- Echtzeitkommunikation, vgl. Kap. 8, zumindest bei hinreichend geringen Netzauslastungen (bezogen auf genügend kurze Beobachtungsintervalle, z.B. 100 ms - Intervalle) relativ problemlos realisierbar

# Weshalb CSMA/CD nicht problemlos einsetzbar für HSN ?

**HSN**  $\equiv$  **H**igh **S**peed **N**etworks / Hochgeschwindigkeitsnetze

Beispiel : Bus mit Signallaufzeit  
(entspr. 5km)

$$\tau_p = 25\mu\text{s}$$

Lichtgeschw. :  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 300 \text{ km/ms}$

Ausbreitungsgeschw. :  $v_{\text{prop}} \approx 200 \text{ km/ms} = 1 \text{ km pro } 5\mu\text{s}$

$\Rightarrow$  für 5km Weglänge :  $1 \text{ km} \hat{=} 5\mu\text{s}$   
 $5 \text{ km} \hat{=} 25\mu\text{s}$

Sei überdies : Blocklänge  $L = 10.000 \text{ bit} = 10^4 \text{ bit}$

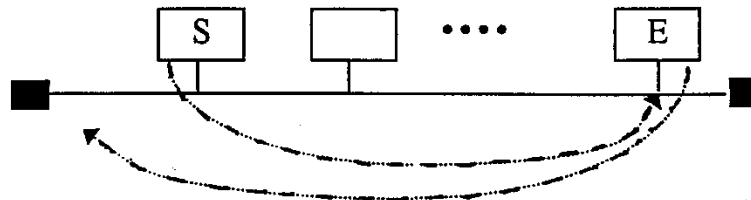
Von Interesse nun :  $a \hat{=} \frac{\tau_p}{\tau_x(L)}$  mit  $\tau_x(L) \hat{=} \text{Übertragungszeit für Block der Länge } L$

FALL I :  $v_D = 10 \text{ Mb/s}$

$$\Rightarrow \tau_x(L) = \frac{L}{v_D} = \frac{10^4 \text{ bit}}{10 \cdot 10^6 \text{ bit/s}} = 0.001 \text{ s} = 1 \text{ ms},$$

$$\text{und somit : } a = \frac{\tau_p}{\tau_x} = \frac{25\mu\text{s}}{1 \text{ ms}} = \frac{25}{1000} = \frac{1}{40}.$$

Ergo : Kollision bemerkt („CD“) spätestens nach  $2 \cdot \tau_p$  [s], d.h.  
nachdem max. 500bit übertragen



$t_0$  : Zugriff S  
 $t_0 + \tau_p$  : Zugriff E  
 $t_0 + 2 \cdot \tau_p$  : S bemerkt Konflikt

FALL II :  $v_D = 100\text{Mb/s}$

$$\Rightarrow \underline{\tau_x(L)} = 0.1\text{ms} \text{ und somit : } \underline{a} = \frac{1}{4}$$

Ergo : „CD“ nach Übertragung von max. 5000bit

FALL III :  $v_D = 200\text{Mb/s}$

$$\Rightarrow \underline{\tau_x(L)} = 0.05\text{ms} \text{ und somit : } \underline{a} = \frac{1}{2}$$

Ergo : „CD“ nach Übertragung von max. **10.000bit**, d.h. 1Block  
(somit Block-Länge > 10Kbit notwendig)

Ausweg z.B.:

Reduktion von  $\tau_p$   
(geograph. Limitation  
→ vgl. u.a. Fast Ethernet)

KONSEQUENZEN : \* Zugriffskontroll. gemäß Token-Ring (FDDI) oder Slotted-Bus (DQDB) für HSN

\* *Early Token Release* bei Benutzung von zirkul. Kontrollmarke

## 5.4.1 Der FDDI-Standard

**FDDI** = **F**iber **D**istributed **D**ata **I**nterface

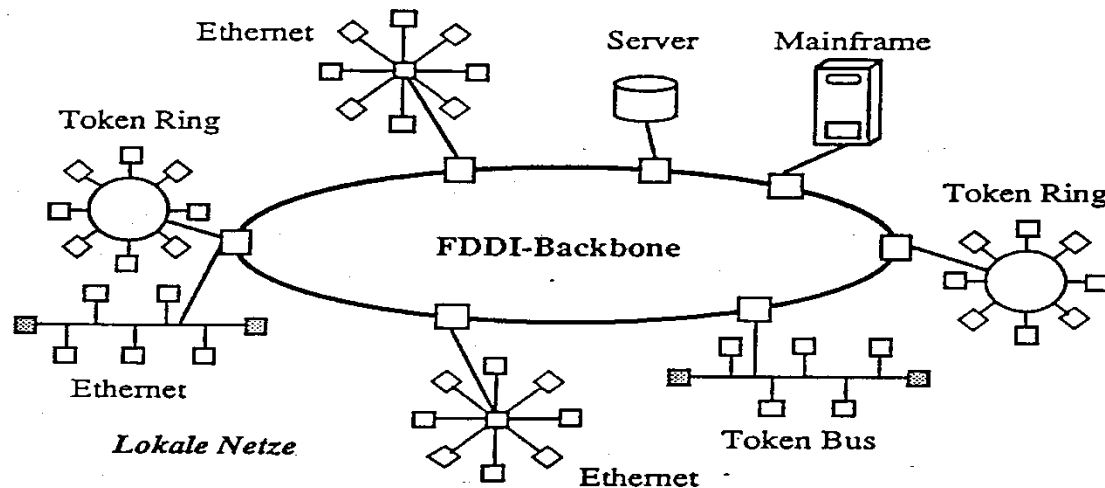
↳  $\hat{=}$  ANSI-Standard (Kommittee X 3T9.5)

Literatur:

- o Th. Welzel, Th. Lambert: "FDDI - Das Hochgeschwindigkeitsnetz unserer Zeit." DATACOM, 7. Jahrg., Mai 1990, S. 76 - 80
- o M. Hein: "Fiber Distributed Data Interface." DATACOM, 7. Jahrg., Mai 1990, S. 106 - 116

Zweck (FDDI):

- "Backbone" (DÜ) zur Interkonnektion von (heterogenen) LANs



**Bild: Konfiguration eines FDDI-Backbone-Netztes**



## Anforderungen an und Charakteristika von FDDI

Unterstützung von

- \* (relativ) hoher Ü-Geschwindigkeit (100Mb/s)
- \* Übertragung versch. Verkehrsarten (Daten, Sprache, Video)
- \* (relativ) großen Entfernungen:
  - zwischen Stationen:  $\leq 2$  Km (bei multimodalen Fasern)  
bzw.  $\leq 60$  Km (bei Monomode-Fasern)
  - Gesamt-Ringnetz:  $\leq 200$  Km

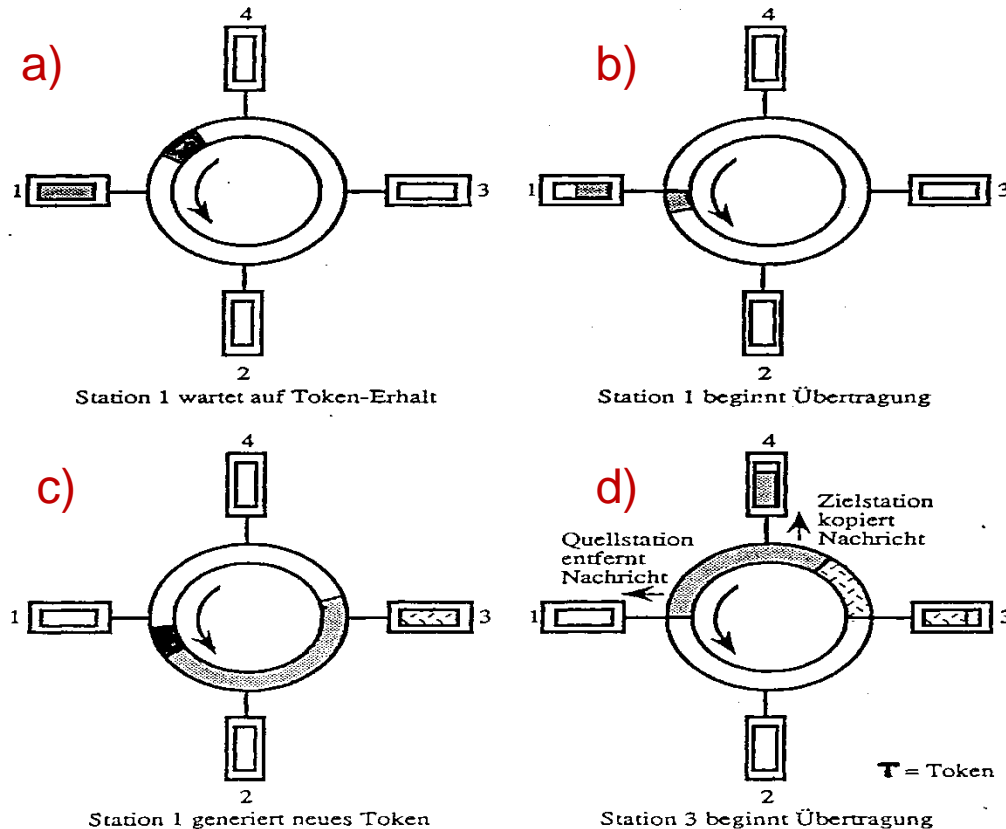
→ Entfernungsvergrößerung durch zusätzliche  
Signalverstärkung zwischen Stationen

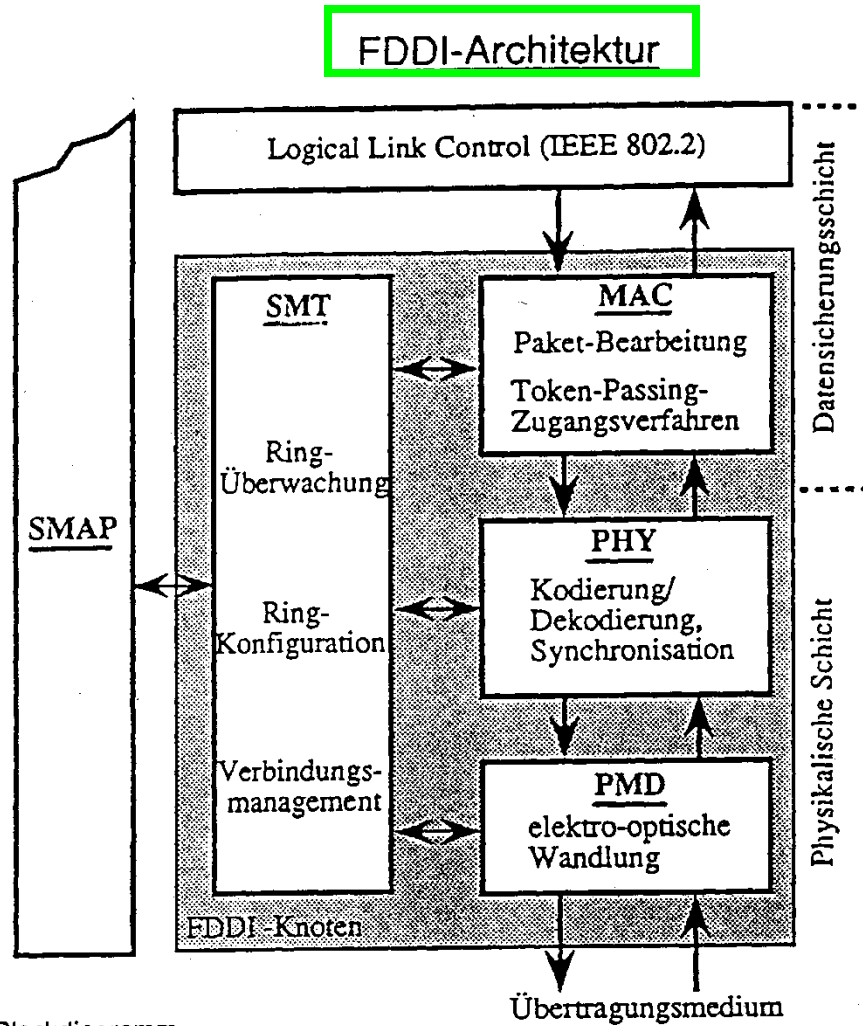
- \* Zuverlässigkeitsanforderungen: Primär-/Sekundär-Ring mit  
daraus resultierender Fehlertoleranz

## FDDI-Merkmale

### Zugriffskontrolle:

Token Ring (jedoch mit: "Early Token Release") und limitierte Token-Umlaufzeit (im Mittel:  $T_{OPR}$ ; maximal:  $2 * T_{OPR}$ , wobei  $T_{OPR}$  = operative Target Token Rotation Time); evtl. mehrere Dateneinheiten gleichzeitig auf Ring.





FDDI-Blockdiagramm



## Funktionalität der Instanzen:

### \* Media Access Control (MAC):

- Zugriffskontrolle gemäß zirkulierender Kontrollmarke (s.o.)
- Aufbereitung bzw. Interpretation abzusendender bzw. empfangener Pakete

### \* Physical Layer Protocol (PHY):

- Kodierung/Dekodierung der Information
- Synchronisation der Station mit Sendetakt
- Regeneration des Sendetaktes

### \* Physical Layer Medium Dependent (PMD):

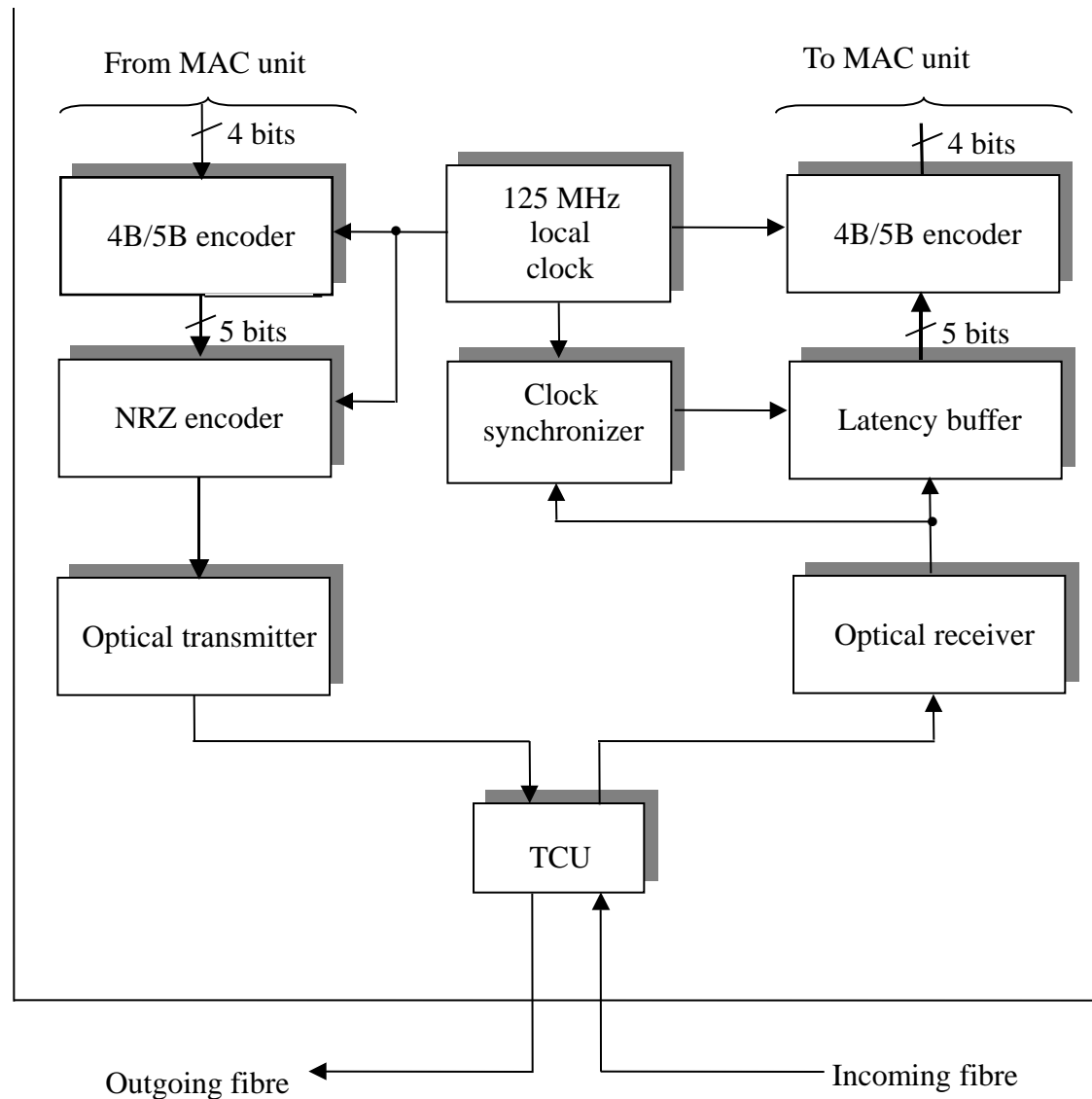
→ Spezifikation der Charakteristika der optischen Signalübertragung, z.B.

- Multimode-Fasern (50/125  $\mu\text{m}$ ; 62,5/125 $\mu\text{m}$  bzw. 100/140  $\mu\text{m}$ )
- Monomode-Fasern in Verbindung mit Laser-Dioden

### \* Station Management (SMT): u.a. Verwaltung der FDDI-Station

### \* Station Management und Administration Protokoll (SMAP): schichtenübergreifende Verwaltung

# Physikalische Schicht von FDDI



Bem.: TCU = Trunk Coupling Unit

# 4B/5B-Codierung

## Data symbols

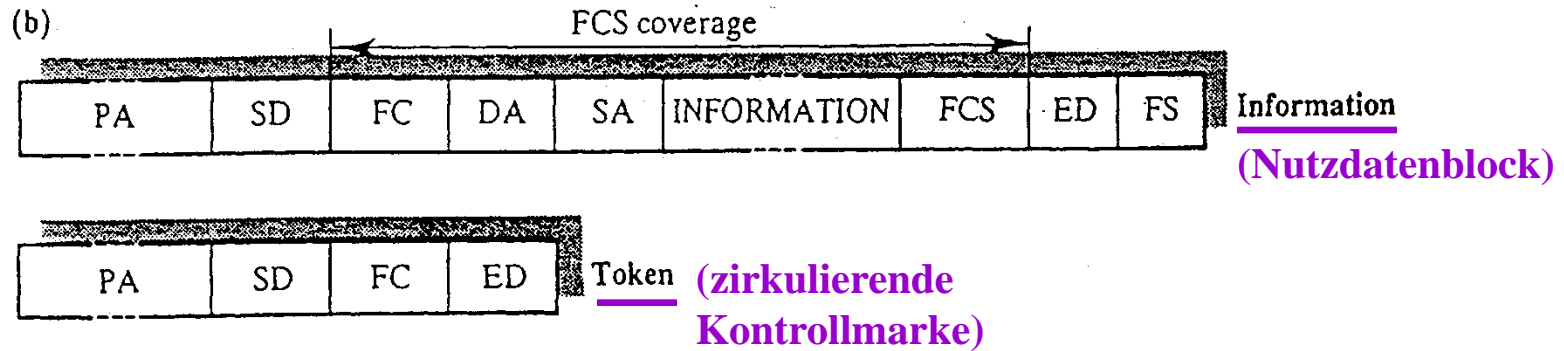
4-bit data group                      5-bit symbol

0000	— — — — —	11110
0001	— — — — —	01001
0010	— — — — —	10100
0011	— — — — —	10101
0100	— — — — —	01010
0101	— — — — —	01011
0110	— — — — —	01110
0111	— — — — —	01111
1000	— — — — —	10010
1001	— — — — —	10011
1010	— — — — —	10110
1011	— — — — —	10111
1100	— — — — —	11010
1101	— — — — —	11011
1110	— — — — —	11100
1111	— — — — —	11101

## Control symbols

IDLE	— — — — —	11111
J	— — — — —	11000
K	— — — — —	10001
T	— — — — —	01101
R	— — — — —	00111
S	— — — — —	11001
QUIET	— — — — —	00000
HALT	— — — — —	00100

*Ergo:* 4B/5B-Codierung gestattet „in-band-signalling“

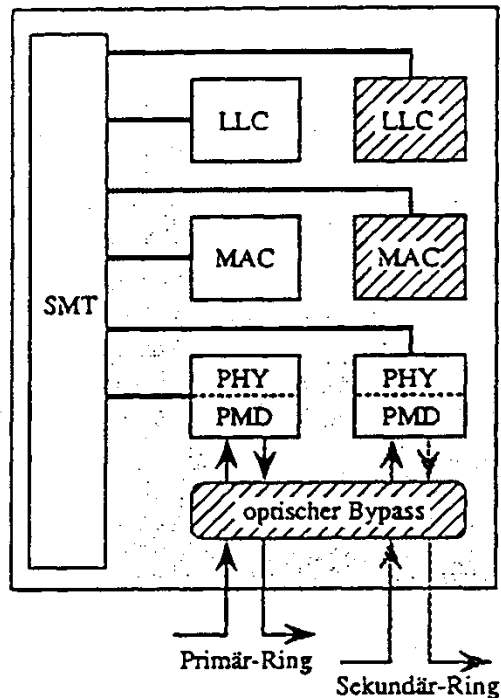


- PA = Preamble (16 or more symbols)
- SD = Start delimiter (2 symbols)
- FC = Frame control (2 symbols)
- DA = Destination address (4 or 12 symbols)
- SA = Source address (4 or 12 symbols)
- FCS = Frame check sequence (8 symbols)
- ED = End delimiter (1 or 2 symbols)
- FS = Frame status (3 symbols)

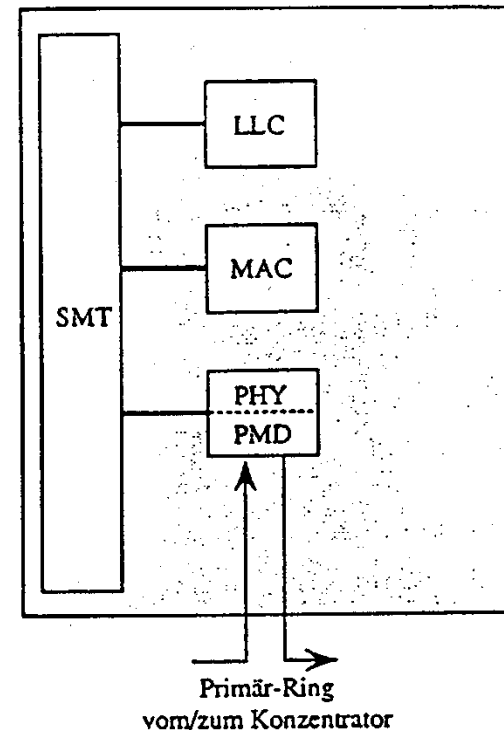
### a) Stationen:

- a1) Single Attachment Station (SAS) mit Anbindung lediglich an den Primär-Ring (z.B. Direktanschluß von Workstation)
- a2) Dual Attachment Station (DAS) mit Anbindung an beide Ringe (z.B. Anschluß von Mainframe, Server → höhere Verfügbarkeit)

### DAS:



### SAS:

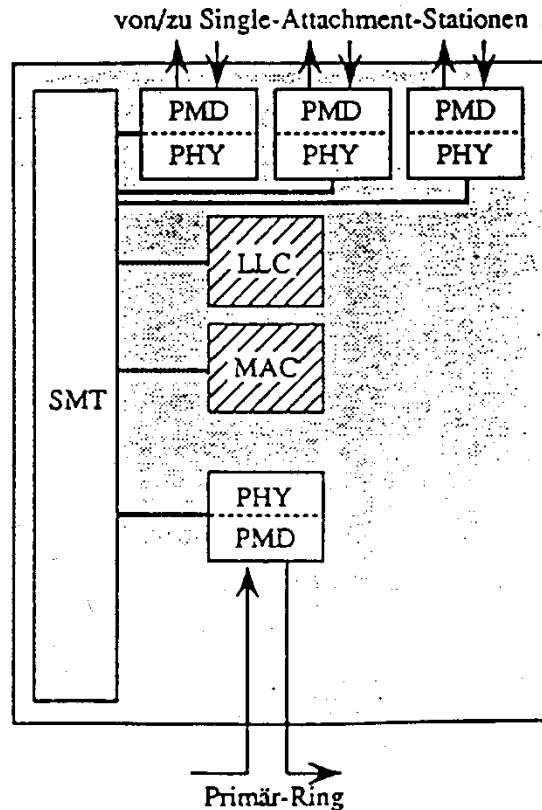




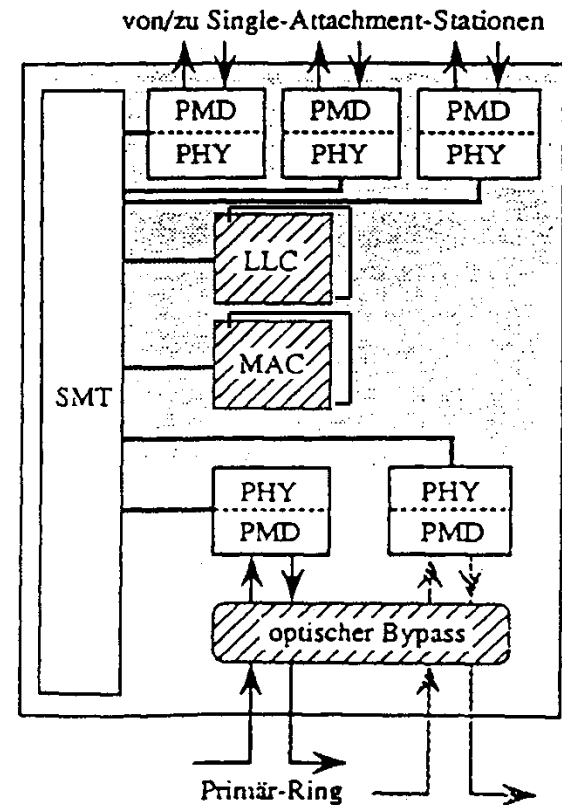
## b) Konzentratoren:

- b1) Single Attachment Concentrator (SAC) mit Anbindung lediglich an den Primär-Ring (z.B. als "Front-End" für mehrere SASen)
- b2) Dual Attachment Concentrator (DAC) mit Anbindung an beide Ringe (Anschluß von SASen und/oder SACen)

### SAC:

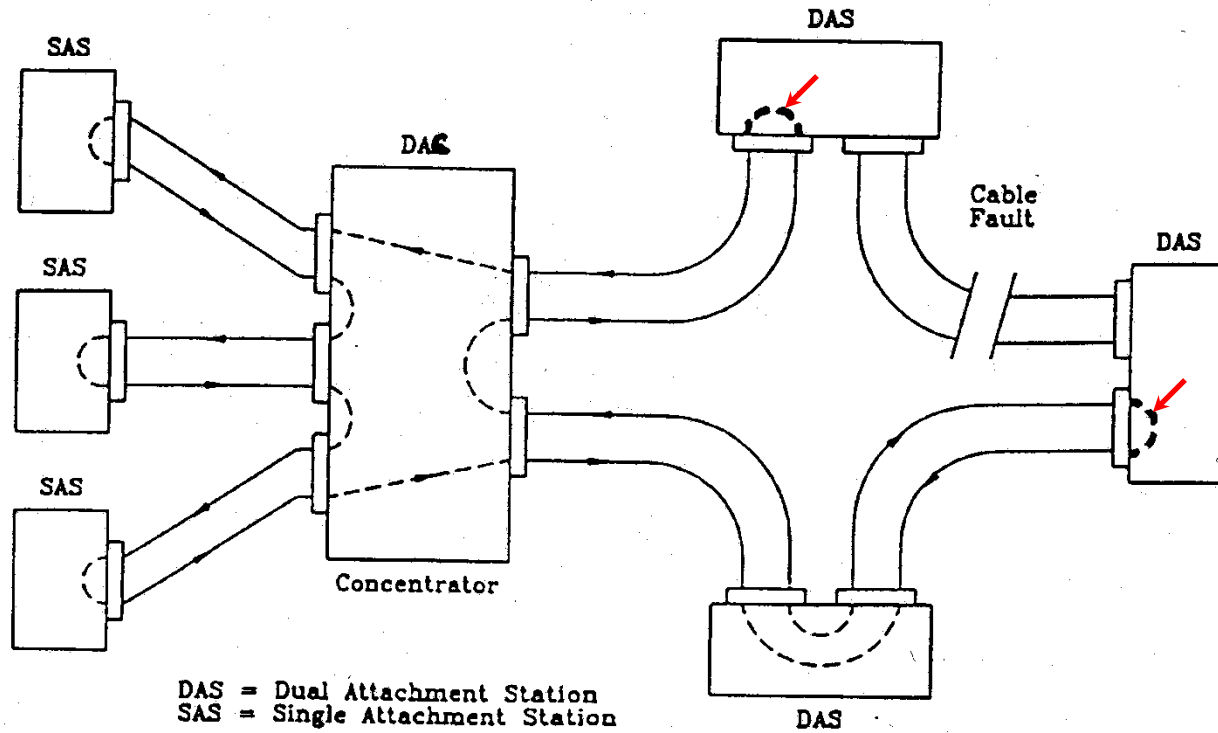


### DAC:



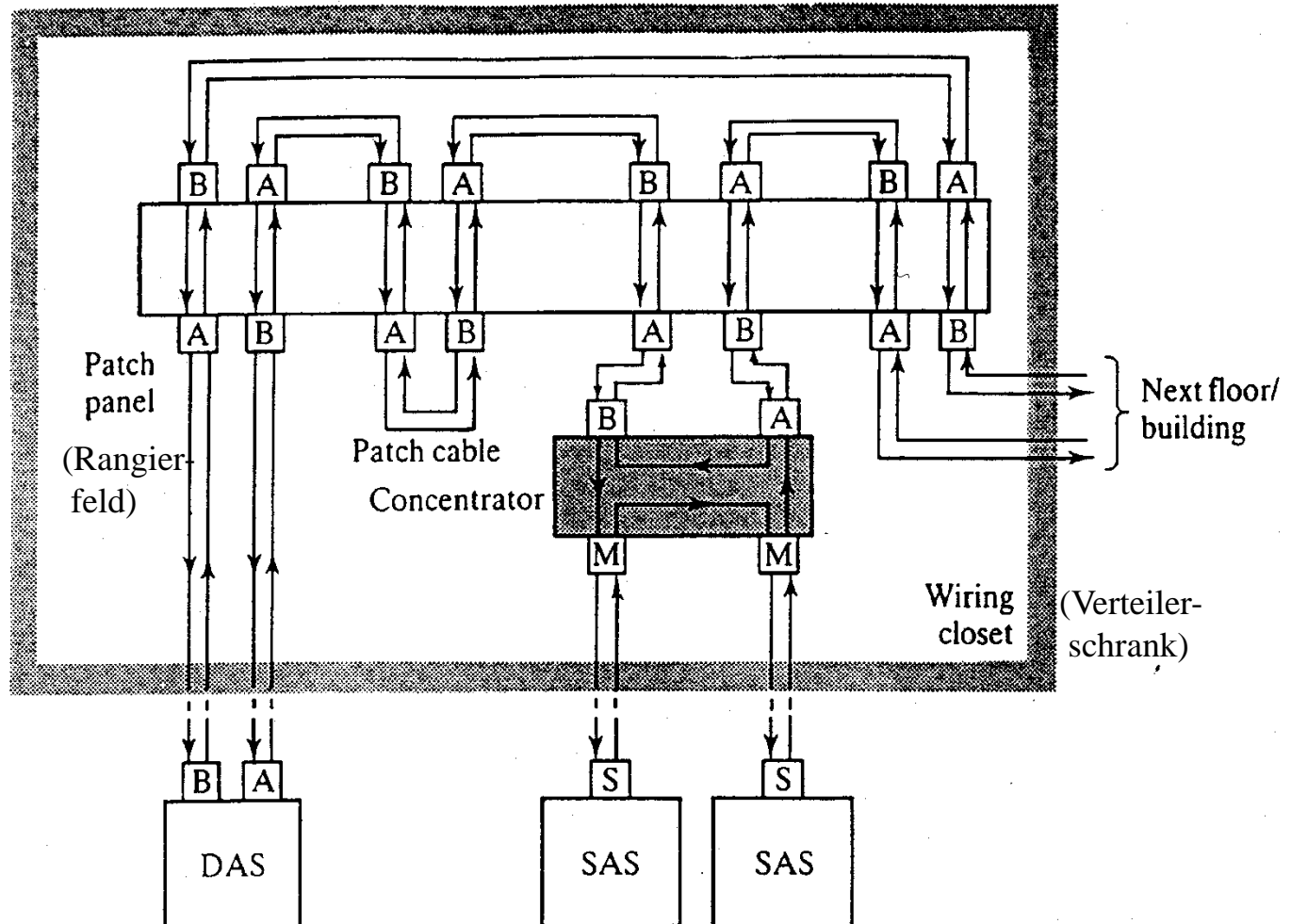


... und bei Kabelbruch :

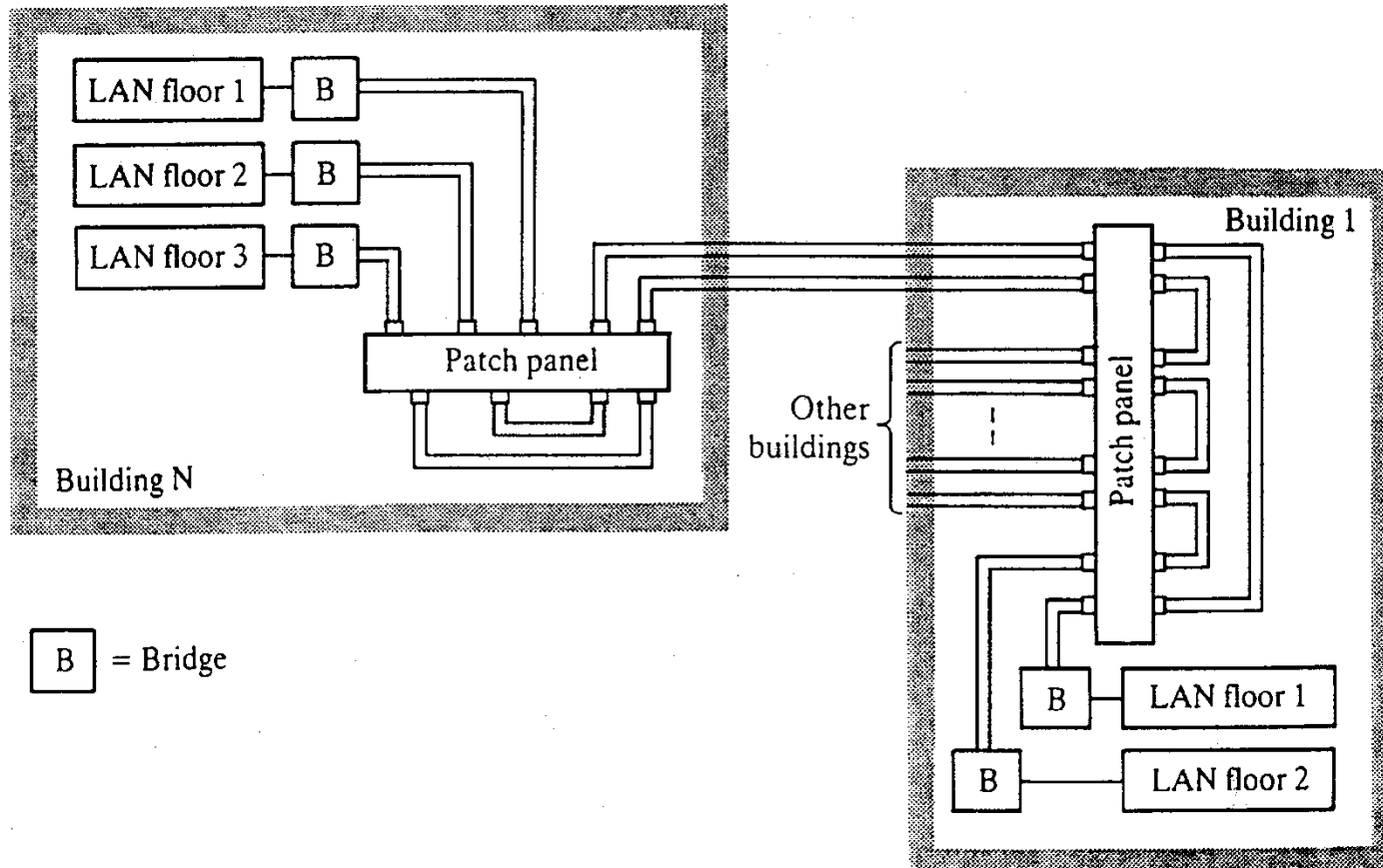


**Bild : FDDI-Ring im Fehlerfall**

(a)



(b)



## Leistungsfähigkeit von FDDI-Netzen



### Voraussetzungen:

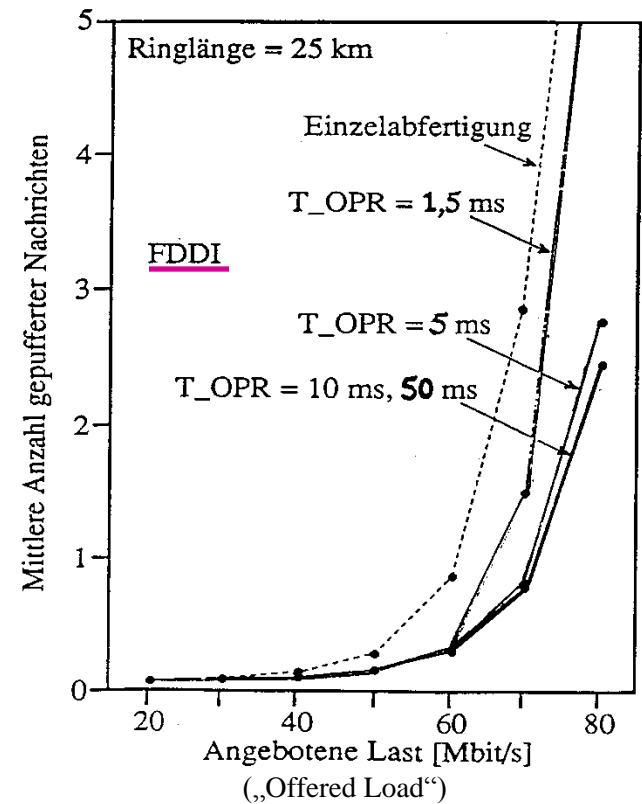
- \* mittlere angebotene Last pro Netzknoten: 2 Mbit/s
- \* Anwendungen: Dateitransfer und Dialogbetrieb
- \* Ringlänge (gesamt): 25 Km

### variiert:

- \* angebotene Last
- \* Wert für  $T_{OPR}$  (operative Target Token Rotation Time)

### gemessen:

- \* mittlere Warteschlangenbelegung in den Knoten



## Interpretation der Leistungsbewertung für FDDI

- \* mittl. Anz. gepufferter Nachrichten (L, s.u.)  
 ⇒ Aussagen über mittlere Wartezeiten (W, s.u.)

nota bene :

$$L = \lambda \cdot W$$

↑  
hier  $\lambda$  fest!

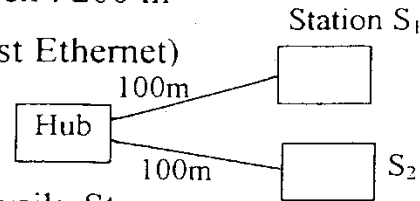
(„Little'sches Gesetz“)



- \* T\_OPR ↘ impliziert Übergang zu „non-exhaustive service“ (Q's eventuell nicht vollständig bedient)
- \* Video-/Audiokommunikation über FDDI erfordert „globale Betriebsmittelverwaltung“ (zumindest für höherpriorisierten Verkehr)
- \* bei Video-/Audiokommunikation :  
 zu spätes Ausliefern von Daten in der Regel nutzlos  
(aber : Überschreiten der Auslieferungs- „Deadline“ evtl. akzeptabel mit WSK p, z.B. p = 0.01, dann gleichbedeutend mit Verlust)
- \* im allg. starke Abhängigkeit von Last- „Mix“  
 (→ Notwendigkeit realitätsnaher Lastmodellierung)
- \* Bedeutung von FDDI stark rückläufig  
 ➡ Fast Ethernet/Gbit-Ethernet deutlich wichtiger

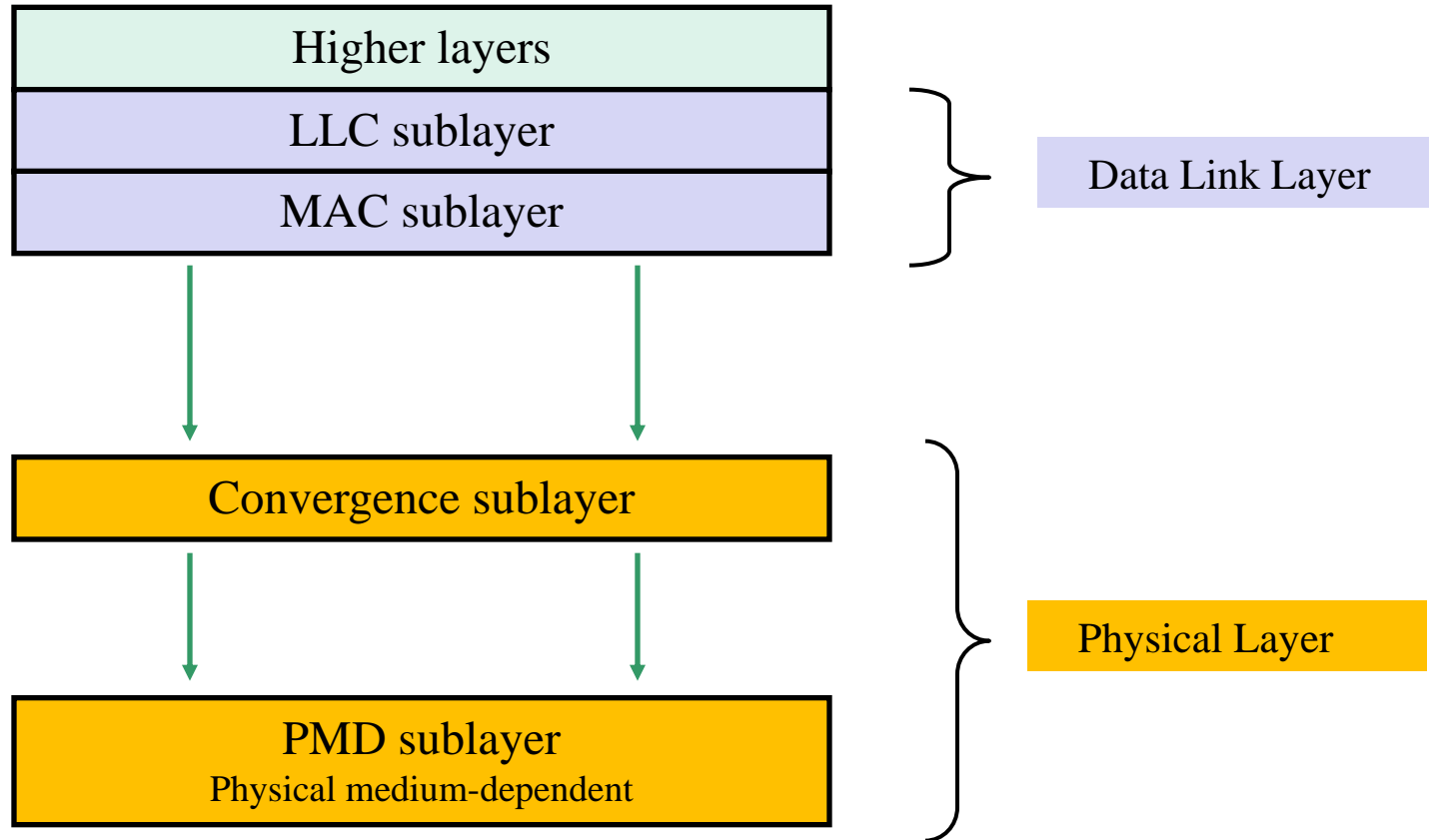
## 5.4.2. Fast Ethernet

- 10 Mb/s-Ethernet
  - Fast Ethernet (100 Mb/s)
  - $$\left( \begin{array}{l} \text{IEEE 802.12 (100 Mb/s)} \\ = \text{VG-AnyLAN} \end{array} \right)$$
- max. Entfernung zwischen Stationen : 200 m  
weiterhin : CSMA/CD (nur bei Fast Ethernet)
- min. Framelänge : 512 bit
- nota bene* : logischer Bus = physik. Stern;  
Hubs anstelle von "multidrop"-Kabel mit Tabs
- Verwendete Übertragungsmedien :
  - UTP (unshielded twisted pair), Kategorie 3, Segmentgröße: 100 m  
→ 4 Draht, daher : 100 Base-4T bzw. 100 Base-T4, pro Draht :  
33,3 Mb/s  
Code 8B6T (vgl. Beispiel, s.u.) = 8 Bit in 6 Takten (d.h.  
Taktfrequenz von 25 MHz ausreichend)
  - STP (shielded twisted pair), Kategorie 5, Segmentgröße: 100 m  
→ Alternative zu STP: opt. DÜ, 2 Leitungen (z.B. Glasfasern)  
Code 4B5B = 4 Bit übertragen unter Nutzung von 5Bit-Symbol  
(d.h. benötigte Taktfrequenz: 125 MHz), vgl. Code bei FDDI  
Bezeichnung der Variante: 100 Base-X bzw. 100 Base-TX
  - Glasfaser/opt. DÜ, Segmentgröße: 2 km  
→ 2 Multimode-Glasfasern  
Bezeichnung der Variante: 100 Base-F bzw. 100 Base-FX

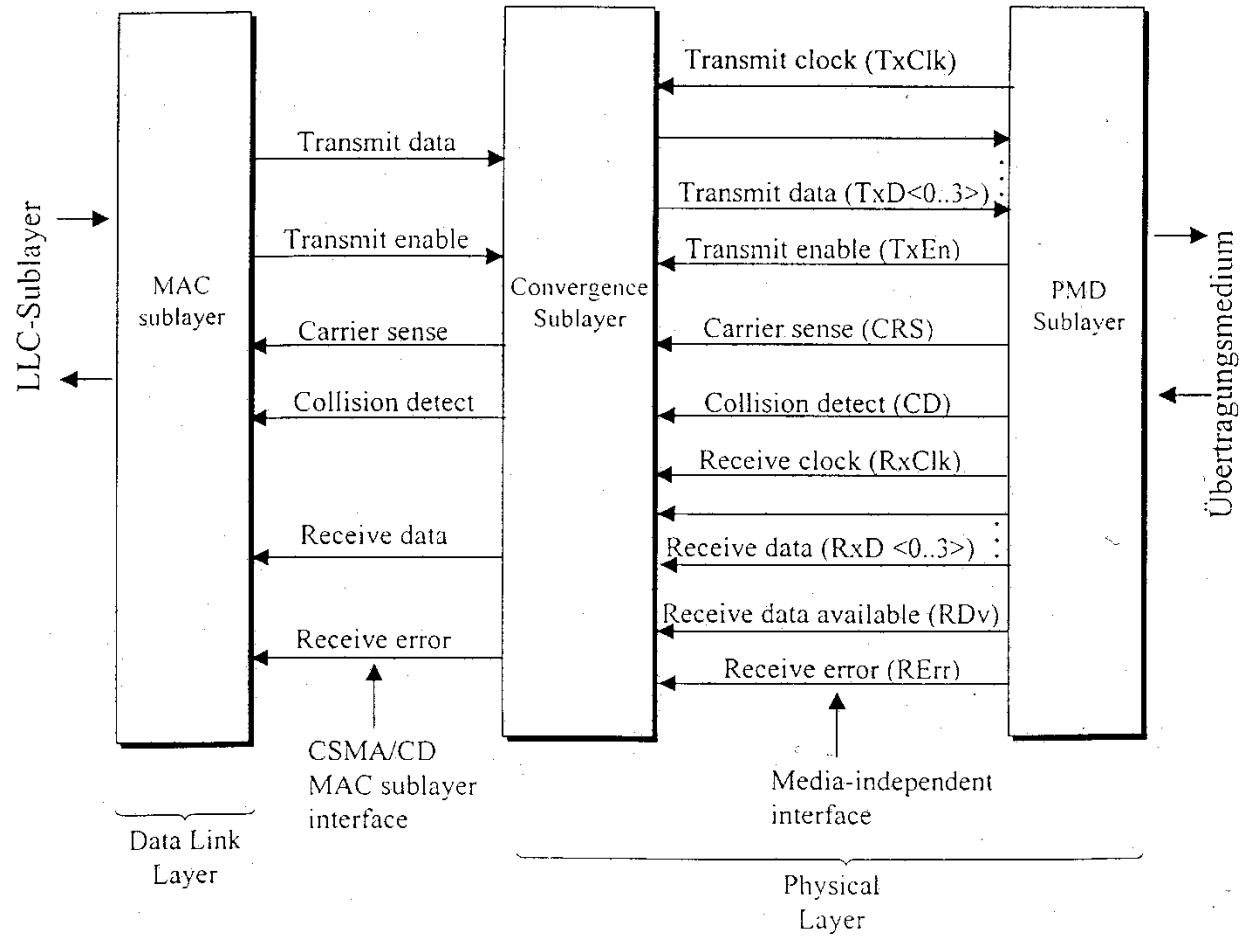




## Protokollhierarchie (vgl. konventionelles Ethernet)

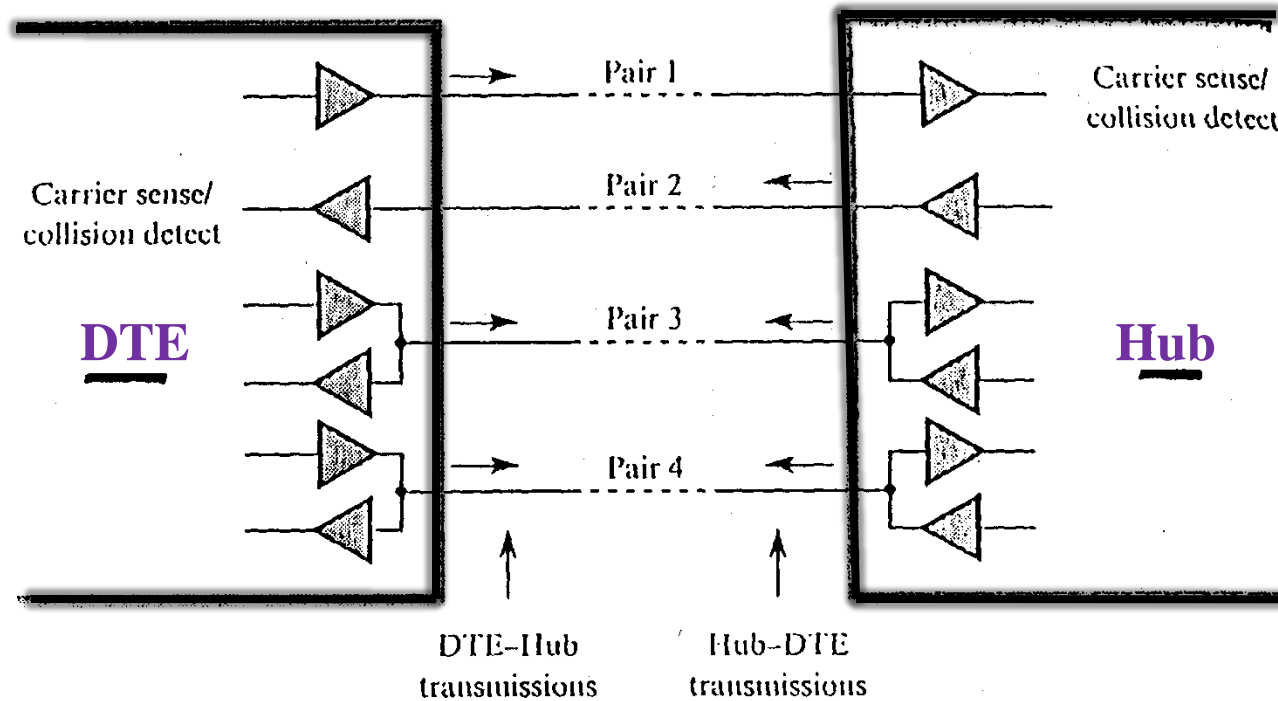


## Signale an Schnittstellen :





## Interkonnektion zwischen Station und "Hub"

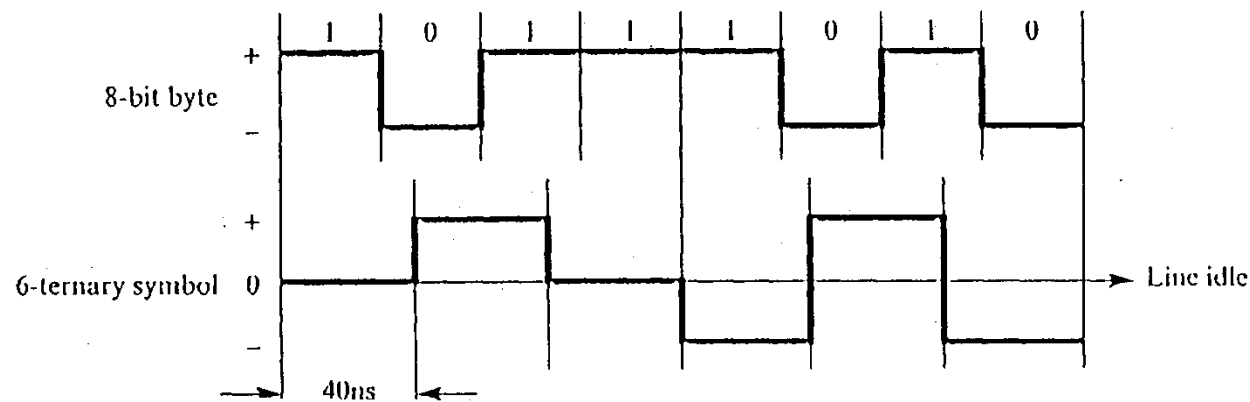


*nota bene:*

Pairs 1, 3, 4 zu Hub

Pairs 2, 3, 4 zu DTE

## Beispiel: Codierung eines Byte



*nota bene:*

- in 240 ns werden 8 bit übertragen  
(d.h. 30 ns pro bit  $\equiv$  33.33 Mb/s )
- $2^8 = 256 < 3^6 = 9 \times 81 = 729$ , d.h. zusätzliche Codewörter verfügbar

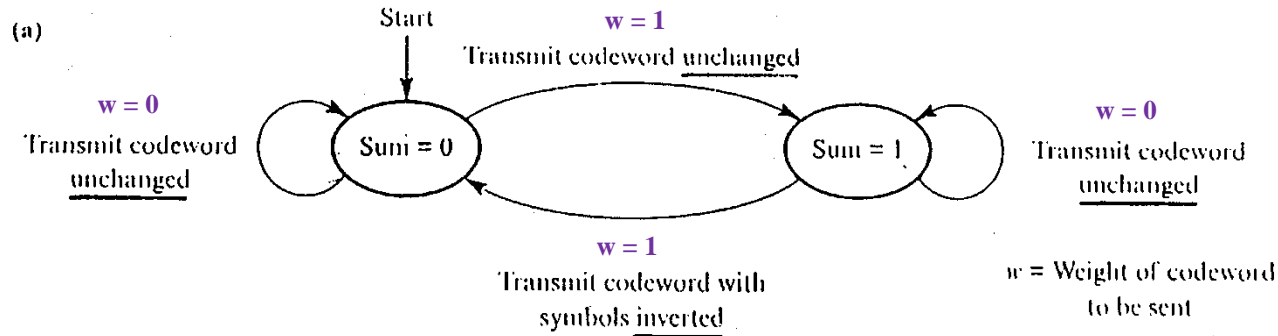
# 8B6T-Codierung (ausgewählte Beispiele)

**Table 7.1** 8B6T codeword set.

<i>Data byte</i>	<i>Codeword</i>	<i>Data byte</i>	<i>Codeword</i>	<i>Data byte</i>	<i>Codeword</i>	<i>Data byte</i>	<i>Codeword</i>
00	- + 0 0 - +	20	- + + - 0 0	40	- 0 0 + 0 +	60	0 + + 0 - 0
01	0 - + - + 0	21	+ 0 0 + - -	41	0 - 0 0 + +	61	+ 0 + - 0 0
02	0 - + 0 - +	22	- + 0 - + +	42	0 - 0 + 0 +	62	+ 0 + 0 - 0
03	0 - + + 0 -	23	+ - 0 - + +	43	0 - 0 + + 0	63	+ 0 + 0 0 -
04	- + 0 + 0 -	24	+ - 0 + 0 0	44	- 0 0 + + 0	64	0 + + 0 0 -
05	+ 0 - - + 0	25	- + 0 + 0 0	45	0 0 - 0 + +	65	+ + 0 - 0 0
06	+ 0 - 0 - +	26	+ 0 0 - 0 0	46	0 0 - + 0 +	66	+ + 0 0 - 0
07	+ 0 - + 0 -	27	- + + + - -	47	0 0 - + + 0	67	+ + 0 0 0 -
08	- + 0 0 + -	28	0 + + - 0 -	48	0 0 + 0 0 0	68	0 + + - + -
09	0 - + + - 0	29	+ 0 + 0 - -	49	+ + - 0 0 0	69	+ 0 + + - -
0A	0 - + 0 + -	2A	+ 0 + - 0 -	4A	+ - + 0 0 0	6A	+ 0 + - + -
0B	0 - + - 0 +	2B	+ 0 + - - 0	4B	- + + 0 0 0	6B	+ 0 + - - +
0C	- + 0 - 0 +	2C	0 + + - - 0	4C	0 + - 0 0 0	6C	0 + + - - +
0D	+ 0 - + - 0	2D	+ + 0 0 - -	4D	+ 0 - 0 0 0	6D	+ + 0 + - -
0E	+ 0 - 0 + -	2E	+ + 0 - 0 -	4E	0 - + 0 0 0	6E	+ + 0 - + -
0F	+ 0 - - 0 +	2F	+ + 0 - - 0	4F	- 0 + 0 0 0	6F	+ + 0 - - +
10	0 - - + 0 +	30	+ - 0 0 - +	50	+ - - + 0 +	70	0 0 0 + + -
11	- 0 - 0 + +	31	0 + - - + 0	51	- + - 0 + +	71	0 0 0 + - +
12	- 0 - + 0 +	32	0 + - 0 - +	52	- + - + 0 +	72	0 0 0 - + +
13	- 0 - + + 0	33	0 + - + 0 -	53	- + - + + 0	73	0 0 0 + 0 0
14	0 - - + + 0	34	+ - 0 + 0 -	54	+ - - + + 0	74	0 0 0 + 0 -
15	- - 0 0 + +	35	- 0 + - + 0	55	- - + 0 + +	75	0 0 0 + - 0
16	- - 0 + 0 +	36	- 0 + 0 - +	56	- - + + 0 +	76	0 0 0 - 0 +
17	- - 0 + + 0	37	- 0 + + 0 -	57	- - + + + 0	77	0 0 0 - + 0
18	- + 0 - + 0	38	+ - 0 0 + -	58	- - 0 + + +	78	+ + + - - 0
19	+ - 0 - + 0	39	0 + - + - 0	59	- 0 - + + +	79	+ + + - 0 -
1A	- + + - + 0	3A	0 + - 0 + -	5A	0 - - + + +	7A	+ + + 0 - -
1B	+ 0 0 - + 0	3B	0 + - - 0 +	5B	0 - - 0 + +	7B	0 + + 0 - -
1C	+ 0 0 + - 0	3C	+ - 0 - 0 +	5C	+ - - 0 + +	7C	- 0 0 - + +
1D	- + + + - 0	3D	- 0 + + - 0	5D	- 0 0 0 + +	7D	- 0 0 + 0 0
1E	+ - 0 + - 0	3E	- 0 + 0 + -	5E	0 + + + - -	7E	+ - - - + +
1F	- + 0 + - 0	3F	- 0 + - 0 +	5F	0 + + - 0 0	7F	+ - - + 0 0

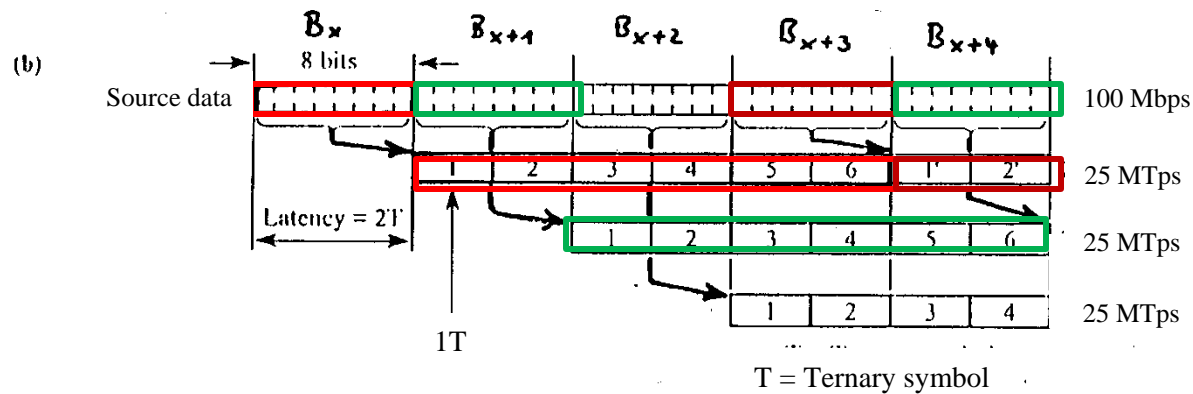
aus [Hal 96]

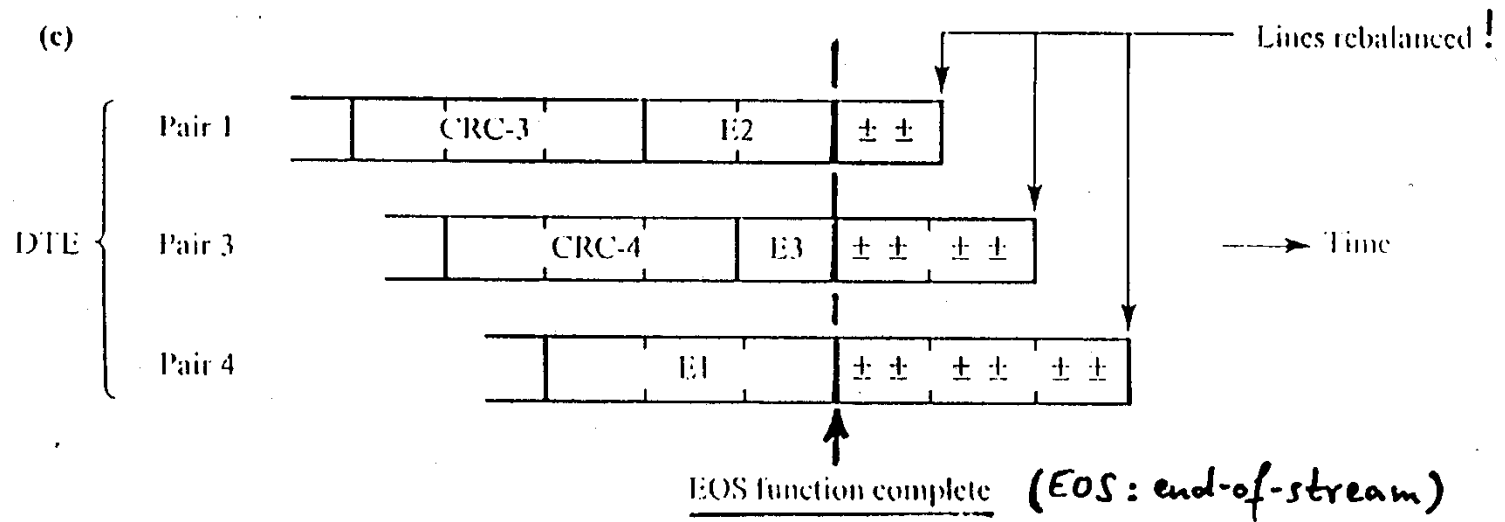
# Zum Ausgleich des Gleichstromanteils („DC balance“)



*Nota bene:*  $w \in \{0, 1\}$  für gewählte 8B6T-Codierung

$w$  = Gewicht des Codeworts





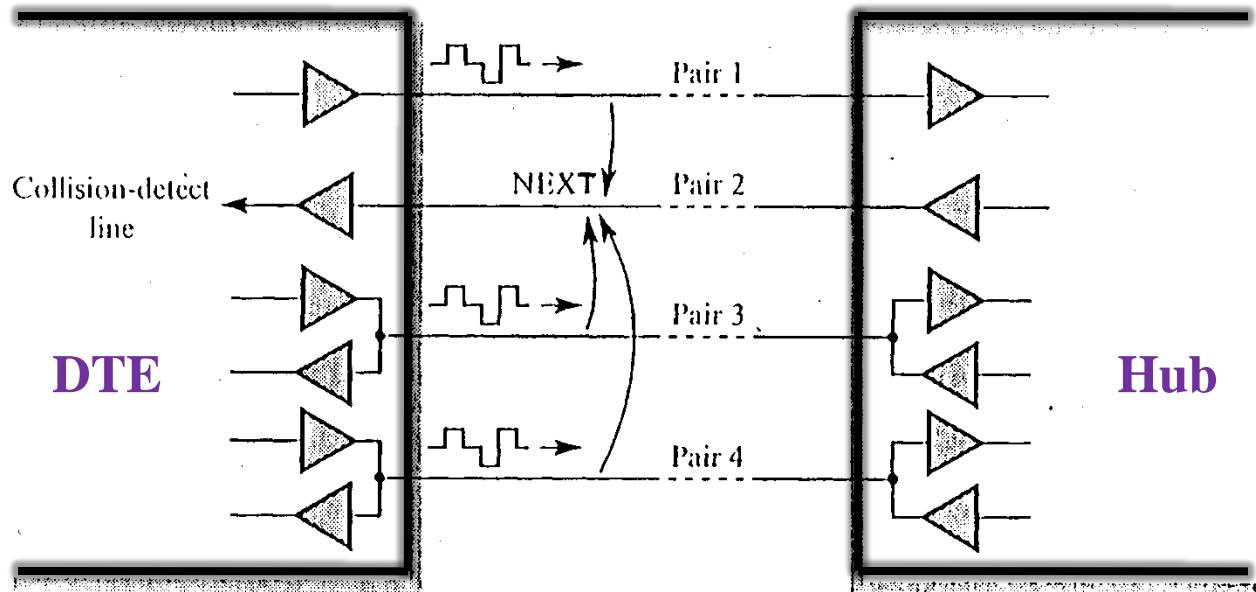
EOS codes selected based on the checksum for that pair:

	Sum = 0	Sum = 1
E1	-----	++++++
E2	-----	++++
E3	---	++

*nota bene:* 4 CRC-Bytes, nämlich CRC-1, CRC-2, CRC-3, CRC-4

## Kollisionserkennung seitens einer Station (DTE)

(a)

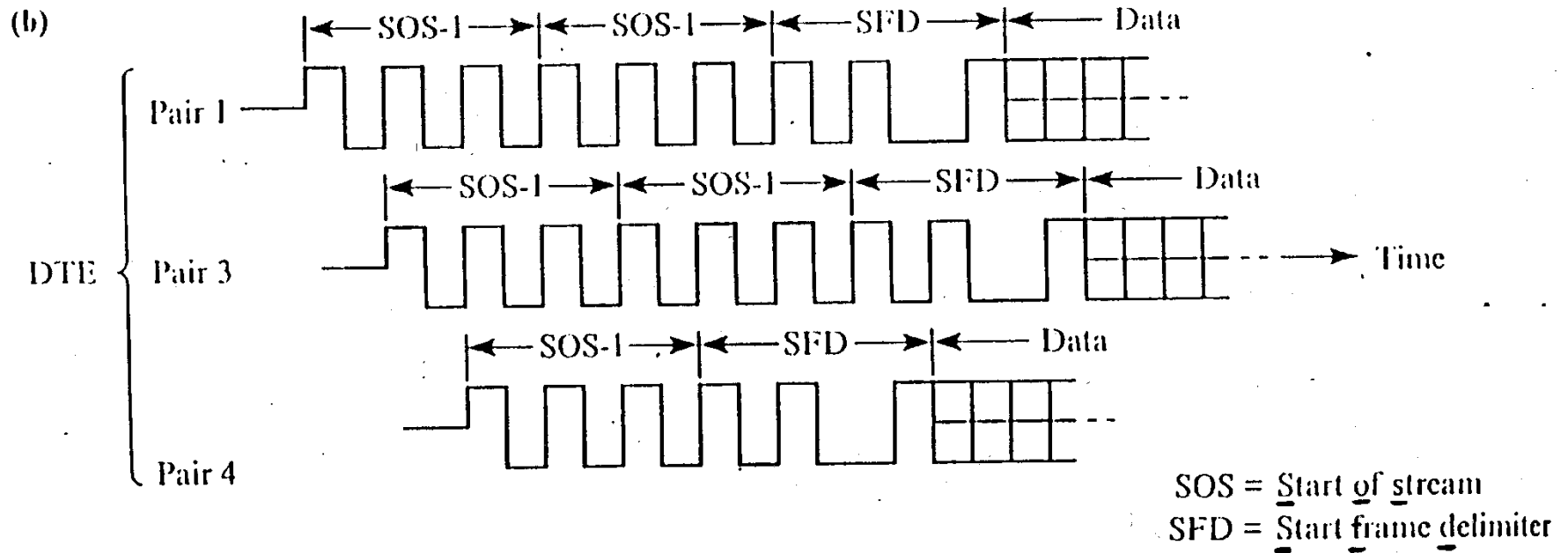


NEXT = Near-end crosstalk  
X





# Zur zuverlässigen Erkennung des Beginns eines Übertragungsblockes

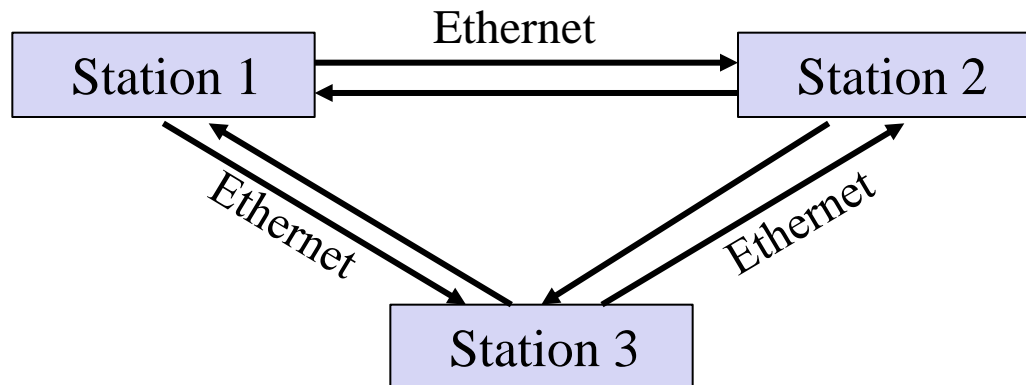


Kleiner Exkurs :

## *Ethernet* mit Datenraten *im Bereich von $\geq 1$ Gbit/s*

→ **Problem:** CSMA/CD nicht mehr sinnvoll einsetzbar !

**ABER:** Benötigen wir CSMA/CD überhaupt bei Vollduplex-Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen je zwei kommunizierenden Stationen ?!



**Denkanstoß:** Was bleibt von Ethernet, wenn wir CSMA/CD auf Vollduplex-Punkt-zu-Punkt-Verbindungen anwenden ? (siehe obiges Beispiel)

## 5.4.3 Der DQDB-Standard

**DQDB**  $\equiv$  Distributed-**Q**ueue **D**ual-**B**us Protokoll  
 = Standard IEEE 802.6 (**MAN**-Metropolitan Area Networks)

Literatur: M. Le, R. Pretty: "The IEEE 802.6 Metropolitan Area Network Distributed Queue, Dual Bus Protocol." Journal of Data & Comp. Commun., Vol.3, No.2 (1990), 23-43

### ➤ Zweck (DQDB) :

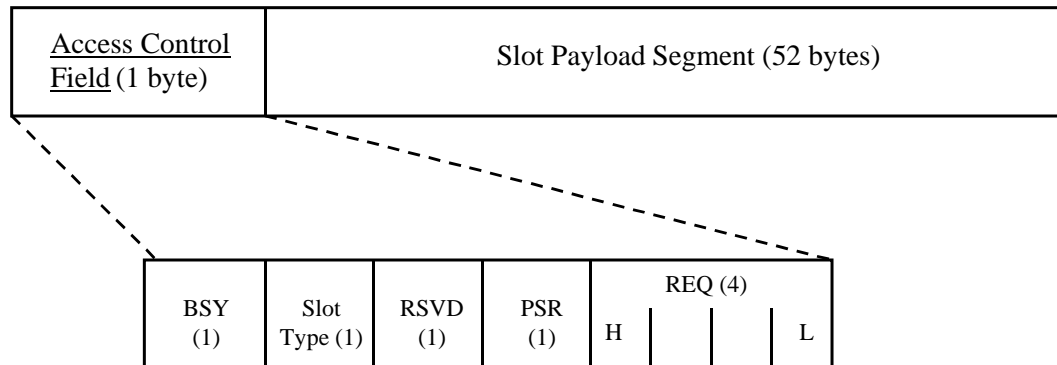
- "Backbone" (DÜ) zur Interkonnektion von (heterogenen) LANs
- Unterstützung von
  - (relativ) hoher Ü-Geschwindigkeit ( $> 20$  Mbit/s)
  - Übertragung verschiedener Verkehrsarten (Daten, Sprache, Video)
  - (relativ) großen Entfernungen (Netzausdehnung, z.B.  $> 50$  km)
  - Zuverlässigkeitsanforderungen (trotz Bus!  $\rightarrow$  Lösung : "Dual Bus")
  - ("weiche") Realzeitanforderungen ( $\rightarrow$  u.a. wegen Sprachübertragung)

### ➤ DÜ-Dienste :

- *verbindungslose* DÜ  $\rightarrow$  Frame-Länge  $\leq 9.188$  [Byte]
- *verbindungsorientierte* DÜ  $\rightarrow$  Segmente (52 Byte) <sup>\*)</sup>
- *isochrone* DÜ  $\rightarrow$  byteweise Übertragung in vorab reservierten Segmenten

<sup>\*)</sup> *Segment* + 1 Byte Kontrollfeld ergibt *Slot* (mit Gesamtlänge 53 Byte, vgl. auch ATM in Kap. 6)

## ➤ Slotaufbau :



Notes:

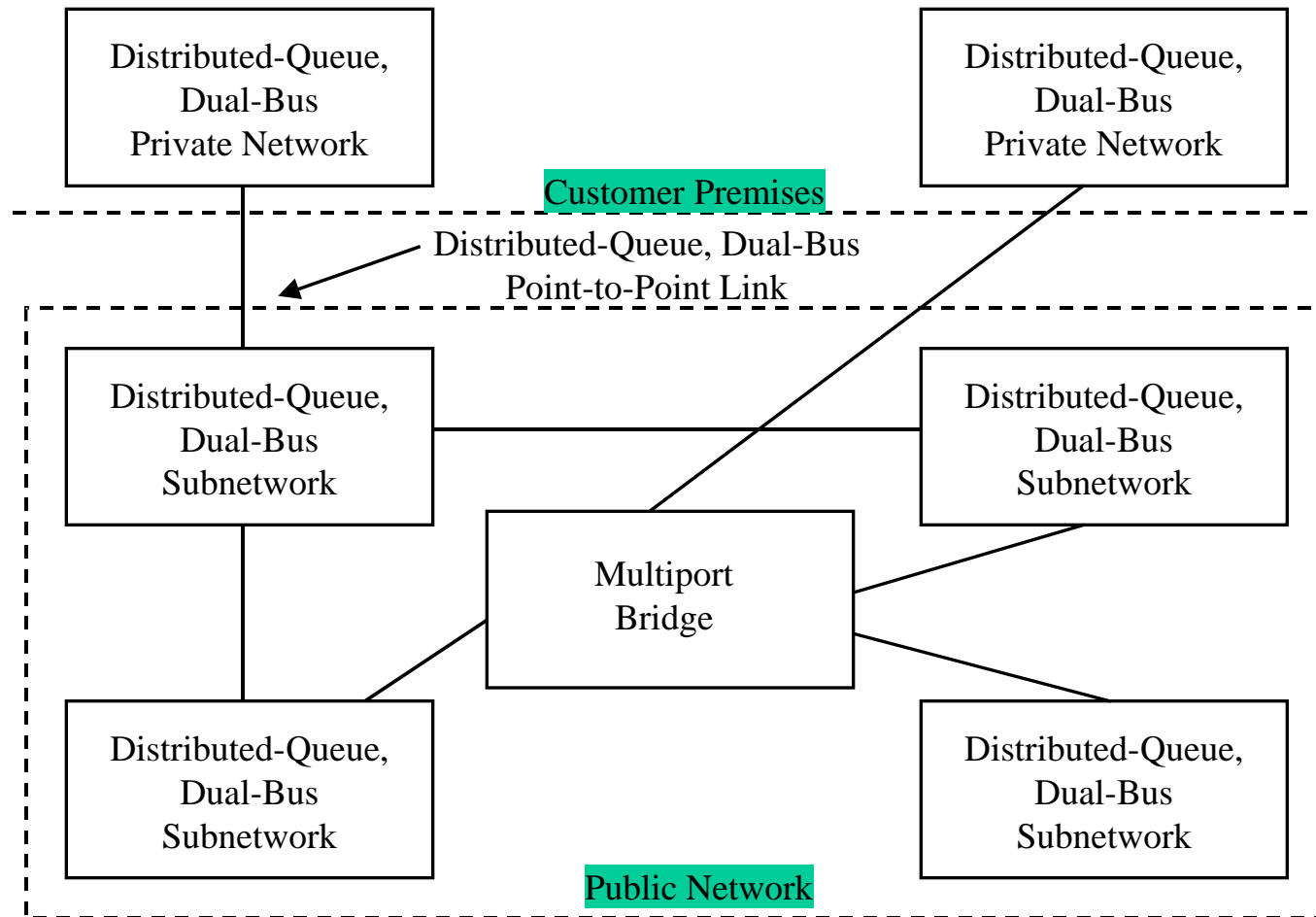
BSY	Busy
H	Highest
L	Lowest
PSR	Previous segment read
REQ	Request (4 bit für 4Prio-Ebenen)
RSVD	Reserved

## ➤ Zugriffskontrolle :

→ vergleichbar *Ring mit Festrahmenzirkulation* (ergänzt um Reservierungsverfahren);  
alternative Sicht : *getakteter Token Bus mit Realisierung einer verteilten Warteschlange* für Zugriffswünsche

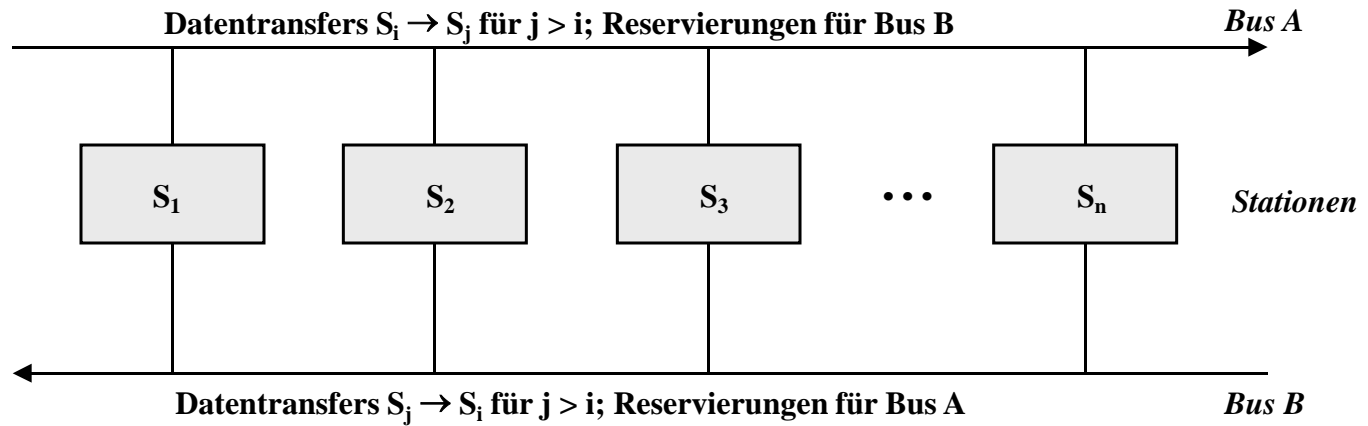
→ ergo : *distributed queue*

## Typische DQDB-Konfigurationen → gekoppelte DQDB-Subnetze:





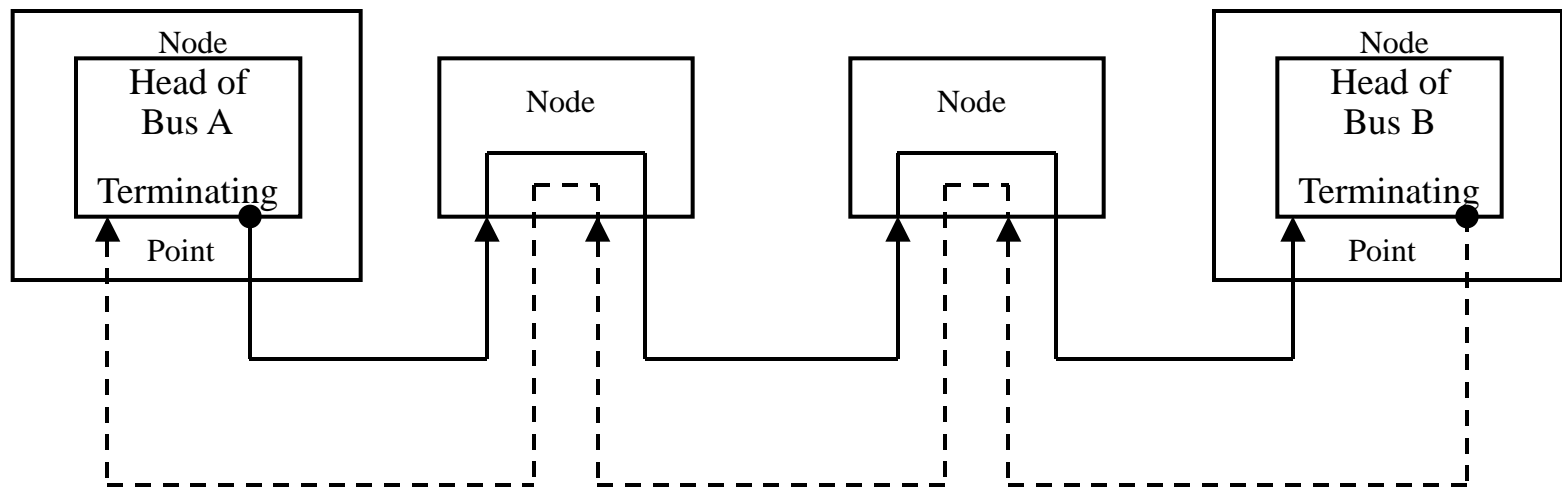
... und **das einzelne DQDB-Netz** :



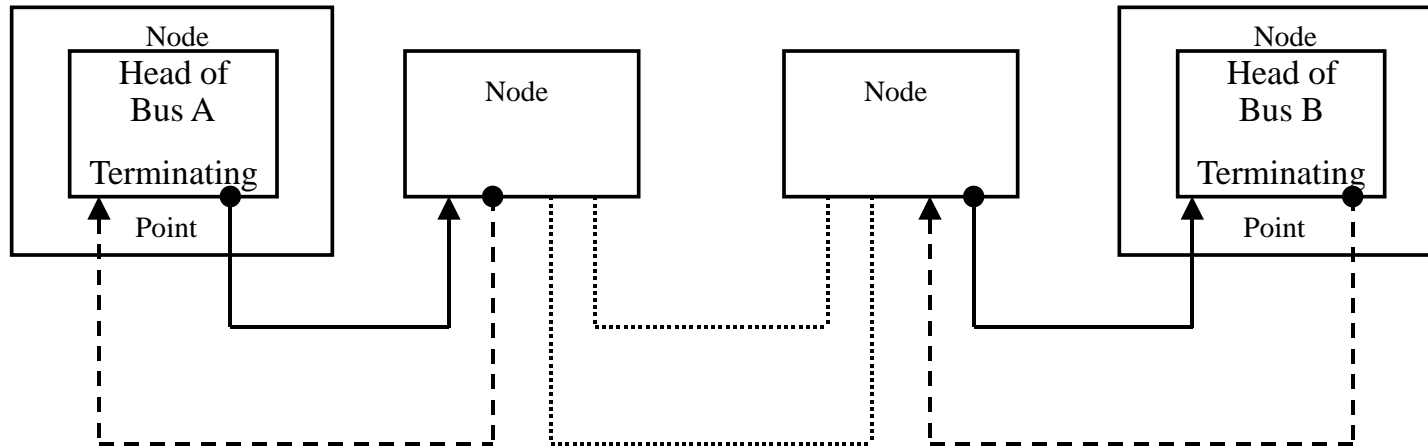
## Zwei Varianten der Realisierung der Bussysteme bei DQDB

### a) *“Open-Bus” –Topologie*

- fehlerfreier Fall :



- **Rekonfiguration :**



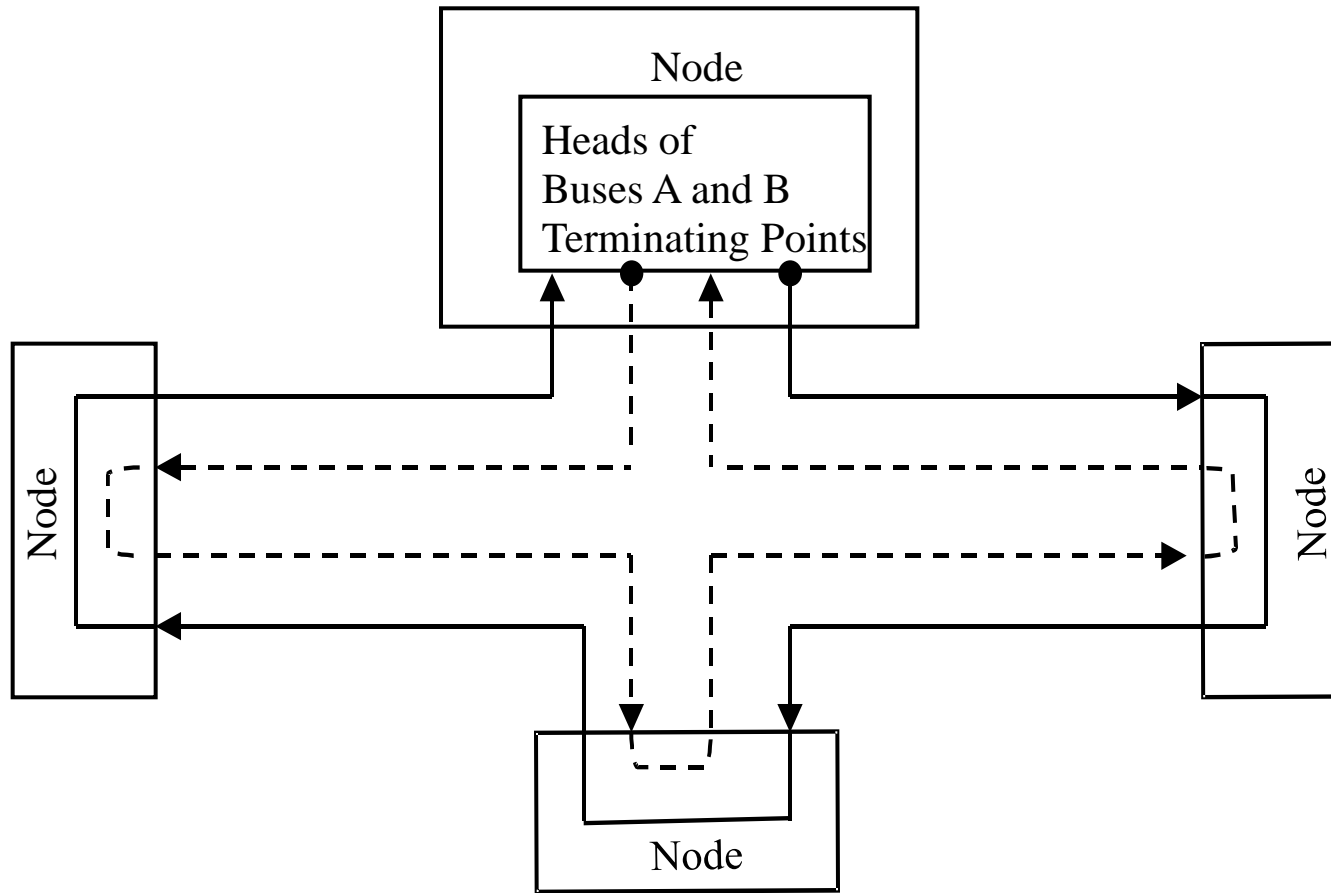
Notes :

Broken link between two nodes in the open-bus configuration.  
The subnetwork is partitioned into two disjointed subnetworks

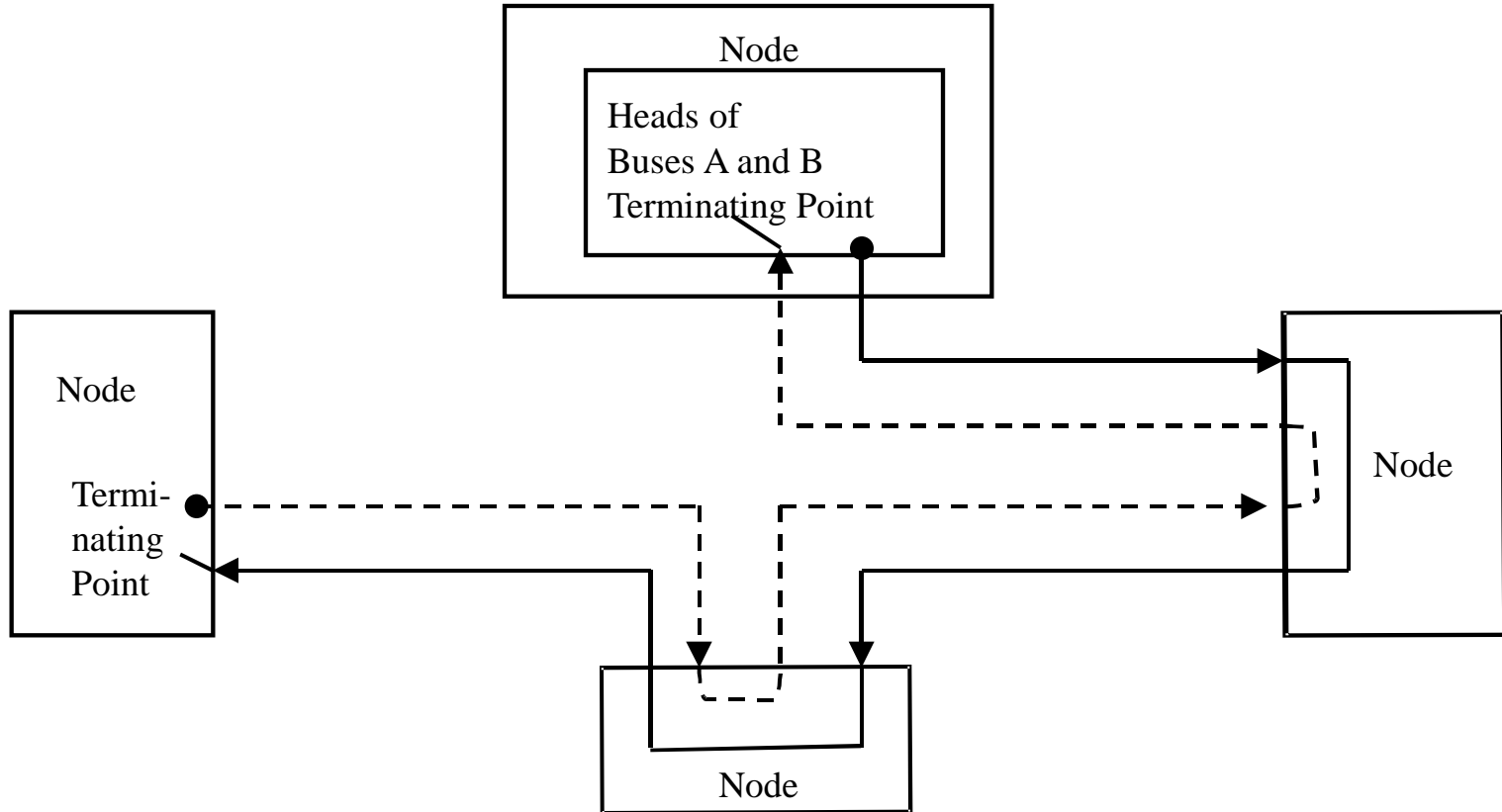


b) *“Looped-Bus” –Topologie*

- fehlerfreier Fall:



- **Rekonfiguration :**



*Bemerkung :*

Kabelbruch zwischen zwei Knoten (nodes) in der “*looped-bus configuration*“.  
 Das Subnetz wird rekonfiguriert zu einer “*open-bus configuration*“.  
 Die Verbindungen zwischen sämtlichen Knoten werden aufrecht erhalten.

## Weitere **DQDB-Merkmale**

### ➤ **Physikalische Attribute :**

- Varianten*
1. ANSI DS3 : 44.736 Mb/s; 75Ω Koax oder Glasfaser
  2. ANSI SONET STS-3c : 155.520 Mb/s; Single-mode-Glasfaser
  3. CCITT G.703 : 34.368 Mb/s bzw. 139.26 Mb/s;  
elektrische Signalübertragung

### ➤ **Netzkomponenten :**

#### • **Slotgenerierung :**

Slotbildung : Slotlänge 53 Byte (Daten : 52 Byte + Kontrollfeld : 1 Byte)

→ Slotaufbau : s.o.

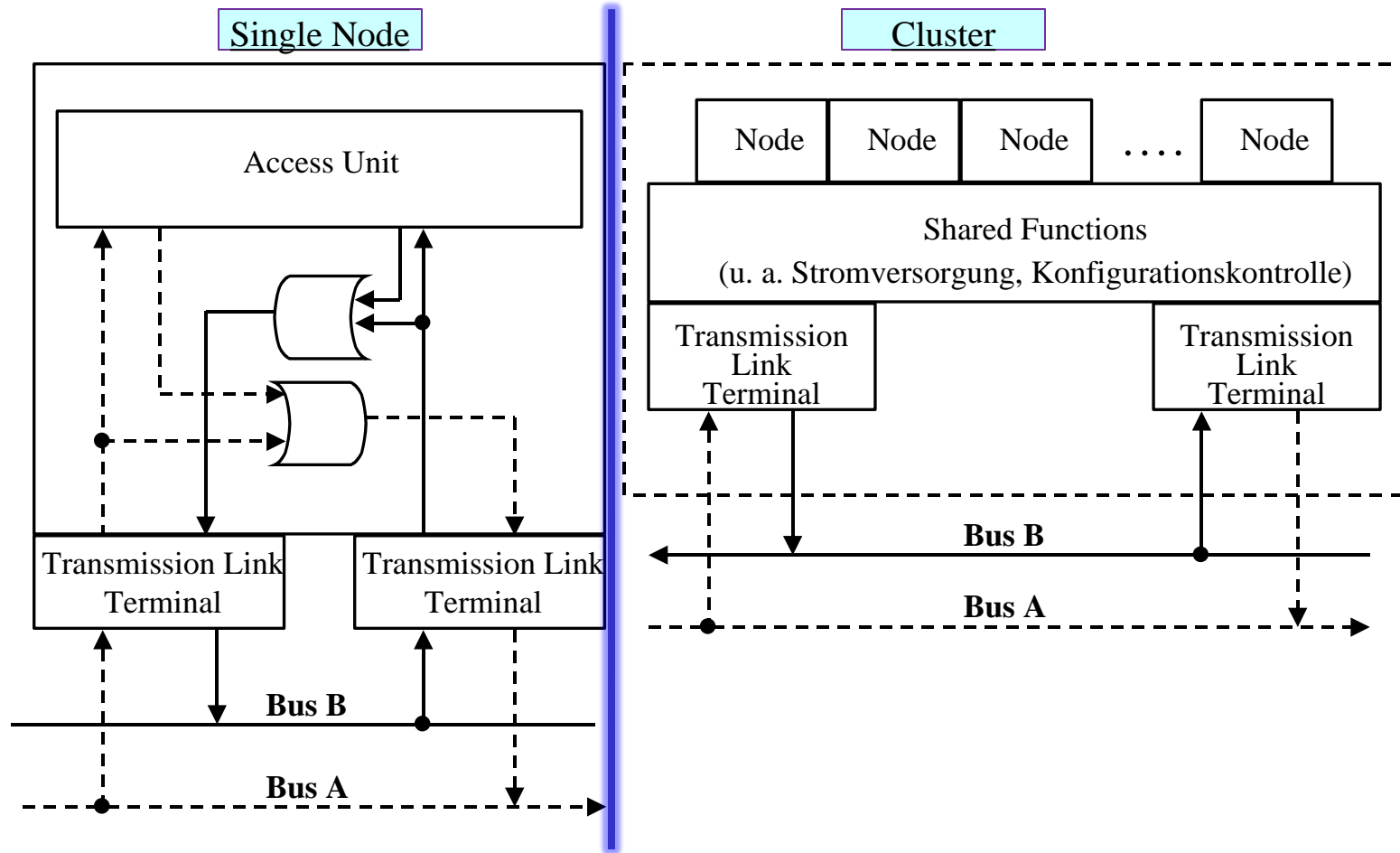
- **“open-bus”** – Topologie  
→ 2 Slotgeneratoren (für Bus A  $\wedge$  Bus B separat)
- **“looped-bus”** – Topologie  
→ 1 Slotgenerator (für Bus A  $\wedge$  B gemeinsam)

#### • **Taktgenerierung :**

→ netzinterne Taktgenerierung oder Versorgung mit extern generiertem Takt

## ➤ Buszugang :

**Knotenspezifisch** (“Single Node”) oder **Clusterspezifisch** (“Cluster”)



## Die **Zugriffskontrolle bei DQDB**

### ➤ Zugriffskontrolle :

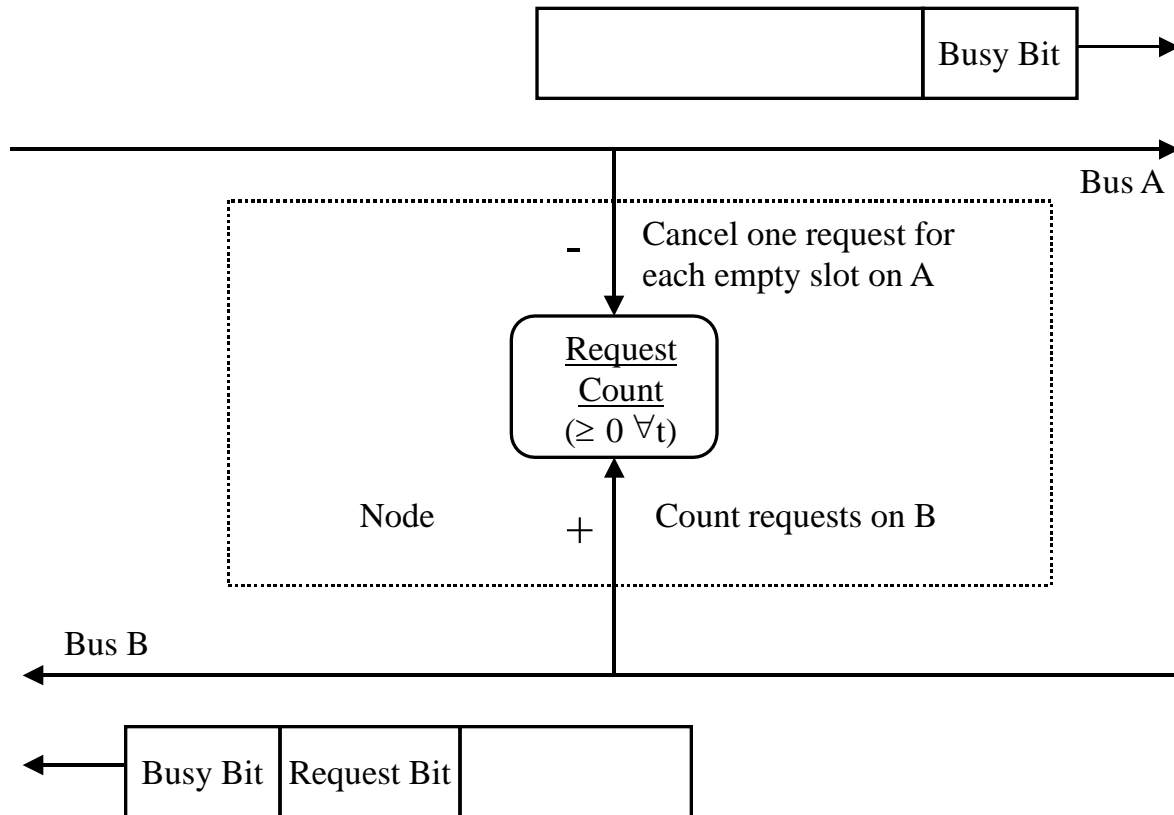
→ wie wird die verteilte Warteschlange (distributed queue) etabliert ?



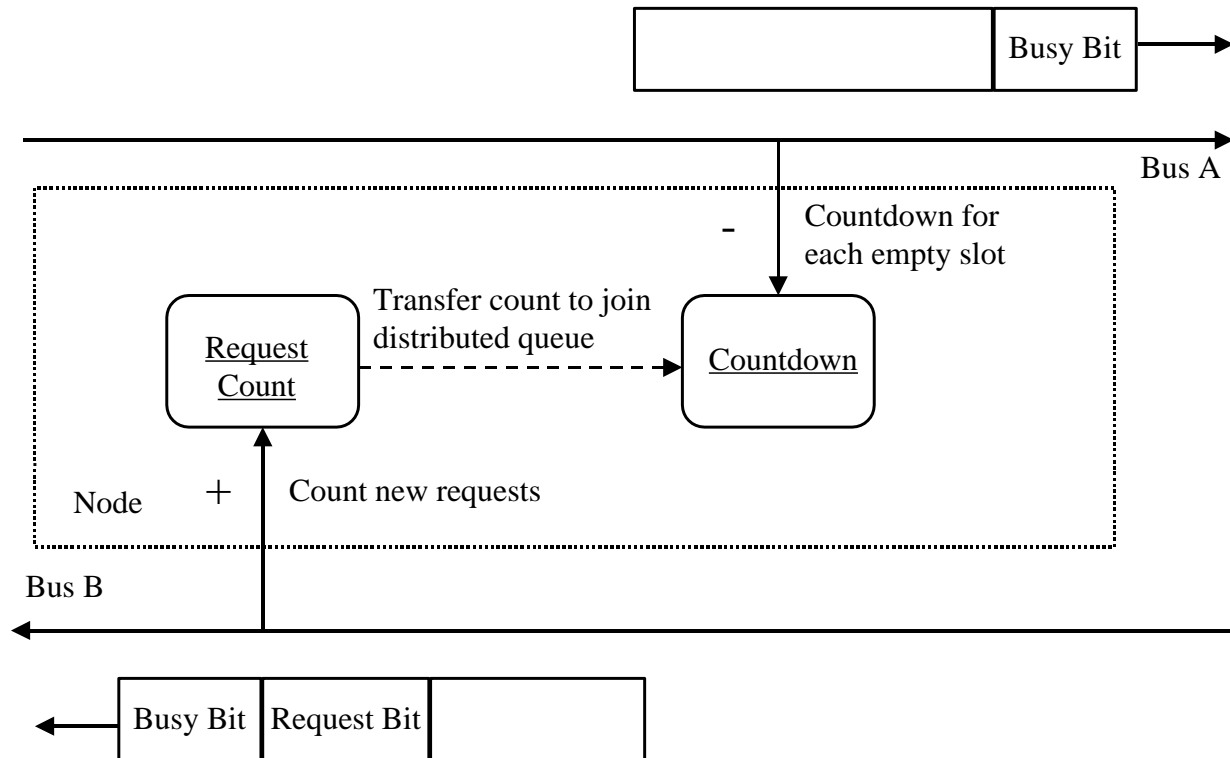
### ➤ Benutzte Zähler :

- “**Request Counter**” → Zähler für bereits reservierte, jedoch noch unerfüllte Übertragungsaufträge ANDERER Stationen (Reservierung auf Bus B für Datenübertragungen auf Bus A bzw. umgekehrt)
- “**Countdown Counter**” → Zähler zur Angabe der EIGENEN Position in der vert. Warteschlange (z.B. CD=3, d.h. 3 andere Stationen vor eigener Station sendeberechtigt auf Bus A bei Reservierung über Bus B)

- **Beispiel** für Wirkungsweise des “**Request Counters**” (RQ bzw. RC) :

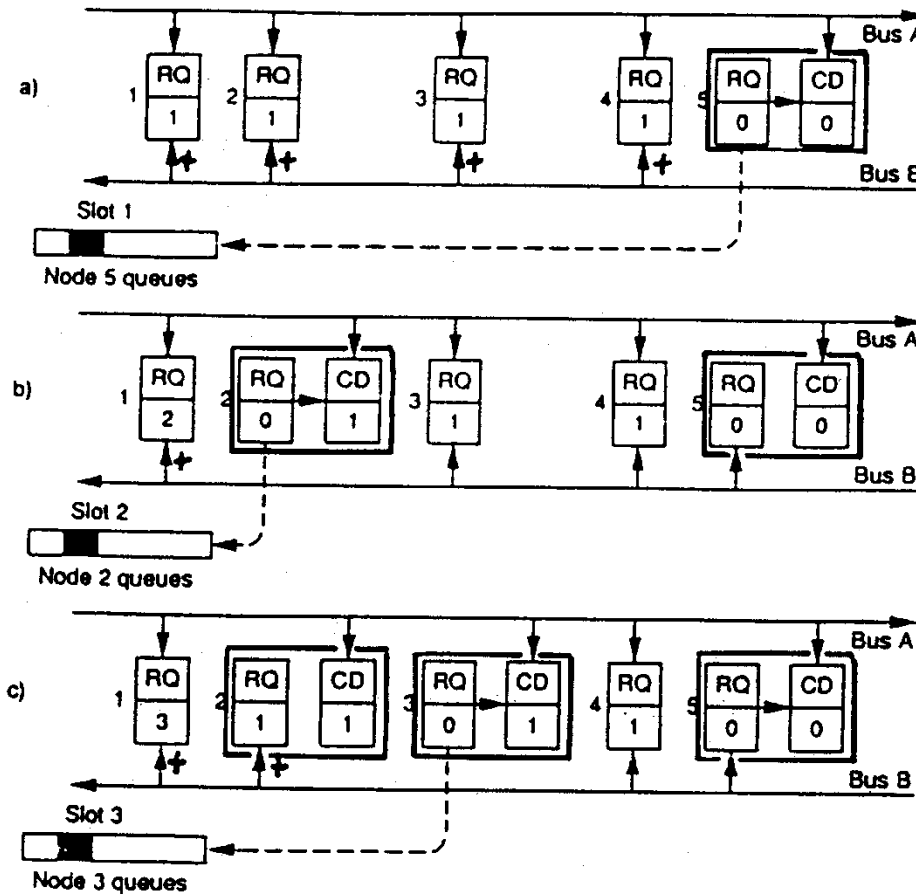


- **Beispiel** für Wirkungsweise des “Countdown Counters” (CD) :



Beispiele für die Realisierung der DQDB-Buszugriffskontrolle

a) **Reservierung von Übertragungswünschen** durch Stationen

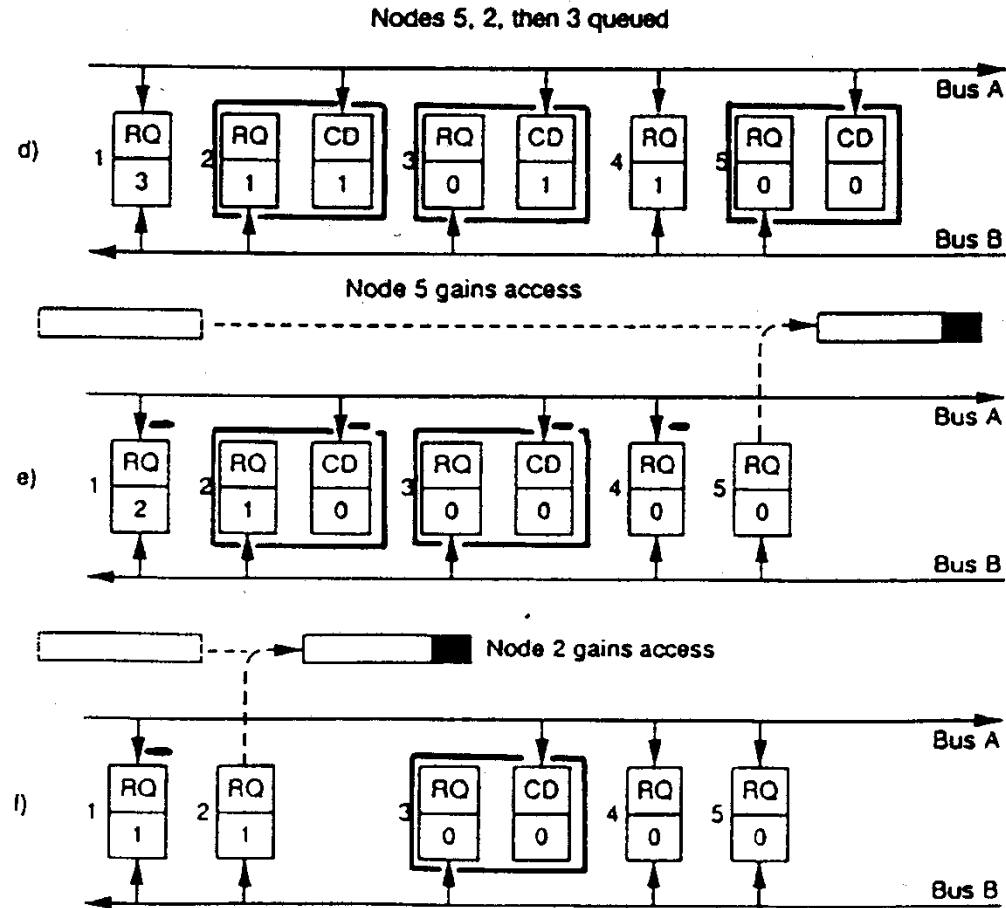


Notes:  
 CD Countdown counter  
 RQ Request counter





b) **Durchführung von Übertragungen nach Reservierung**



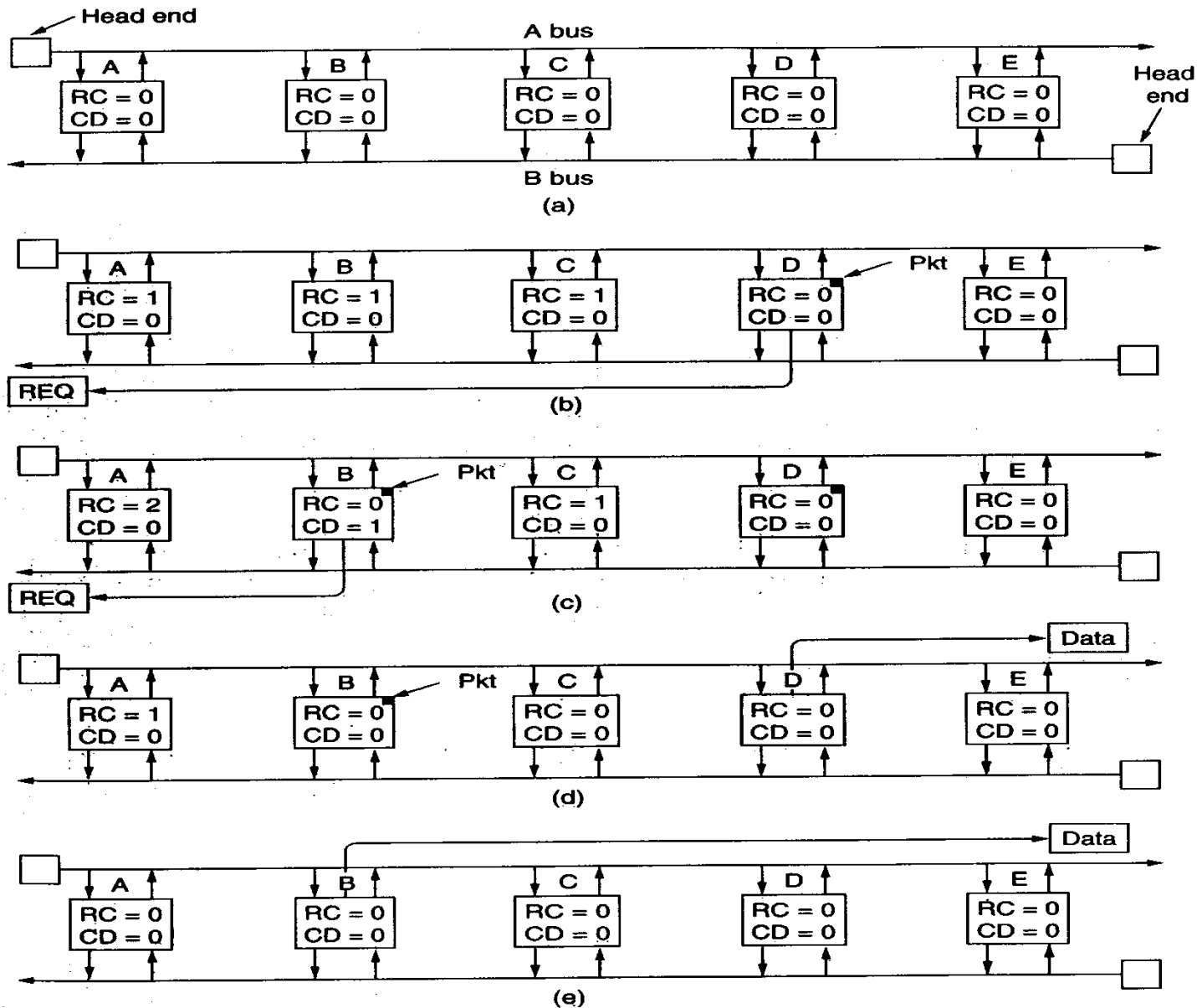
Notes:

CD Countdown counter

RQ Request counter



... und noch ein **Beispiel** für die **DODB-Zugriffskontrolle** (aus : Tanenbaum [Tan 96]) :



## 5.5 Intranets

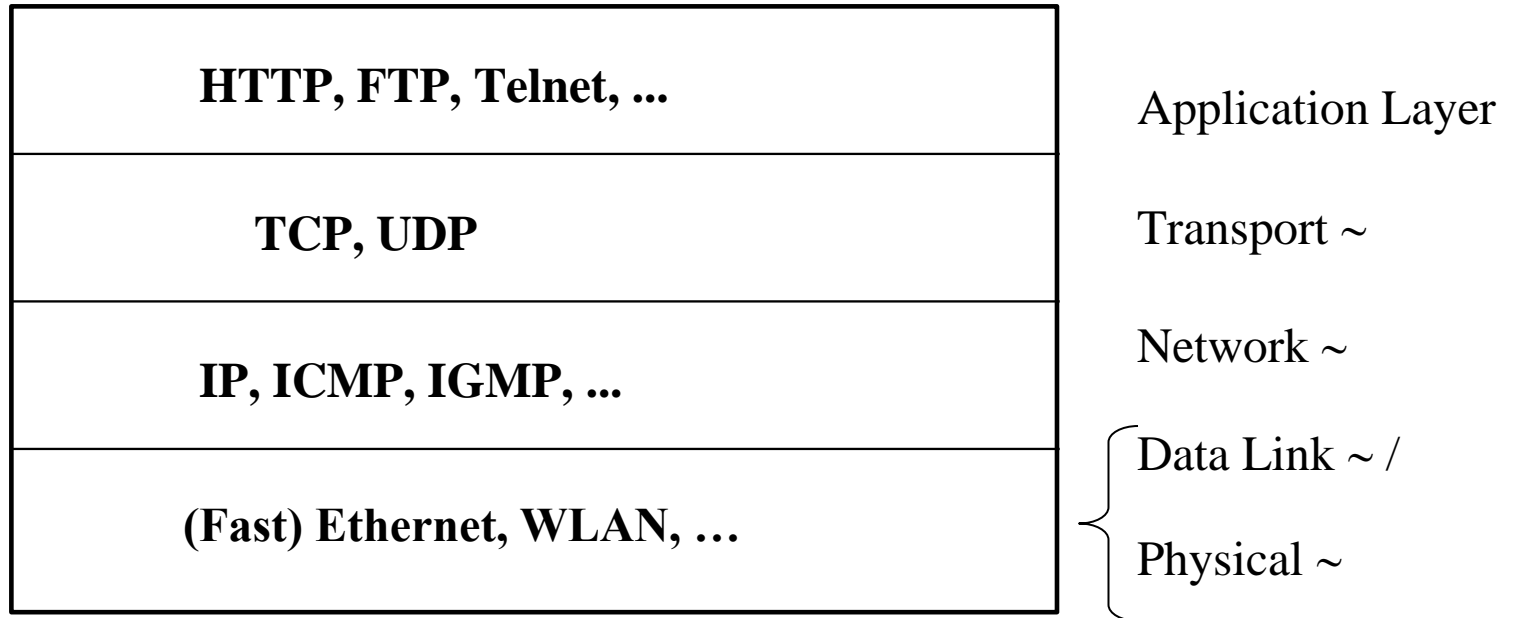
### Def. *Intranet* :

Unternehmensnetz auf Basis der (standardisierten) Internet-Protokolle und -Dienste. 

### Wesentliche Charakteristika von Intranets :

- auf TCP/IP basierend mit typischen anwendungsorientierten Diensten des Internet
- nur 1 Unternehmen als Netzbetreiber fungierend
- häufig LAN (aber nicht notwendigerweise)
- in der Regel Übergang in das globale Internet

Typische Protokollhierarchie in einem Intranet :



→ zu Protokollen vgl. *Grundlagen der Systemsoftware (GSS)*-Vorlesung  
sowie Kap. 6 und *InternetExplorativ*

## Variationsmöglichkeiten für die Protokollhierarchie in einem Intranet :

- **V1** : Flexibilität unterhalb von IP (V. Cerf : “*IP over everything*“),  
z.B. Verwendung von :
  - Ethernet (CSMA/CD), WLAN, S-ISDN, FDDI, ATM (“*IP over ATM*“) unterhalb von IP
  - darauf aufsetzend: TCP/IP-Protokollstapel (protocol stack)

→ z.T. ineffiziente oder geographisch limitierte Lösungen  
(dies stellt indes die *praxisrelevante Variante* dar)
- **V2** : Internet-Protokolle nur  $\geq$  Transportschicht
  - + anwendungsorientierte Dienste weitestgehend unverändert beizubehalten
  - nur bedingt Übergang zu MAN, WAN, GAN möglich
    - fehlende gemeinsame Basis (IP); komplexe Gateway-Lösungen benötigt; existierende TCP/UDP - Implementationen nur bedingt nutzbar  
(*keine praxisrelevante Variante* !)
- **V3** : Verzicht auf IP, TCP, UDP, aber weiterhin entspr. Transportdienstschnittstellen verfügbar, um anwendungsorientierten Dienste aufzusetzen
  - Intranet nicht “offen“; hoher Implementierungsaufwand  
(*keine praxisrelevante Variante* !)

## ➤ Gründe für die weite Verbreitung von Intranets

- ◆ stetig wachsende Bedeutung des Internet
- ◆ Internet-Technologien (insbes. auch die Internet-Protokolle und -Dienste) durch nahezu sämtliche Hersteller unterstützt
- ◆ große Akzeptanz für Internet-spezifische anwendungsorientierte Dienste, wie E-mail, WWW, FTP, ...
- ◆ Wunsch nach Öffnung des Unternehmensnetzes für Kommunikation in das / aus dem Internet
- ◆ einheitliche Plattform für internes und externes Netz

## ➤ Allgemeine Erwartungen an den Einsatz von Intranets, u.a.

- in Intranet können Internet-Dienste aufwandsarm genutzt werden
- unternehmensinterne Kommunikation ist “kompatibel“ mit weltweiter Kommunikation
  - Offenheit der eigenen Netzinfrastruktur, vereinfachte Nutzung und Wartung sowie gemeinsames Know-how für Intra- und Internet
- gut erprobte Lösungen für die Kommunikation können genutzt werden
  - Lösungen durch Mio. Benutzer und weltweit erprobt

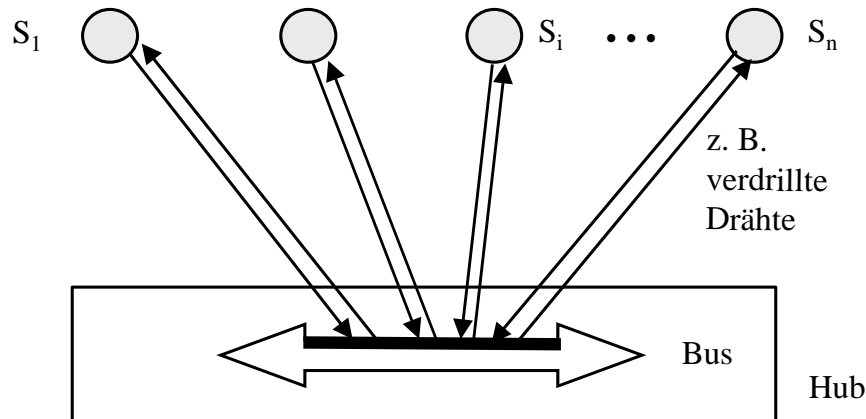
## Typische Probleme bei Kommunikationsinfrastrukturen für Intranets (und Internet) :

- IP (Version 4) stößt gegenwärtig an Grenzen, u.a.
  - Adressenengpass → IP (Version 6) bzw. IPv6, vgl. RFC 1883-1887
  - mangelhafte Unterstützung von Mobilkommunikation  
→ *Mobile IP*
- nur “best effort“-Dienste in Internet, d.h. keine Dienstgüte (QoS / Quality-of-Service)- Garantien  
→ Vorschläge für Reservierungsprotokolle wie **Resource reSerVation Protocol** (RSVP), **Classes of Service** (CoS), ...; “Router“ zu modifizieren !
- Netzsicherheit problematisch  
→ “Firewalls“, Datenverschlüsselung, “Closed Intranet“, Virtual Private Networks
- Internet-Dienste ursprünglich primär konzipiert für
  - WAN-/GAN-Kommunikation
  - Forschungsbereich
- Kombination von IP mit verbindungsorientierten Basisdiensten problematisch (z.B. wie bei “*IP over ATM*“)  
→ “best effort“-Dienste auf Basis von QoS-orientiertem Dienst :  
wieviel QoS bleibt übrig ?

## 5.6 Vermittlungsrechner in lokalen Rechnernetzen

— “Hubs” versus “Switches” versus “Routers”

➤ “Hub”:

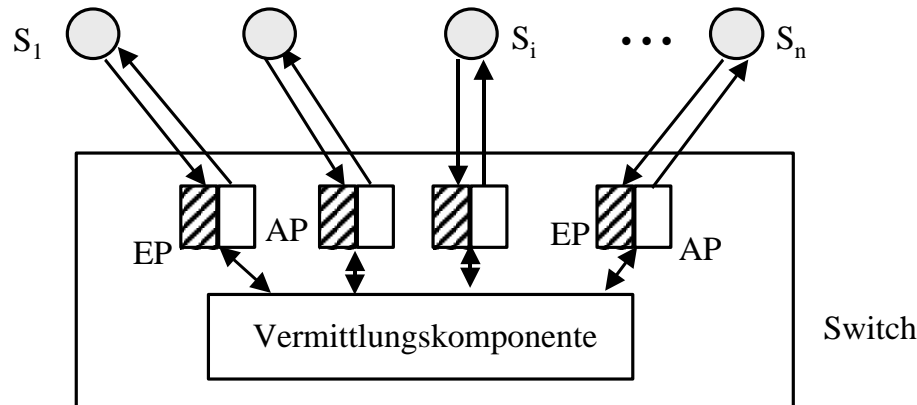


→ Merkmale :

- zwar Stern, aber Wirkungsweise (bzgl. Kollisionen) wie bei Bus  
→ *Hub*  $\approx$  *Mehrpunkt-“Repeater”*
- größter Teil der Signallaufzeit auf Ü-Wegen zwischen Stationen und Bus (und *nicht* auf Bus selbst wie z.B. bei ursprüngl. Ethernet-Lösung)
- Sendung von Station  $S_i$  erreicht alle anderen Stationen (auch bei Punkt-zu-Punkt-Übertragungen und nicht nur bei “Broadcast”)



➤ **“Switch“:**



Switch

→ Merkmale :

- Topologie weiterhin Stern, aber nunmehr Vielzahl von Kollisionen a priori vermieden
- Vermittlungskomponente leitet angekommene Daten von Eingangspuffer (EP) auf nur die betroffenen Ausgangspuffer (AP) weiter  
→ nur ein AP betroffen bei Pkt-zu-Pkt-Übertragung, jedoch alle APs betroffen bei “Broadcast“
- Notwendigkeit, Pufferüberläufe zu vermeiden
- Security-Vorteile !! (u.a. Filtern unzulässiger Sendungen)



➤ **“Router“:** → werden einem “Switch“ zusätzlich Wegeermittlungsaufgaben zugeordnet, so wird aus ihm ein ROUTER (unnötig bei Sternkonfig. !)

- Beispiele für Vermittlungsrechner (VR) in LANs :
  - Paketvermittlung, z.B. Ethernet-Switch, IP-Router, ATM-Switch
  - Leitungsvermittlung, z.B. **P(A)BX**  $\equiv$  **p**private (**a**utomatic) **b**branch **e**xchange (private Nebenstellenanlage), siehe u.a. Schmalband-ISDN-Vermittlungsrechner, vgl. Kap. 6
  
- Vorteile bei Einsatz von VR aus WAN-Bereich auch in Lokalen Netzen :
  - einfachere Netzkopplung
  - “homogene“ Protokollhierarchie zumindest ab Vermittlungsschicht
  - leistungsfähiges Equipment aus WAN-Bereich verfügbar  
(aber : evtl. ZU LEISTUNGSFÄHIG und dann i.d.R. auch ZU TEUER !)

- Wesentliche Unterschiede in Anforderungen an VR in LAN- versus WAN-Umfeld
- u.a. manche VR-Funktionen, wie Accounting-Management, *in LAN-Umfeld* nicht benötigt
  - *bei LANs* evtl. Wunsch nach Unterstützung von “**Virtuellen LANs**“ (z.B. Verkehr für eine Teilmenge von VR-Ein-/Ausgängen soll a priori ausschließlich auch nur auf diese Teilmenge von Ein-/Ausgängen ausgegeben werden → “*closed user group*“ im Sinne von kommunizierenden Stationen)
  - *bei WANs* : i.a. relativ geringe Anzahl von Nachbarknoten, die i.a. ebenfalls VR sind (Anz. i.d.R.  $< 10$ ), allerdings jeweils mit sehr großem Verkehrsaufkommen (z.B.  $\geq 1$  Gbit/s !);  
bei LANs : i.d.R. sehr viele Nachbarknoten (hier zumeist Stationen) mit jeweils eher geringem Verkehrsaufkommen (oft  $\leq 10$  Mbit/s).

# Die jahrzehnte-lange Diskussion : „**Leitungsvermittlung**“ (‘Telekom-Lager’) **oder** „**Paketvermittlung**“ (‘IT-Lager’) ???

... oder auch speziell:

**Leitungsvermittelte** versus **paketvermittelte LANs**

(insbesondere **Nebenstellenanlagen in Durchschaltetechnik** vs. **Ethernet-/Token Ring-/ATM- bzw. IP-basierte LANs**)



➤ Wesentliche Eigenschaften der **digitalen PBX** :

- Vermittlung von 64 kb/s-Kanälen → Leitungsvermittlung (vgl. Kap. 6)
- limitierte Anzahl von Anschlüssen über verdrehte Drähte; Sternkonfiguration
- max. Anzahl gleichzeitig aktiver Benutzer (“Gespräche”)
- Verbindungsaufbau: signifikante Verzögerung, evtl. Ablehnung (Verlustsystem)
- Datenaustausch:  $\approx$  konstante Verzögerung, Durchsatzgarantie (aber Durchsatzlimitierung :  $n_o \times 64$  kb/s)

## ➤ **PBXs** oder **LANs** ?

- Vorteile **PBXs** : → *“leitungsvermittelter LAN”*
  - Durchsatzgarantie pro Benutzer
  - nahezu ohne Wartezeit in Datenaustauschphase  
→ geeignet für Echtzeitanwendungen
  - zumeist in Unternehmen vorhanden, insbesondere auch Verkabelung
  - geringe Anschlusskosten pro Benutzer (im wesentl. Grundkosten für Vermittlungsknoten)
  - keine Zugriffskontrolle in Endgerät /Station
  - ausgereifte Technik
- Vorteile **LANs** : → *“paketvermittelter LAN”*
  - evtl. bessere Verfügbarkeit (i.a. nicht Stern)
  - Verbindungsaufbau entfällt nahezu
  - grundsätzlich (nahezu) ohne Durchsatzlimitierung pro Benutzer, nur Limit für Gesamtdurchsatz aller Benutzer
  - geringe Kosten für Infrastruktur des LANs
  - Leitungsvermittlungsprinzip inadäquat für Reihe von Anwendungen (z.B. transaktionsorientierte)
  - dynamische Vergabe von Ressourcen (→ Adaptivität, Komplexität)



*Prognose :*

Wer wird den Kampf gewinnen :

**„Leitungsvermittlung“ oder „Paketvermittlung“ ???**

Zahlreiche Anzeichen sprechen für einen dauerhaften Sieg der Paketvermittlung, d.h.

**The Winner is IP !**

Begründungen, u.a. :

- Traditionelle Fernsprechnetze vermehrt ersetzt durch VoIP
- Paketvermittelte Mobilnetze „im Kommen“ (z.B. LTE)
- Traditionelles Fernsehen vermehrt ersetzt durch IP-TV
- Erheblich einfachere Interkonnektion/Kopplung paketvermittelter Netze
- ... und die Datenkommunikation erfolgt ohnehin bereits seit langem paketvermittelt