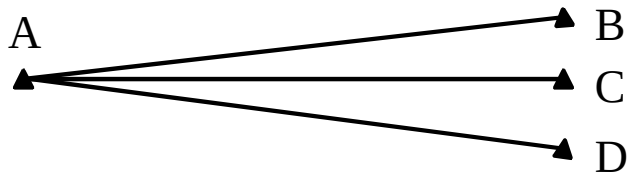
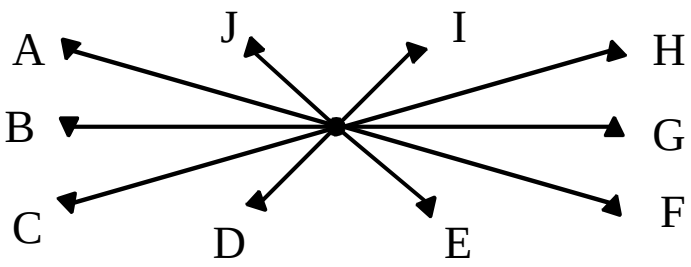
MAC Layer

L3..L7	höhere Schichten
L2	Datensicherungsschicht
MAC	**Vielfachzugriff (Medium Access)** **Prioritätssteuerung** **logisches Multiplexen** **Verkehrssteuerung (Brücken)**
L1	physikalische Schicht

Point to Point

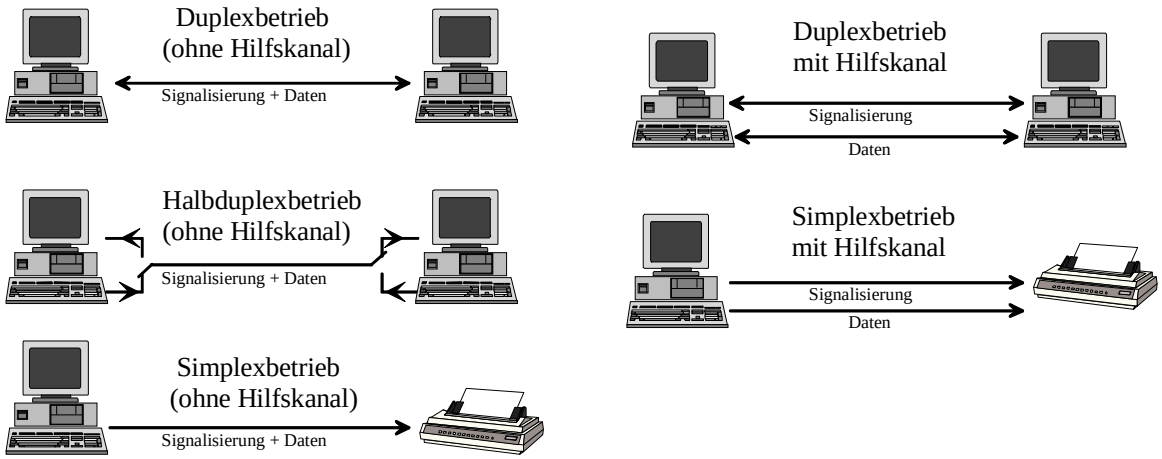


Point to Multipoint

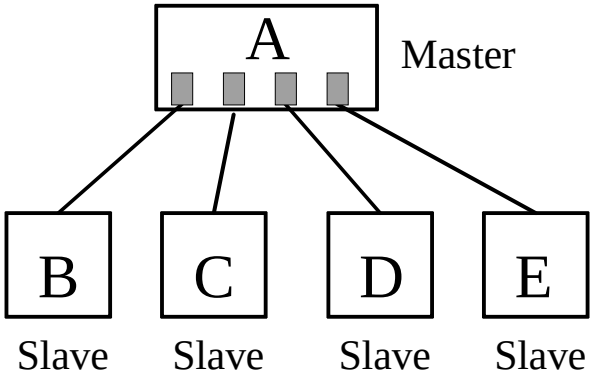


Multipoint to Multipoint

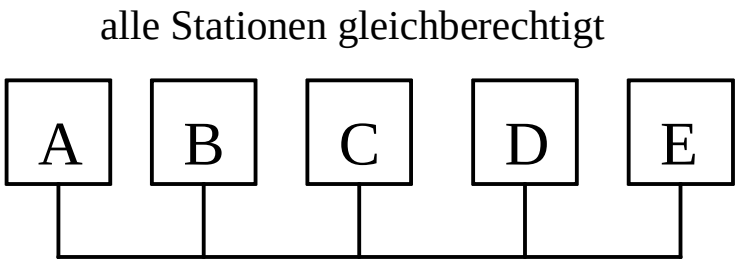
Kanalnutzungsart



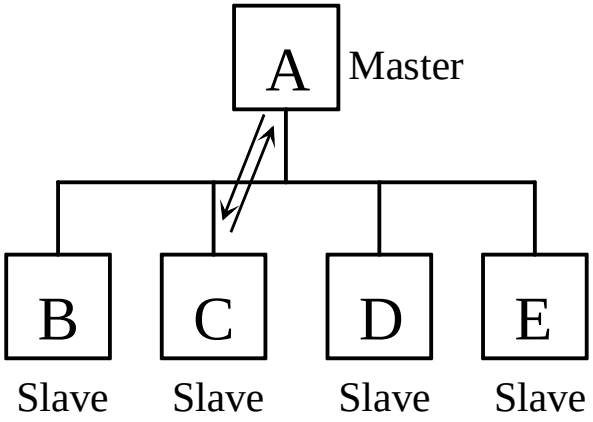
Betriebsart



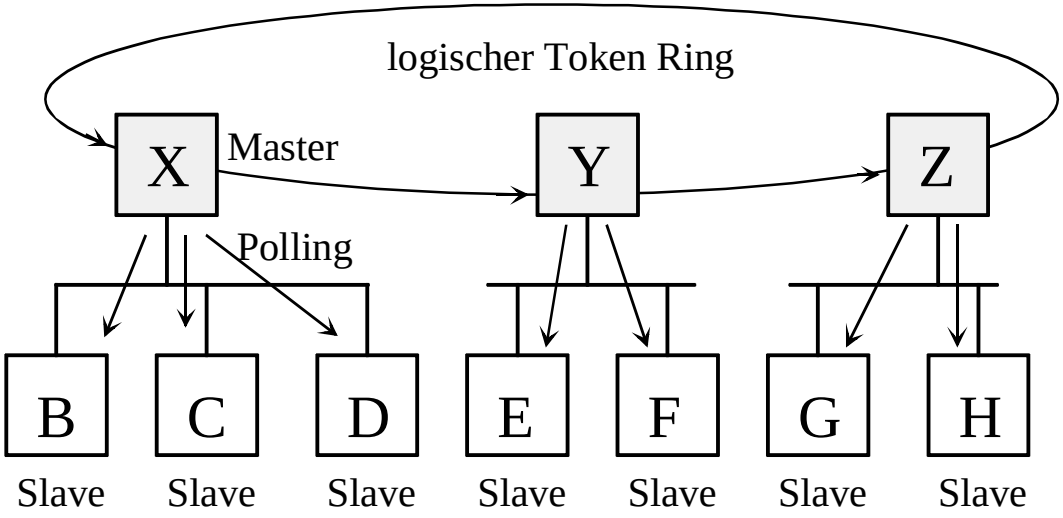
Punkt-zu-Punkt-Betrieb



Konkurenzbetrieb

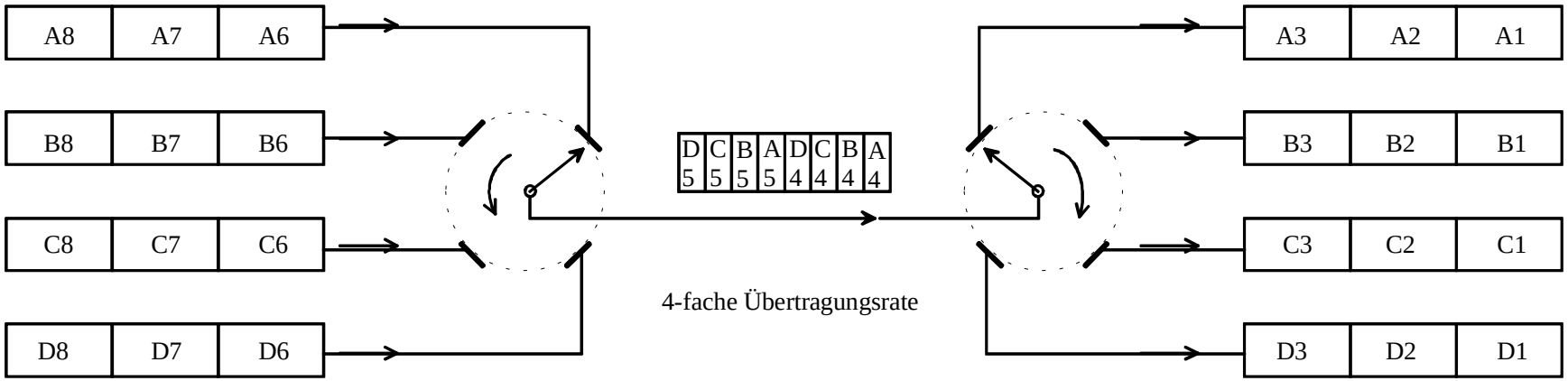


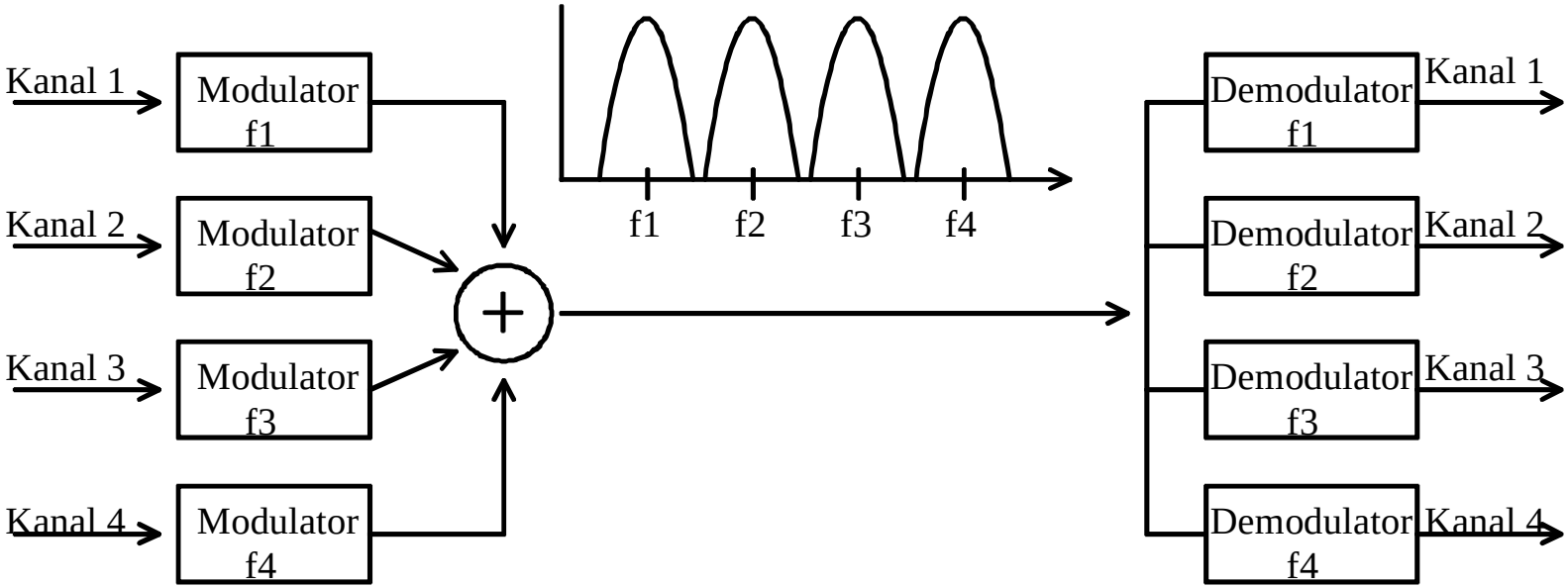
Aufrufbetrieb



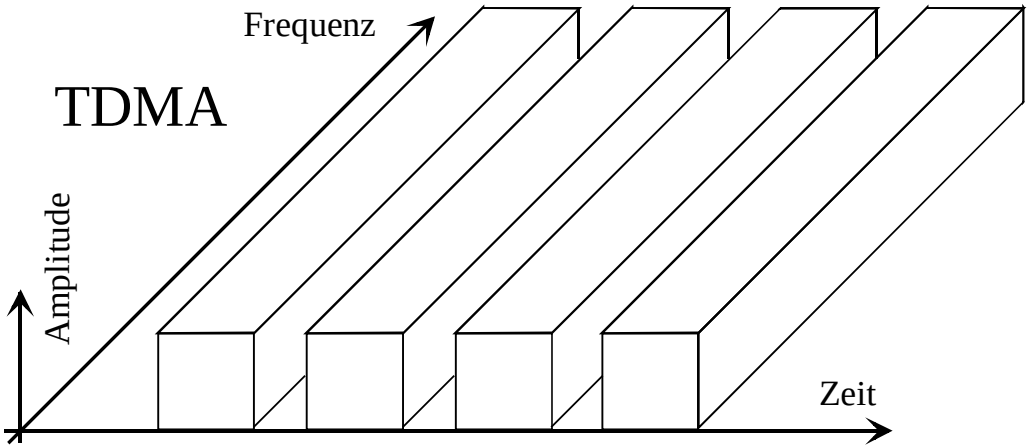
Profibus: Mischform aus Konkurenzbetrieb und Aufrufbetrieb

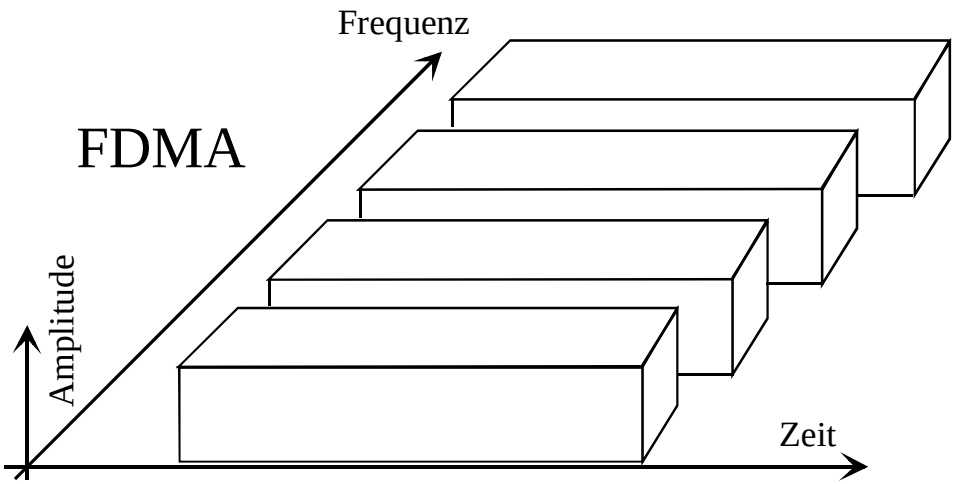
Statisches Multiplexen

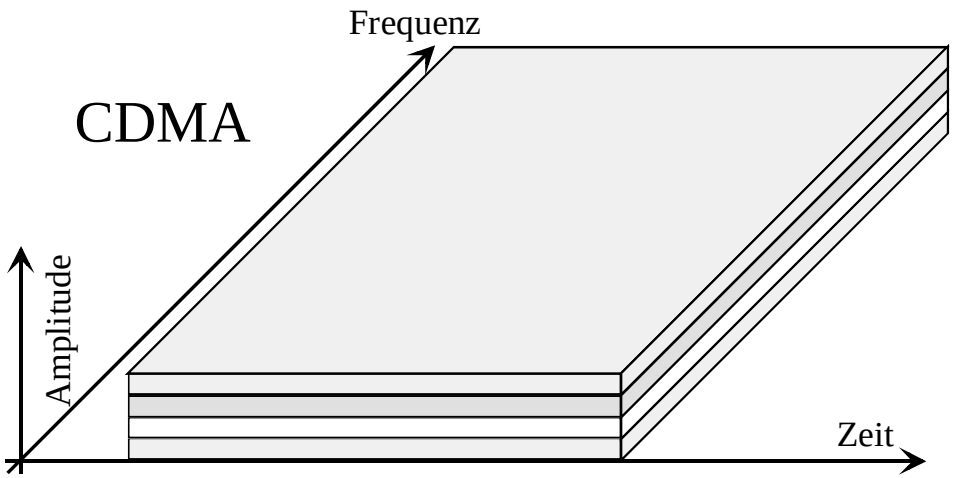




Statisches Multiplexen







Statisches/dynamisches Multiplexen

statisch: Bandbreite unter N Benutzern fest aufgeteilt, meistens in N gleichgroße Teile.

Problem: bei N Kanälen max. N Nutzer erlaubt, nicht mehr !
Leitungen sind nicht gleichmäßig ausgelastet, Leitungskapazität wird verschwendet.

Wartezeit bei dynamischem Multiplexen

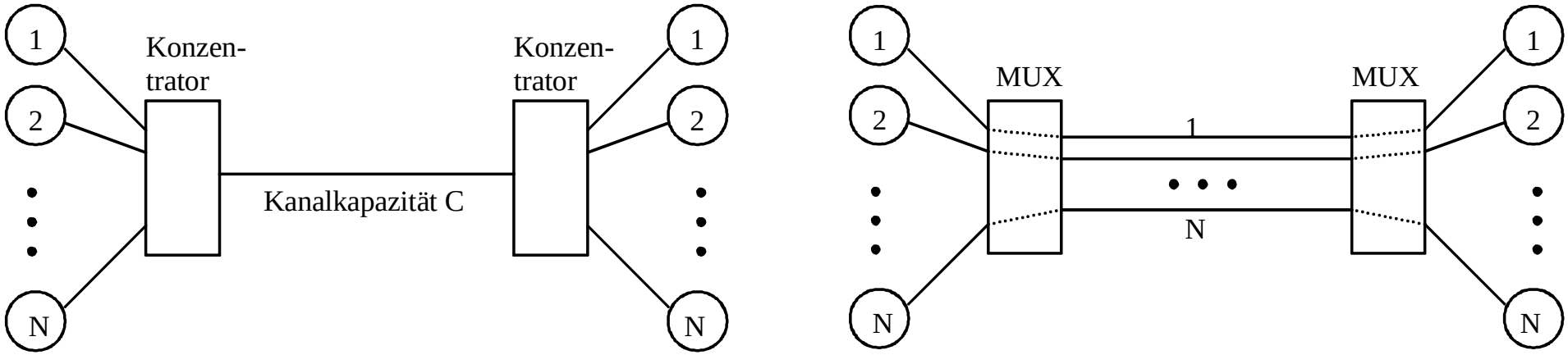
$$T_{dyn} = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

$1/\mu$ = mittlere Rahmenlänge [Bits pro Rahmen]
C = Kanalkapazität der gesamten Leitung
λ = Ankunftsrate [Rahmen pro Sekunde]

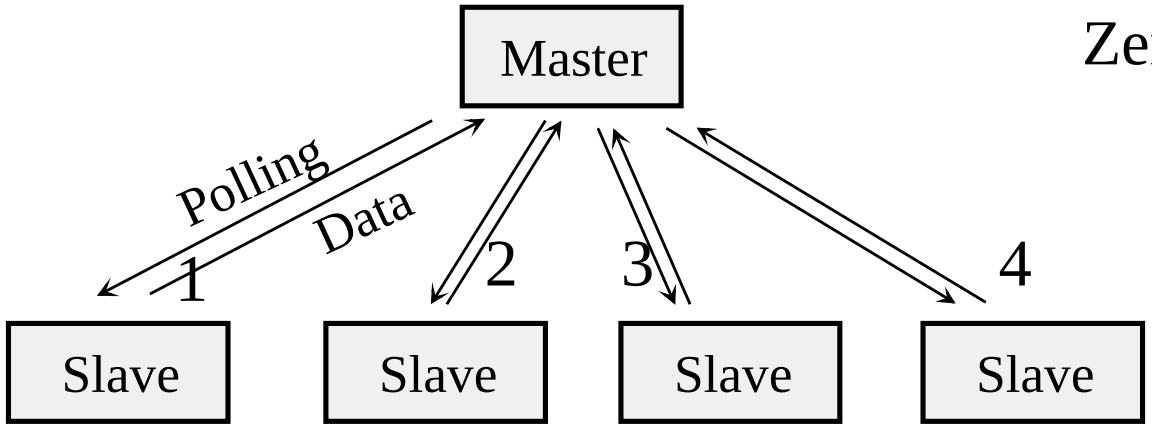
die Kanalkapazität C wird in N Teile unterteilt, die Ankunftsrate ist λ / N.

Wartezeit bei statischem Multiplexen

$$T_{MUX} = \frac{1}{\mu (C/N) - \lambda / N} = \frac{N}{\mu C - \lambda} = N T_{dyn}$$



Zentrale Kanalzuteilung: Polling



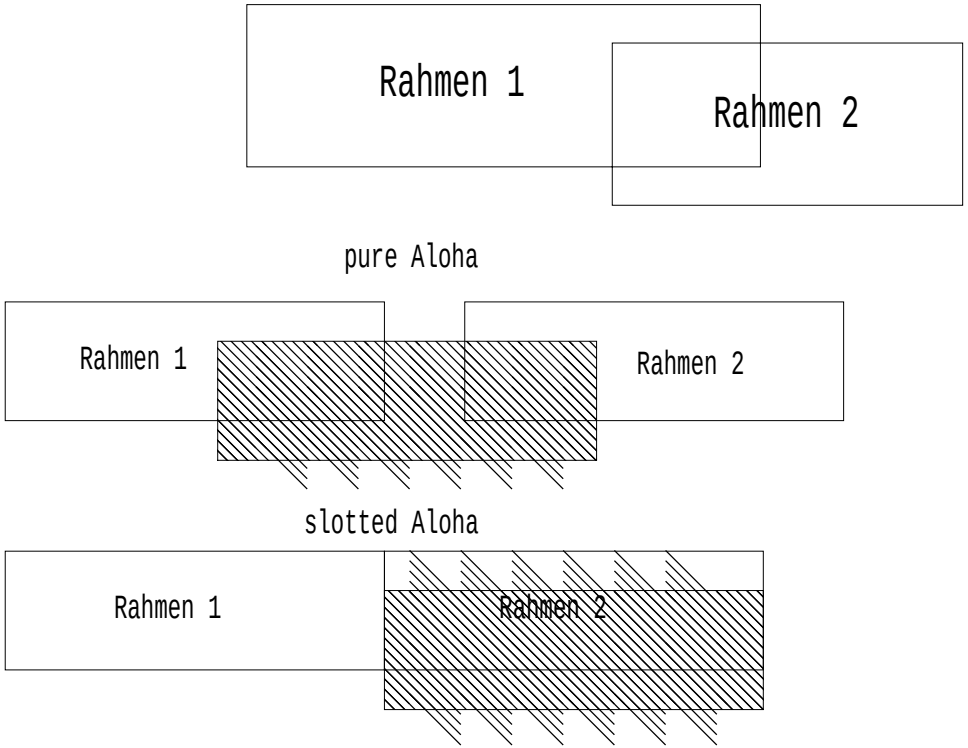
Dezentrale Kanalzuteilung

pure ALOHA: Universität Hawai 1970

$$S_{pure} = G\,e^{-2G}$$

Slotted ALOHA

$$S_{slotted} = G\,e^{-G}$$



Random Access

1-persistent CSMA:

```
REPEATE
    IF Kanal frei   THEN    sende Daten;
UNTIL Daten gesendet;
```

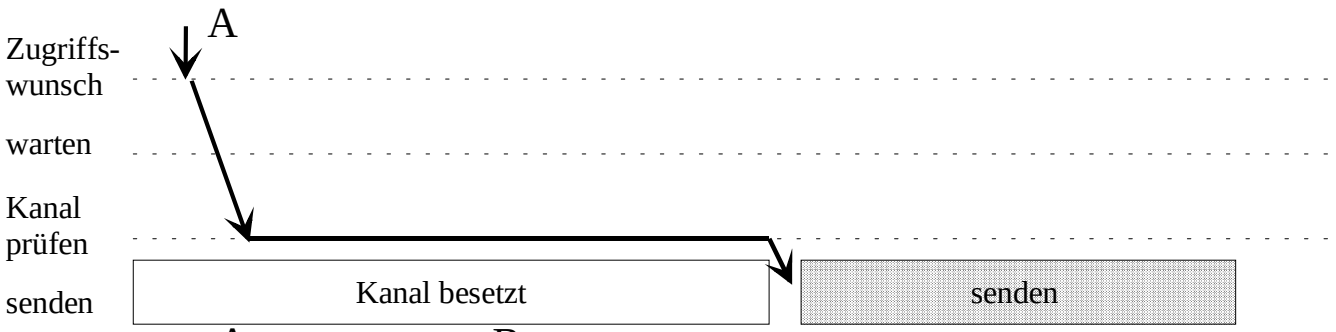
persistent oder 1-persistent CSMA: die Station hört den Kanal beharrlich ab.

non-persistent CSMA

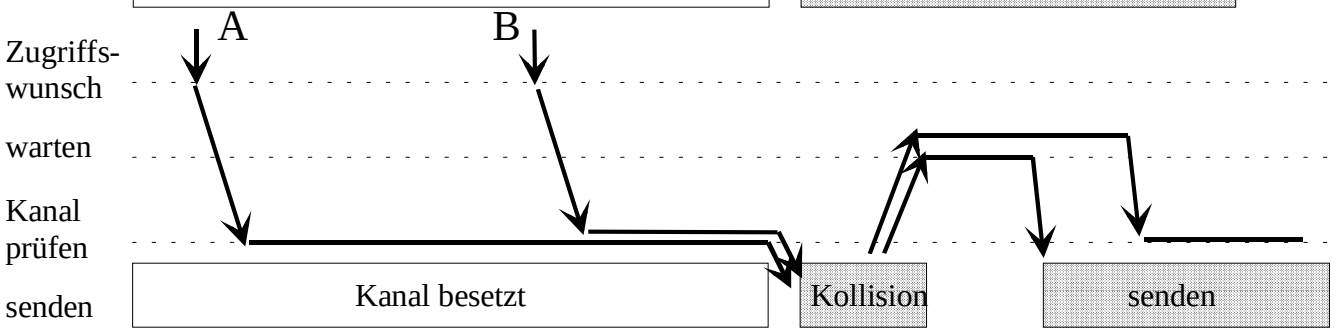
```
REPEATE
    IF Kanal frei THEN      sende Daten;
            ELSE        DELAY(Zufallszeit);
UNTIL Daten gesendet;
```

p-persistent CSMA

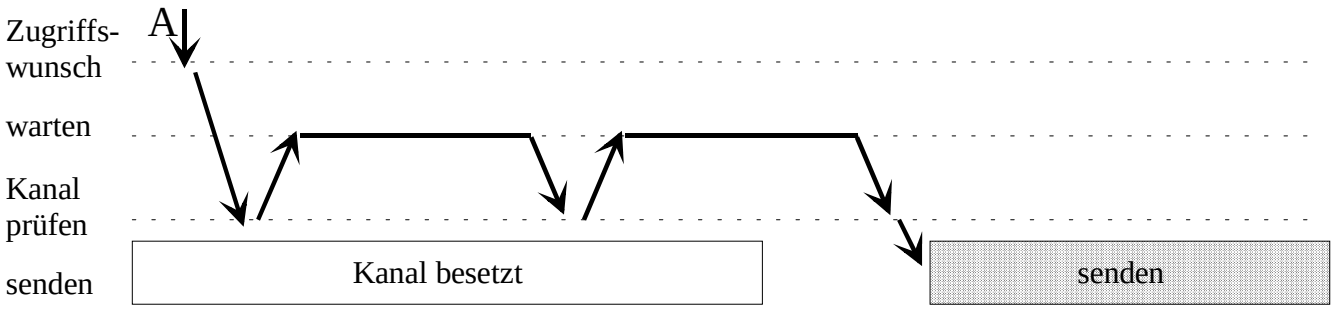
```
REPEATE
IF Kanal frei
  THEN   BEGIN
            RANDOM(x);
            IF x < p   THEN  sende Daten;
         END
   ELSE   DELAY(feste Zeit);
UNTIL Daten gesendet;
```



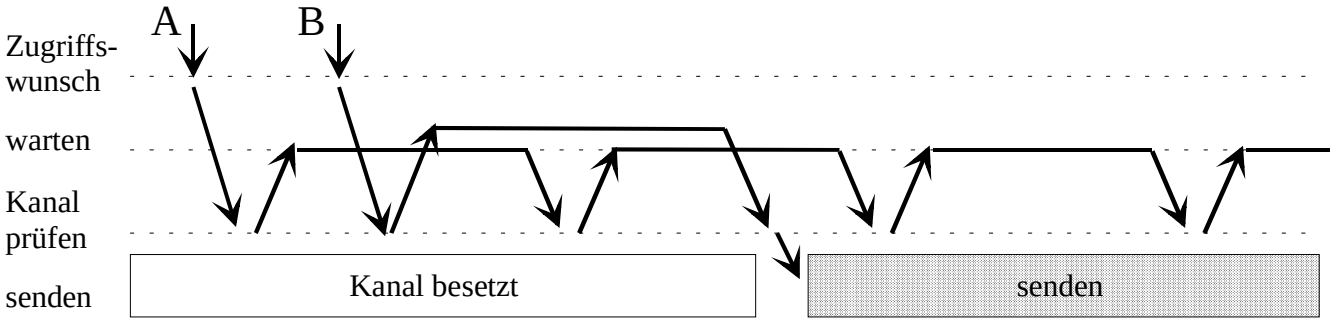
Persistent CSMA



Persistent CSMA

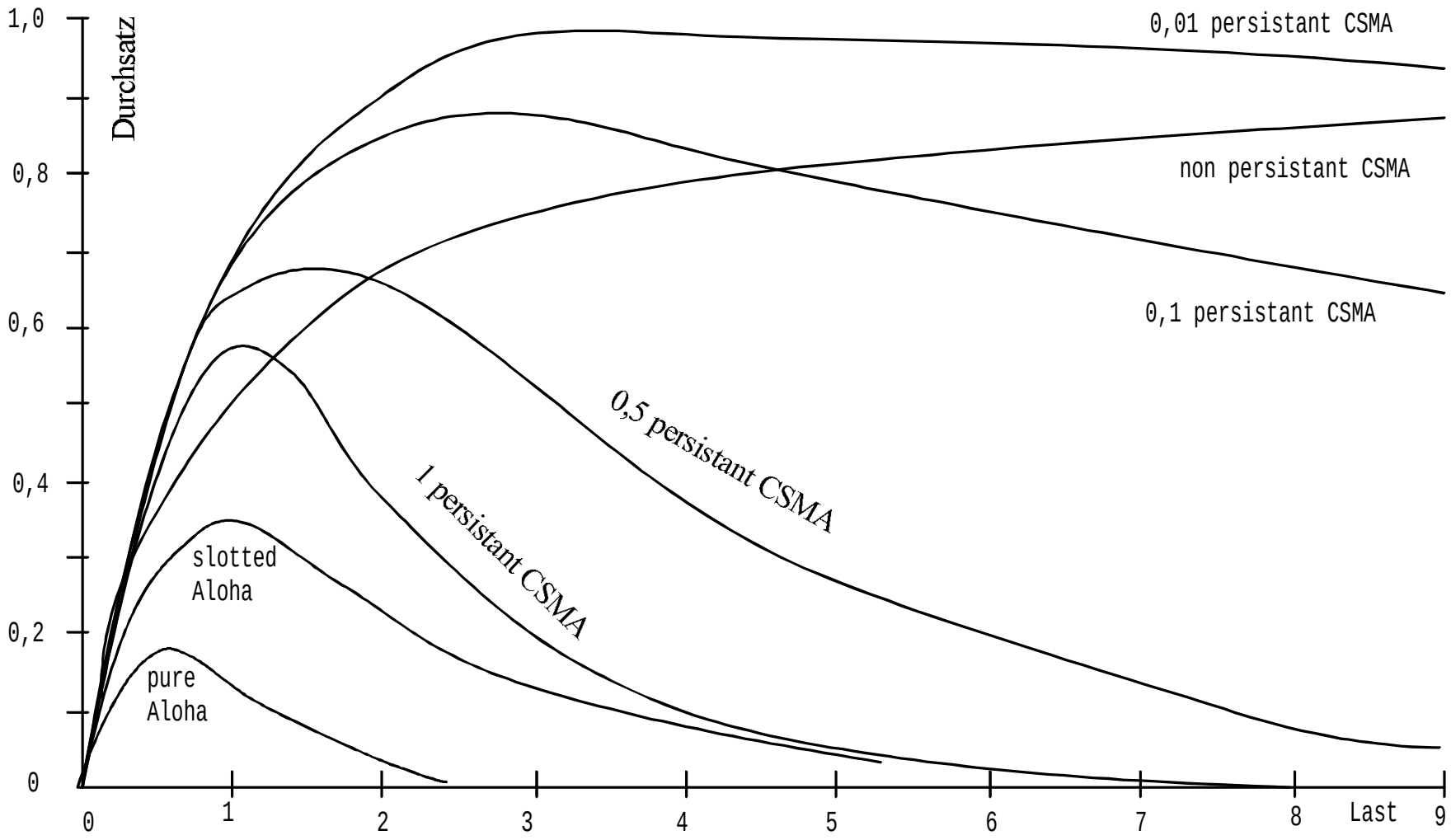


Non-persistent CSMA

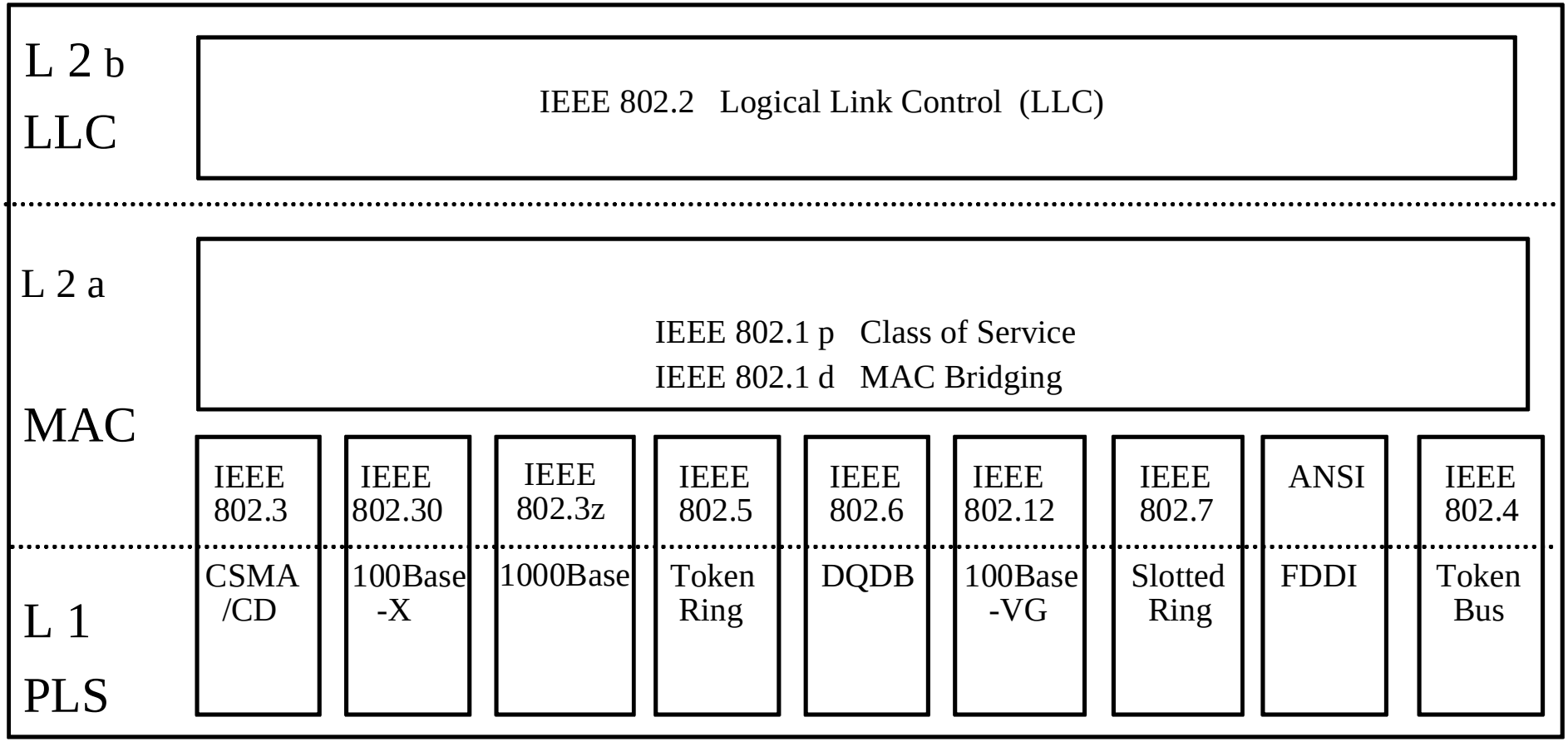


Non-persistent CSMA

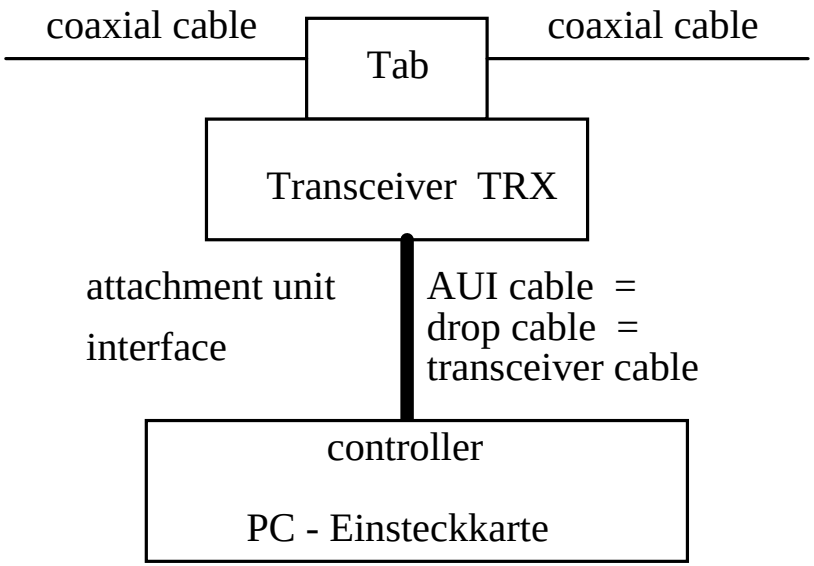
Random Access Performance

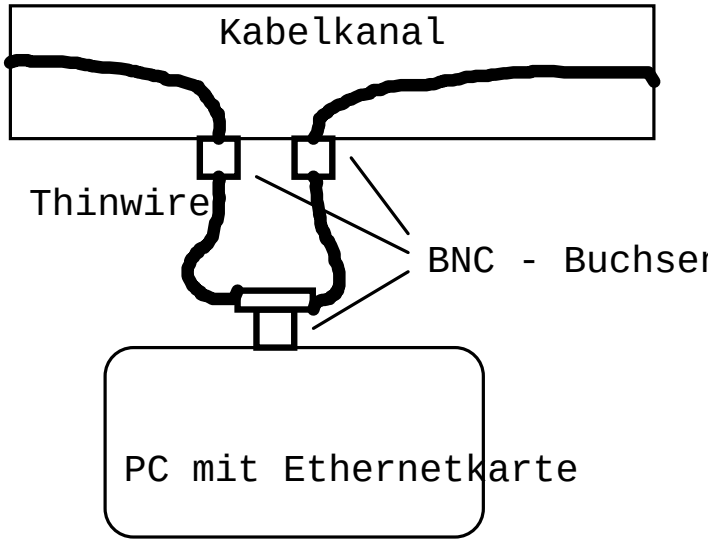


MAC Layer Protocols



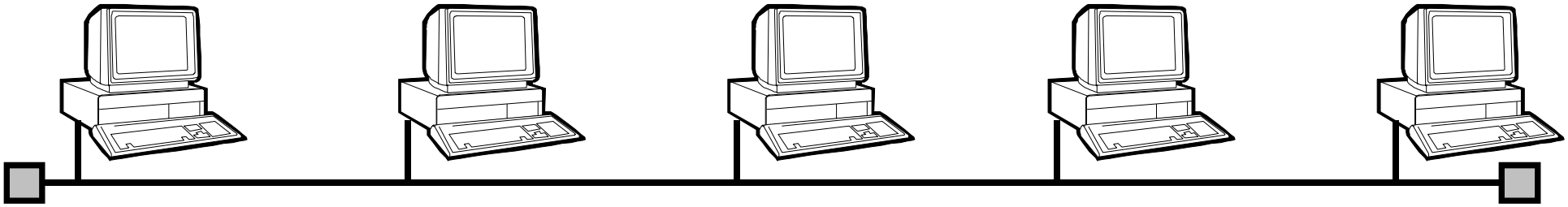
Ethernet



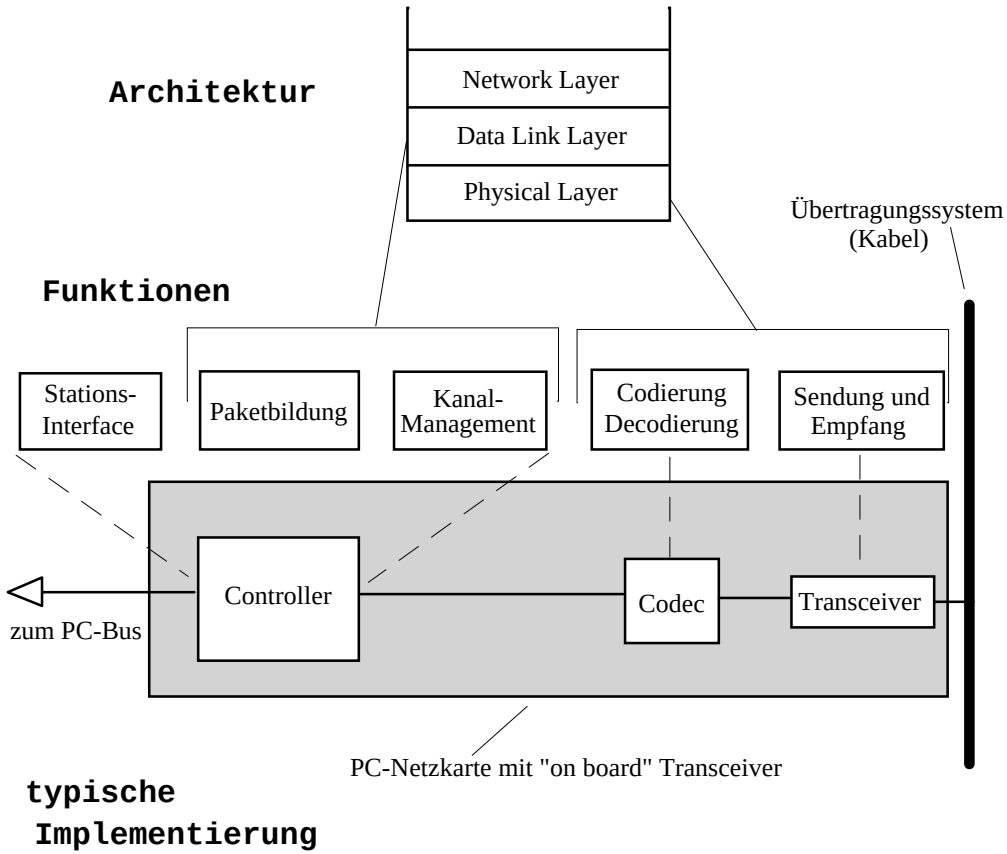


RJ45	10Base-T
PIN	Signal
1	Tx +
2	Tx –
3	Rx +
4	
5	
6	Rx –
7	
8	

Am Hub sind Tx und Rx vertauscht



Architektur der Netzwerkkarte



Anschlüsse für Ethernet:

AUI (Transceiver TRX außerhalb)

BNC (für Koax, z.B. RG58)

RJ45 (für twisted pair, 10/100 Mb/s)

10 Base 5, 10 Base 2 : Physikalische Schicht

Repeater: Zwischen 2 beliebigen Stationen dürfen **max. 4 Repeater** eingeschaltet werden.

Delay Das Round-Trip-auf der längsten **Transceiver**kabelstrecke darf max. **3,08 µs** betragen.
Die Laufzeit zwischen zwei Transceivern auf der **Koax**-Strecke darf max. **13 µs** Round-Trip betragen (1500m bei Signalausbreitungsgeschwindigkeit von 0,77c).
Die max. Signalrundlaufzeit auf einem **Link**segment (zwischen Remote-Repeatern) darf **10,26 µs** betragen (1000m).
Die max. Signalrundlaufzeit zwischen zwei beliebigen **Controllern** darf max. **45 µs** betragen.

10 BASE 5: Yellow Cable RG8A: 50Ω; 0,77c; 8,5dB auf 500m bei 10 Mhz = Max. Länge
max 100 MAU pro Segment, 2,5m Abstand;

10 BASE 2: Cheapernet: 50Ω; 0,65c; 8,5dB auf 185m bei 10 MHz; max 32 MAU pro Segment, 0,5m Abstand;
Anschluß einer Station ohne externen Transceiver. Der Transceiver ist in die Steckkarte im PC eingebaut.

10 BASE T : Twisted Pair: 100Ω; sternförmige Verkabelung; max. 100 m

Channel Encoding (Coax cable): **Manchester Coding**; 50% duty cycle

MAC Layer Protocol

MAC - Sendefunktionen : MAC-Felder im Übertragungsrahmen ausfüllen;

Daten verzögern wenn Medium belegt ist (carrier sense)

interframe-spacing beachten (Zeit zwischen den Rahmen, min. 9,6 max.10,6 µs)

Übertragung stoppen wenn Kollision erkannt ist (collision detection) Backoff durchführen (BEB)

MAC - Empfangsfunktionen : empfängt bit-seriellen Datenstrom von der physikalischen Ebene

prüft FCS und Frame-Länge; unterstützt Kollisionserkennung durch senden der JAM-Nachricht

Service Primitives (LLC/MAC-Schnittstelle):

MA-UNITDATA.request: (Quelladresse, Zieladresse, Daten, Priorität, Dienstklasse).

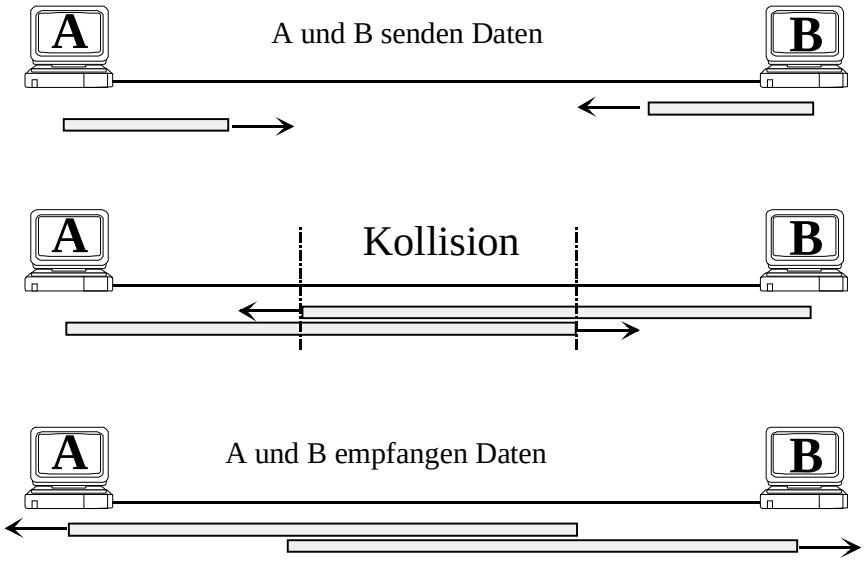
MA-UNITDATA.indication (Zieladresse, Quelladresse, Empfangsstatus, Priorität, Dienstklasse).

MA-UNITDATA-STATUS.indication (Ziel-, Quelladresse, Übertragungsstatus, Priorität, Dienstklasse).

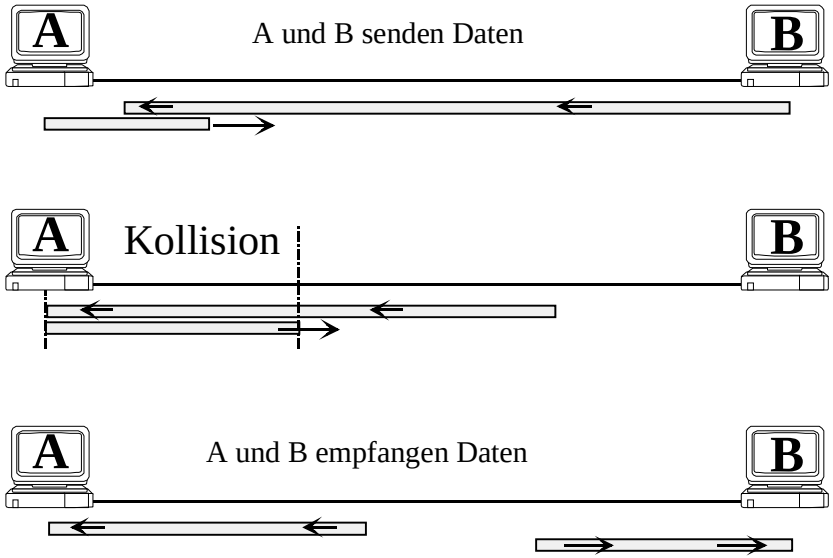
Zugriffsalgorithmus 1-persistent CSMA/CD : **c**arrier-**s**ense-**m**ultiple-**a**ccess with **c**ollision **d**etection

carrier-sense = Soll ein Datenpaket gesendet werden, prüft der Ethernet-Controller, ob das Medium belegt ist. Ist das Medium belegt (Carrier Signal On), dann verzögert der Controller das Senden des Datenpaketes so lange, bis es frei ist und wartet zusätzlich noch 9,6...10,6 µs (Interframe Spacing, Interframe Gap, Controller-Recovery-Time).

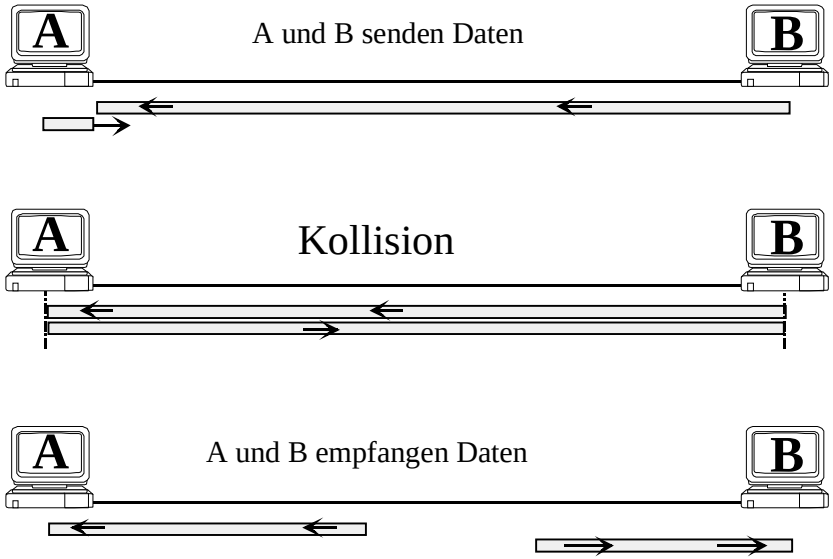
Kollision Detection



1: A und B erkennen Kollision nicht, aber Stationen in der Mitte



2: A erkennt Kollision, B nicht



3: A und B erkennen Kollision

Damit alle Stationen die Kollision erkennen,
muß die Meldung mindestens so lange dauern wie die
round_trip_propagation.

Maximum round_trip_propagation (450 Bit = 45 µs; IEEE)

➔ min. Meldungslänge = 512 Bits (64 bytes)

Segmentgröße

Maximum round_trip_propagation nach IEEE Spezifikation (10 Mb/s)	45 µs
Verarbeitungszeit in Netzwerkkarte und Repeatern	20 µs
Sicherheitszuschlag	5 µs
Verbleibende Zeit für die Signalausbreitung auf der Leitung (10 Mb/s)	20 µs
Signalausbreitungsgeschwindigkeit auf der Leitung: 200.000 km /s =	200 m/µs

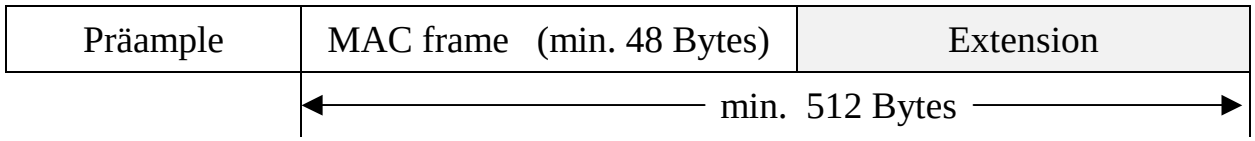
Max. Entfernung zwischen zwei Stationen bei 10 Mb/s 10 µs * 200 m/µs = 2.000 m

Max. Entfernung zwischen zwei Stationen bei 100 Mb/s 1 µs * 200 m/µs = 200 m

Max. Entfernung zwischen zwei Stationen wäre bei 1 Gb/s 0,1 µs * 200 m/µs = 20 m

größere Entfernung bei Gigabit-Ethernet durch Extension-bits; ➔ kleinster Rrahmen 4096 Bits (512 bytes)

Gigabit-Ethernet Frame:



Vollduplex: Extension ist nicht nötig, da Kollisionen nicht auftreten können.

Halbduplex: kurze Pakete können zu einem längernen gruppiert werden: **Packet Bursting**
max. Paketgröße bei packet bursting ist 8.192 Bytes (burst limit)

MAC Layer Protocol

1-persistent = Eine sendewillige Station beginnt mit der Übertragung sobald der Kanal frei ist.

collision detection Zum Senden überprüft der Transceiver, ob es zu einer Kollision mit anderen Nachrichten auf dem Medium gekommen ist (listen while talking). In diesem Fall signalisiert der *Transceiver* die Kollision auf der Kollisionsleitung (AUI) an den Controller, der die Sendung sofort abbricht oder ein *JAM-Signal* mit mind. 32 Bits, höchstens jedoch 48 Bits sendet.

Backoff-Verfahren Nach einer Kollision wartet die Station ein n-faches der *Slot-Time* 51,2 µs (= 64 Bytes bei 10 MBb/s). Die Wartezeit n * 51,2 µs wird durch das *'Truncated Binary Exponential Backoff'*-Verfahren ermittelt.
n ist eine Zufallszahl mit $\mathbf{0 \leq n < 2^k}$. Die Bereichsgröße 2^k hängt von der Anzahl der Übertragungsversuche k ab, wobei k jedoch auf den Wert 10 beschränkt ist: k = min (m, 10). n_{max} ist also 1, 2, 4, ...,1024, 1024.
Nach 15 gescheiderten Wiederholungen bricht der *Controller* ab.

Collision filtering: Jedes Paket kleiner als 64 bytes (512 Bits) wird als *'collision fragment'* betrachtet und ignoriert.

Jam-Signal: Wenn eine sendende Station eine Kollision entdeckt, so sendet sie das *Jam-Signal*, um sicherzustellen, daß alle Stationen über die Kollisionssituation informiert sind (32...48 Bits Zufallssignal).

Slot time: 512 Bitzeiten = 51,2 µs ; Ist die Zeiteinheit, die Kollisionen kontrolliert (vgl. *back-off* Verfahren) und die maximale Zeitdauer eines Datenfragmentes nach einer Kollision. Sie muß größer sein als die Summe aus *round_trip_propagation* (450 Bit = 45 µs) und *jam_signal* (48 Bitzeiten = 4,8 µs).

Netzwerk – Protokoll : Ethernet 802.3

1. Generation: Es wurde nur eine Protokollfamilie (TCP/IP, IPX/ SPX) unterstützt. heute nur noch bei Novell eingesetzt
Service Access Point SAP für MAC nicht erforderlich. LLC nicht vorhanden

total length: 64 ... 1518 bytes

Preamble	Dest. Address	Source Addr.	Length	Data + Padding	CRC
8 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	46 ... 1500 Bytes	4 Bytes

Ethernet 802.3 Frame

IPX Header	SPX Header	Data

Ethernet packet size (ohne Präambel = 8 Bytes) : max **1518** byte = 18 MAC + 1500 data min **64** bytes = 18 MAC + 46 data

Bei der Konfiguration: MTU (Maximum Transmission Unit) auf 1518 Bytes setzen

Preamble : 7 Bytes '10101010' + 1 Byte '10101011' ; zur Bit- und Rahmensynchronisation

Destination Address: 6 Bytes (früher auch 2 Bytes) Adresse des Empfängers..
Bit 1 '0': Adresse einer einzelnen Station (individuelle Adresse)
'1': Multicast - Adresse, alles Einsen '11..1': broadcast address
Bits 2 bis 24 beinhalten verschlüsselt den Hersteller der Netzwerkkarte.
Bits 25 bis 48 Seriennummer der Netzwerkkartenproduktion

Source Address: 6 Bytes (früher auch 2 Bytes) Adresse des Absenders; ist immer individuelle Adresse = Kartenadresse

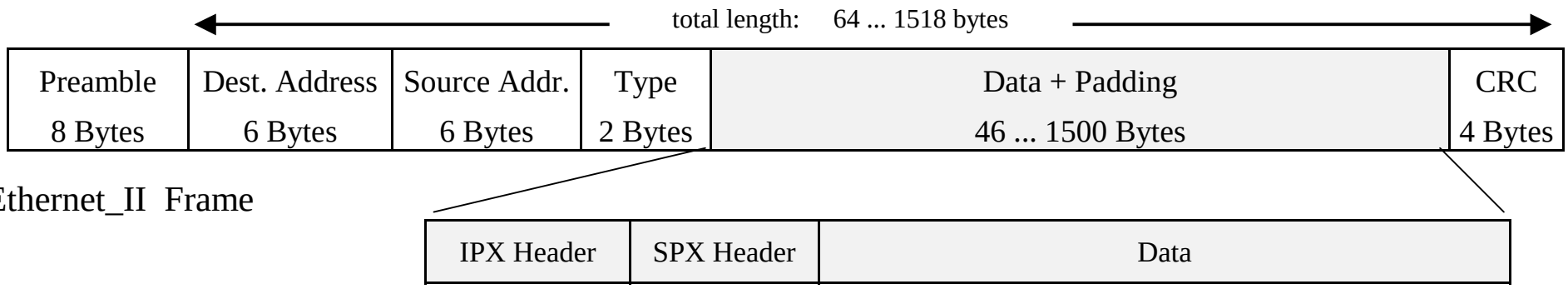
Data Field: Datenfeld mit 46..1500 Bytes. Minimale Länge von 46 zur Unterscheidung von Kollisionsresten

Padding Bits: Wenn das Datenfeld kleiner als 46 Bytes ist, dann wird es mit padding bits auf 46 Bytes aufgefüllt.

CRC: x32 +x26 +x23 +x22 +x16 +x12 +x11 +x10 +x8 +x7 +x5 +x4 +x2 +x +1; Prüfung schließt Preample nicht ein.

Hersteller	S & Koch	Intel	3Com	HP	Novell	Sun	DEC	IBM
Adresse	00 00 5A	00 AA 00	08 00 02	08 00 09	08 00 14	08 00 20	08 00 2B	08 00 5A

Netzwerk – Protokoll : Ethernet_II



Ethernet_II Frame

Längenindikator des 802.3 frames wird durch **Type_field** ersetzt

Ethernet_II Frame unterstützt mit dem type_field mehrere Protokollfamilien

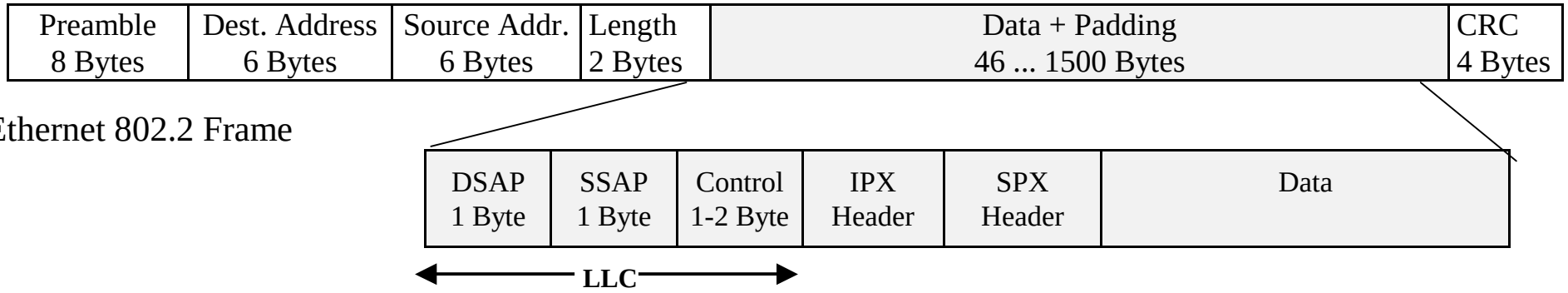
Service Access Point SAP für MAC ist das type_field.

LLC ist nicht vorhanden

Protocol type	Ident.-No. (type field)
IP	0x 08 00
X.25 Level 3	0x 08 05
ARP	0x 08 06
Reverse ARP	0x 80 35
IPX	0x 81 37
Apple Talk	0x 80 98
DECnet	0x 60 01
DEC LAT	0x 60 04

Netzwerk – Protokoll : Ethernet 802.2

2. Generation: LLC wird spezifiziert: getrennte SAPs für Sender (Source-SAP) und Empfänger (Destination SAP) möglich.
Mehrere Protokolle (TCP/IP, IPX/ SPX) werden unterstützt.
Service Access Point SAP für MAC nicht erforderlich



Ethernet 802.2 Frame

DSAP Format

IG	UR	Destination SAP
1 bit	1 bit	6 bit

SSAP Format

CR	UR	Source SAP
1 bit	1 bit	6 bit

Mögliche Werte für DSAP (Destination Service Access Point) und SSAP (Source Service Access Point) (hexadezimal)

00	Null-SAP (kein SAP vorhanden; unterstützt verbindungslosen Datentransfer)
04	SNA-Pathcontrol (Standard-SAP-Adresse für SNA-Knoten)
06	DoD-IP-Protokoll (es folgt ein IP-Protokoll)
4E	EIA RS 511
AA	SNAP-Frame (es folgt ein SNAP-Header)
E0	NetWare-SNAP (es folgen NetWare-IPX/SPX-Protokolle)
F0	NetBIOS (SAP für LLC-Verbindungen mittels NetBIOS)
F4	LAN-Managementfunktionen auf LLC-Ebene
FE	ISO-Netzwerkschicht

Netzwerk – Protokoll : Ethernet SNAP

SNAP SubNet Access Protocol

Preamble	Dest. Address	Source Addr.	Length	Data + Padding	CRC
8 Bytes	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	46 ... 1500 Bytes	4 Bytes

Ethernet SNAP Frame

DSAP 1 Byte	SSAP 1 Byte	Control 1-2Byte	Organisation Code	Ethernet Type	IPX Header	SPX Header	Data

← **LLC** → ← SNAP →

DSAP und SSAP haben immer den Wert AA Hex oder E0 Hex (bei Novell).

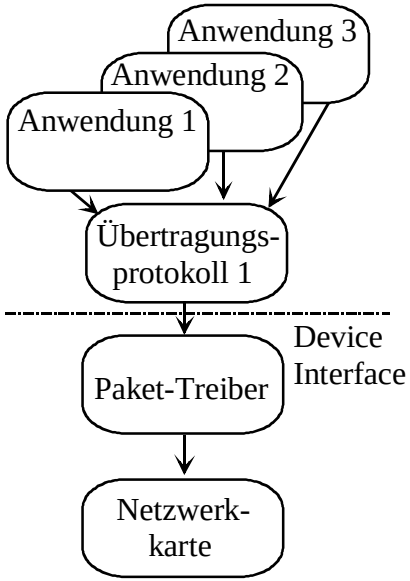
Control die Übertragung erfolgt mit UI-frames (unnumbered information).

Organisation Code Beschreibt Netzwerktyp, auf dem das Paket transportiert wird (z.B. Token-ring, FDDI, ..)

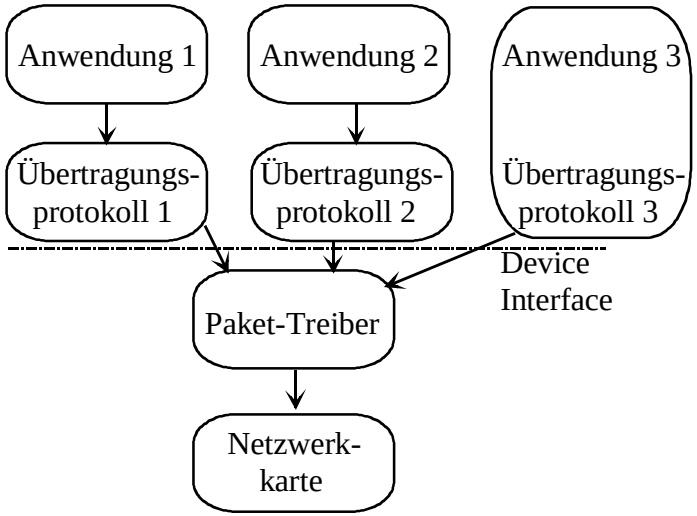
Ethernet Type Protokoll-Identifikation, alle Werte von Ethernet_II sind erlaubt

Netzwerk – Protokoll

nur 1 Protokoll



mehrere Protokolle



6.1 Ethernet 802.3

SPX
IPX
MAC
physical

Ethernet_II

SPX
IPX
MAC
physical

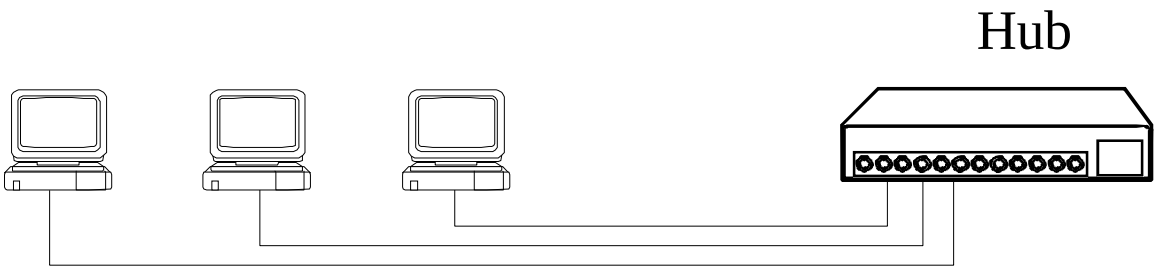
Ethernet 802.2

SPX
IPX
LLC
MAC
physical

Ethernet SNAP

SPX
IPX
SNAP
LLC
MAC
physical

Fast Ethernet: 100 Base-T



100 Mb/s, nur eine Station

MAC: CSMA/CD wie Ethernet: slot time = 512 bit times; interframe gap = 960 ns; jam size = 32 bits (4 octets);
min frame size = 512 bit (64 octets); max. frame size = 1518 octets;

Die Stationen sind sternförmig an Hub angeschlossen. max. 1024 Stationen im Netz,

max. 2 Repeater (Hubs); max Netzwerkgröße: 210 m oder 1 Hub (max. 100 m) und 1 LWL (max. 189m)

Fast Ethernet **IEEE 802.3i** kann betrieben werden auf:

- 100Base-T4: 8-adriges UTP oder STP der Kategorie 3 oder höher, 100 m max
- 100Base-TX: 4-adriges UTP oder STP der Kategorie 5 oder höher, 100 m max
- 100Base-FX: 2-adrige Multimode- oder Monomode-Glasfaser, 400 m max
  bei Vollduplex über LWL sind **2 km** möglich.

PIN Belegung 100BASE-TX		PIN Belegung 100BASE-T4	
1	Tx +	1	Tx +
2	Tx -	2	Tx -
3	Rx +	3	Rx +
4		4	Bi 1+
5		5	Bi 1-
6	Rx -	6	Rx -
7		7	Bi 2+
8		8	Bi 2-

Tx = Transmit; Rx = Receive; Bi = Bidirectional

Gigabit Ethernet

MAC Frame:

8 Bytes	Preamble	Das erste Byte der Präambel ist der Start of packet delimiter = 1111 1011
6 Bytes	Destination Address	
6 Bytes	Source Address	
2 Bytes	Length / Type	
46 .. 1500	Data + Padding	
4 Bytes	CRC	
1 Byte	/T/	End of packet delimiter = 1111 1101

LWL:	Faser	Wellenlänge	Bandbreite	Segmentlänge	
1000 BaseSx	62,50 µm	830 nm	160 MHz * km	2 – 220 m	
1000 BaseSx	62,50 µm	830 nm	200 MHz * km	2 – 275 m	
1000 BaseSx	50 µm	830 nm	400 MHz * km	2 – 500 m	
1000 BaseSx	50 µm	830 nm	500 MHz * km	2 – 550 m	
1000 BaseLx	62,50 µm	1270 nm	500 MHz * km	2 – 550 m	
1000 BaseLx	50 µm	1270 nm	400 MHz * km	2 – 550 m	
1000 BaseLx	50 µm	1270 nm	500 MHz * km	2 – 550 m	
1000 BaseLx	10 µm	1270 nm		2 – 5000 m	Monomode

Kupferkabel: 1000 BaseCx : Twinax 150 Ω 25 m (2 Koaxkabel)

Vergleich von 10, 100 und 1000 MHz Ethernet

	10 MHz	100 MHz	1000 MHz
Bit Time	100 ns	10 ns	1 ns
Slot Time	512 Bit	512 Bit	4096 Bit
Interframe Gap	9,6 µs	0,96 µs	0,096 µs
Max. Frame Size	1518 Bytes	1518 Bytes	1518 Bytes burst $\leq$ 8.192 Bytes
Min. Frame Size	64 Bytes	64 Bytes	64 Bytes + (512-64) Extension
Leitungscodierung		Manchester 4B / 5B	Manchester 8B / 10B
Autosensing	nein	10 / 100	10 / 100 / 1000
Full Duplex	?	optional	optional

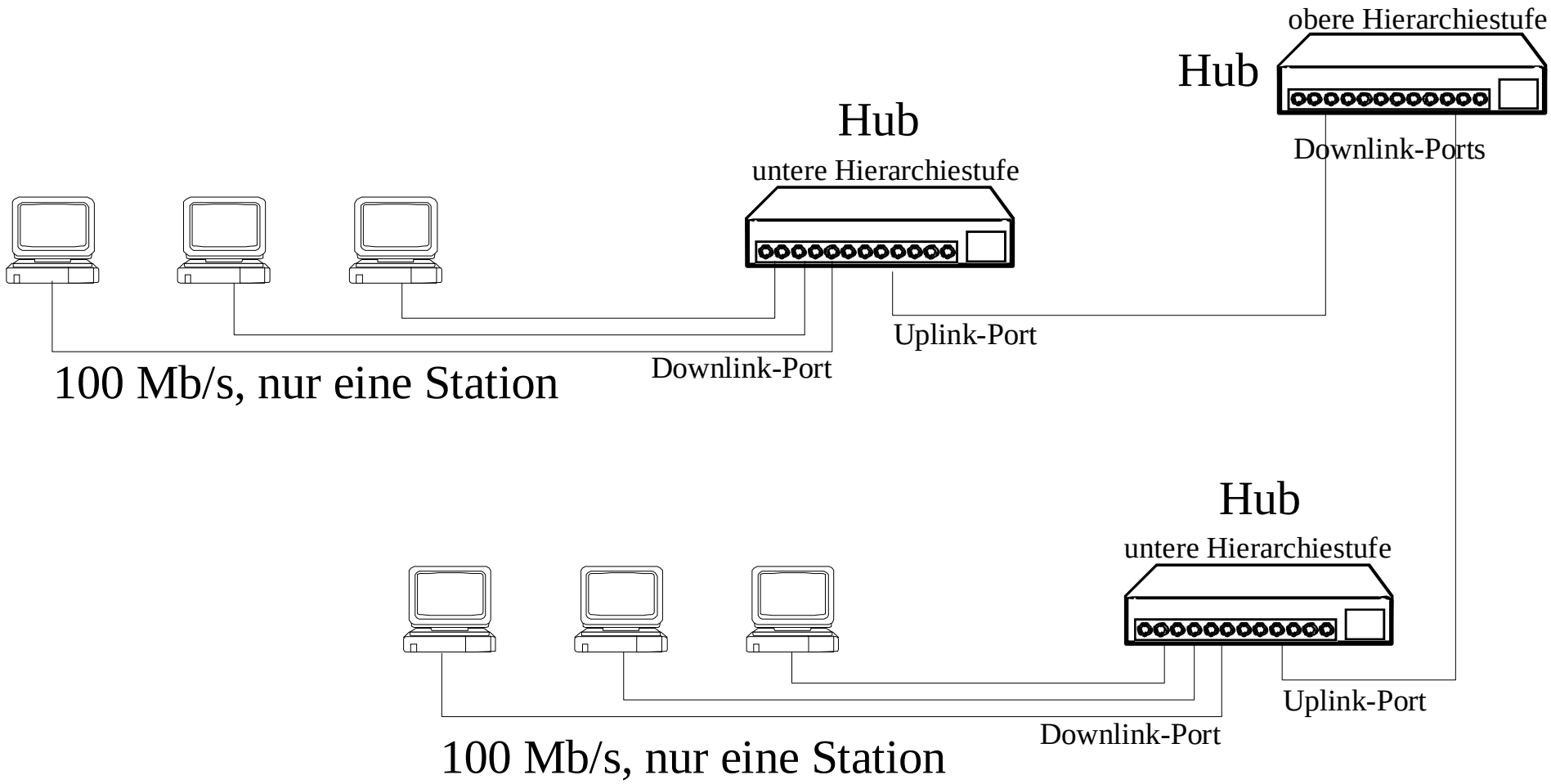
Full Duplex: Gleichzeitiges Senden und Empfangen. Die zwei verschiedene Leiter (LWL oder Twinax) bzw. Adernpaare des UTP-Kabels werden zum gleichzeitigen Senden und Empfangen benutzt.

100BaseVG-AnyLAN (IEEE 802.12)

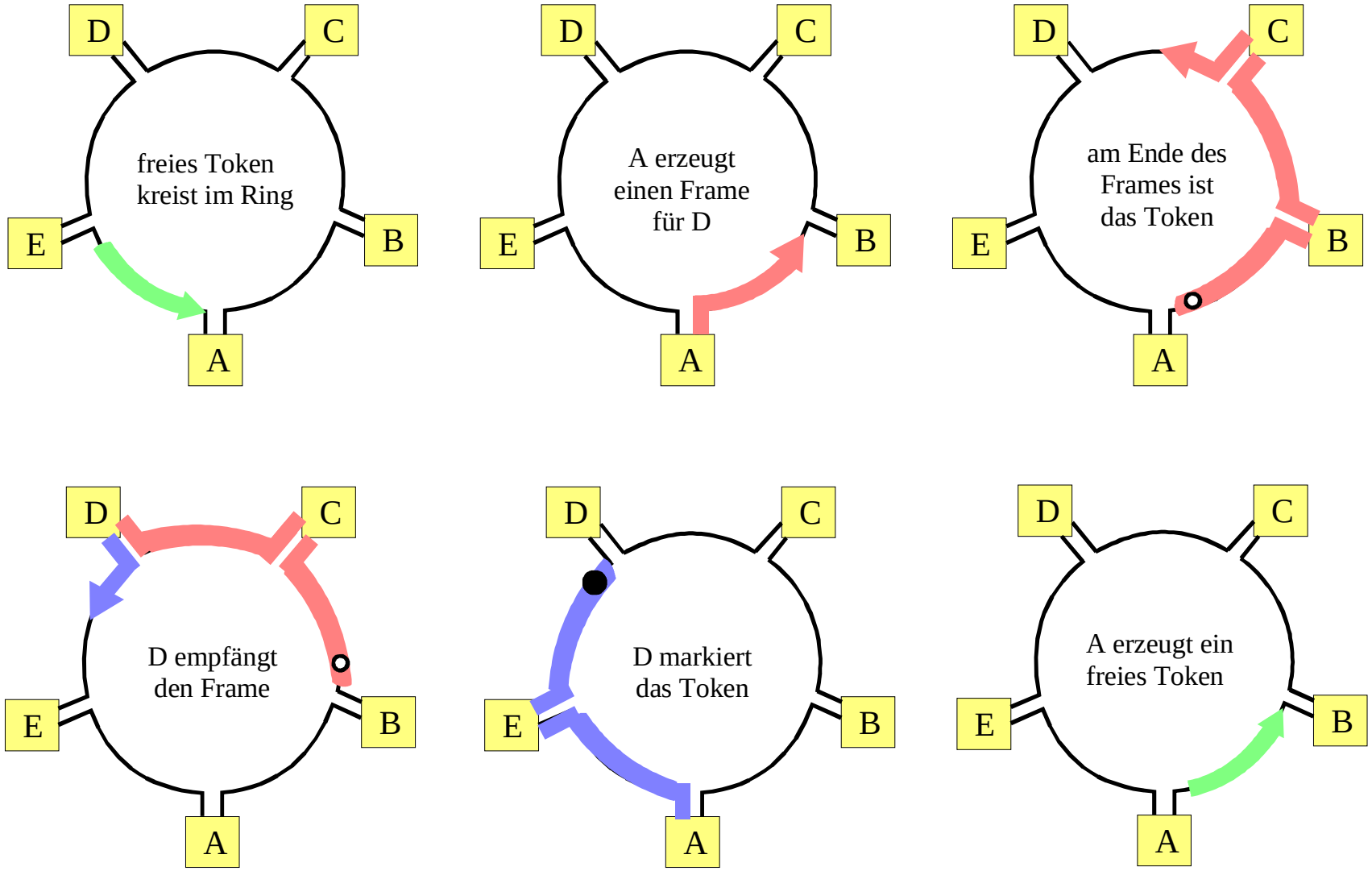
100 Mbps Round-Robin-Verfahren mit zwei Prioritäten max Netzwerkgröße: 2,5 km, 1024 Stationen

max. Paketgröße muß konfiguriert sein: 1500 Daten Bytes (wie 802.3) oder 4500 Daten Bytes (wie 802.5)

kann betrieben werden auf: 8-adriges Kabel der Kategorie 3 oder höher
4-adriges Kabel der Kategorie 5 oder höher
2-adrige Glasfaser



Token Ring

1972 von Willemjin entwickelt, von IBM übernommen und in IEEE standardisiert: IEEE 802.5

4 Mbps oder 16 Mbps, bis zu 256 Stationen im Ring, Max. 7 (IBM) bzw. 13 (IEEE) Brücken im Weg