



WS 2016/2017
LV Rechnernetzpraxis

6. Netzwerktechnologien (Teil 1)

Dr. rer.nat. D. Gütter

Mail: Dietbert.Guetter@tu-dresden.de

WWW: <http://www.guetter-web.de/education/rnp.htm>

Zielstellung

(nichtprioritäre) Netzwerktechnologien sollen einen Übertragungsservice bieten für

- einfache Einsatzfälle
- Einbindung in komplexere Netzarchitekturen (TCP/IP, ...)

mit qualitativ ausreichender Übertragungsqualität über ein Medium

Inhalt

- Nutzerschnittstelle auf Niveau OSI-Sicherungsschicht
- interne Realisierung bis hinunter zur OSI-Bitübertragungsschicht

- Übertragungsmedium, Signalkodierung
- Strukturierung (Header, Body, Trailer)
- Fehlererkennung/-korrektur
- Adressierung/Zugriffsteuerung bei Mehrpunktverbindungen
- Übertragungsraten, -fehlerwahrscheinlichkeit, -zuverlässigkeit

Überblick

Technologien ohne Vermittlung

- Punkt-zu-Punkt-Verbindung ohne Adressierung, Vermittlung

Nutzung für einfache Rechner-Rechner-Kopplung
bzw. als Basistechnologie für WAN (Wide Area Networks)

Technologien mit einfacher Vermittlung

- Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen mit zentraler Vermittlung

Nutzung als Basistechnologie
für einfache WAN (Wide Area Networks) sowie
für Automatisierungsnetze, ...

- LAN (Local Area Networks) mit geteiltem Medium (shared medium)
- LAN mit ungeteiltem Medienzugriff (switched medium)

Punkt-zu-Punkt-Verbindungen

2 Rechner direkt verbunden (keine Konkurrenz, eindeutiger Weg)

→ **keine Adressierung erforderlich**

Simplex-Kanal

für Rechnernetze nicht relevant

Duplex-Kanal

keine Zugriffsprobleme

Halb-Duplex-Kanal

Steuerung Senderecht erforderlich

Lösung

z.B. **Polling**

(hierarchische Unterordnung einer Station)

Master besitzt im Normalfall das Senderecht,
kann es ggf. an untergeordneten **Slave** abgeben.
Slave hat Senderecht nur kurze Zeit, danach Rückgabe

Weitverkehrsnetze

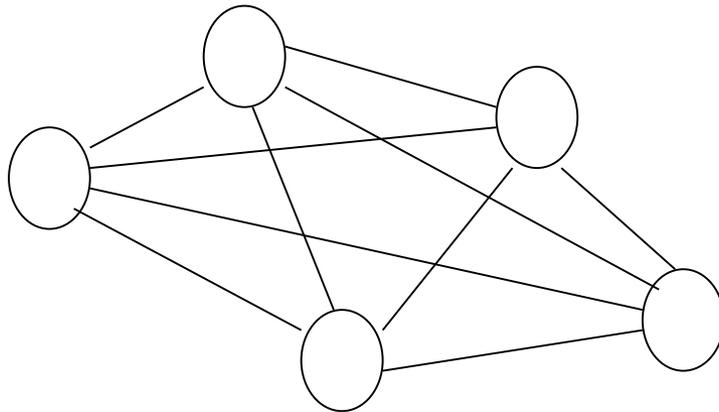
große Ausdehnungen, teilweise weltweit

- große Datenübertragungsmengen, große Nutzeranzahl
- historischer Vorgänger: Datenfernverarbeitung
- Betreiber: Telekommunikationsgesellschaften
- Standardisierung
ITU (International Telecommunication Union),
früher CCITT

Topologie

ideal: Vollvermaschung

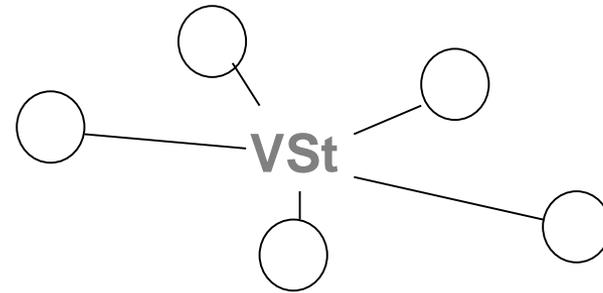
$n * (n-1) / 2$ Leitungen erforderlich



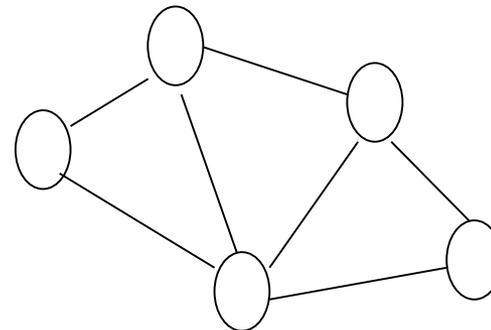
Vermittlungsstellen

Leitungseinsparungen

einfacher Stern
n Leitungen erforderlich



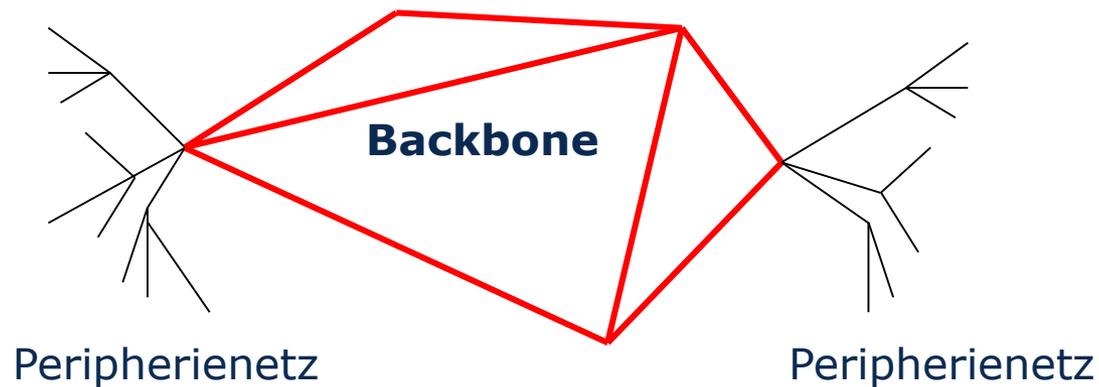
teilvermaschtes Netz



WAN moderne Struktur

teilvermaschtes Netz unterteilt in

- Backbone- und
- und Peripherienetze



Backbone (Kernnetz)

Lichtwellenleiterkabel

- mehrere Fasern
- jeweils mehrere Wellenlängen
- Zeitmultiplex

z.B.

Seekabel 1999 Europa → Australien / Japan; 38000 km

1 Milliarde Dollar

20 Gbit/s Übertragungsrate
(ca. 300000 simultane Telefongespräche)

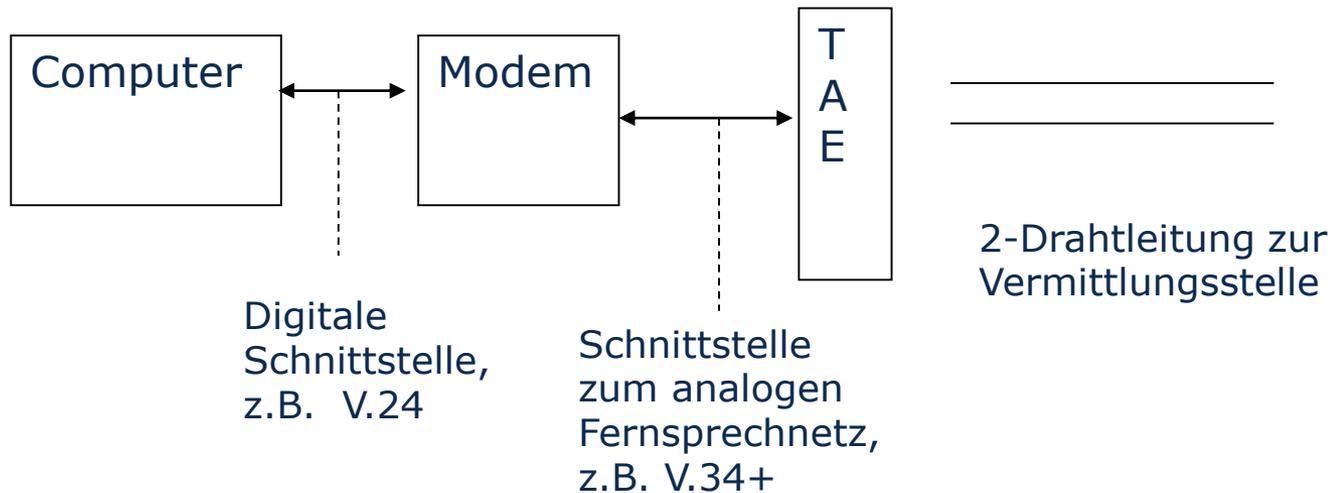
Peripherienetze

- Lichtwellenleiter
- im Nahbereich verdrillte Kupferkabel
- meist Baum-Topologie
- verschiedene Peripherienetze über Backbone verbunden

bekanntes Beispiel: klassisches Telefonnetz

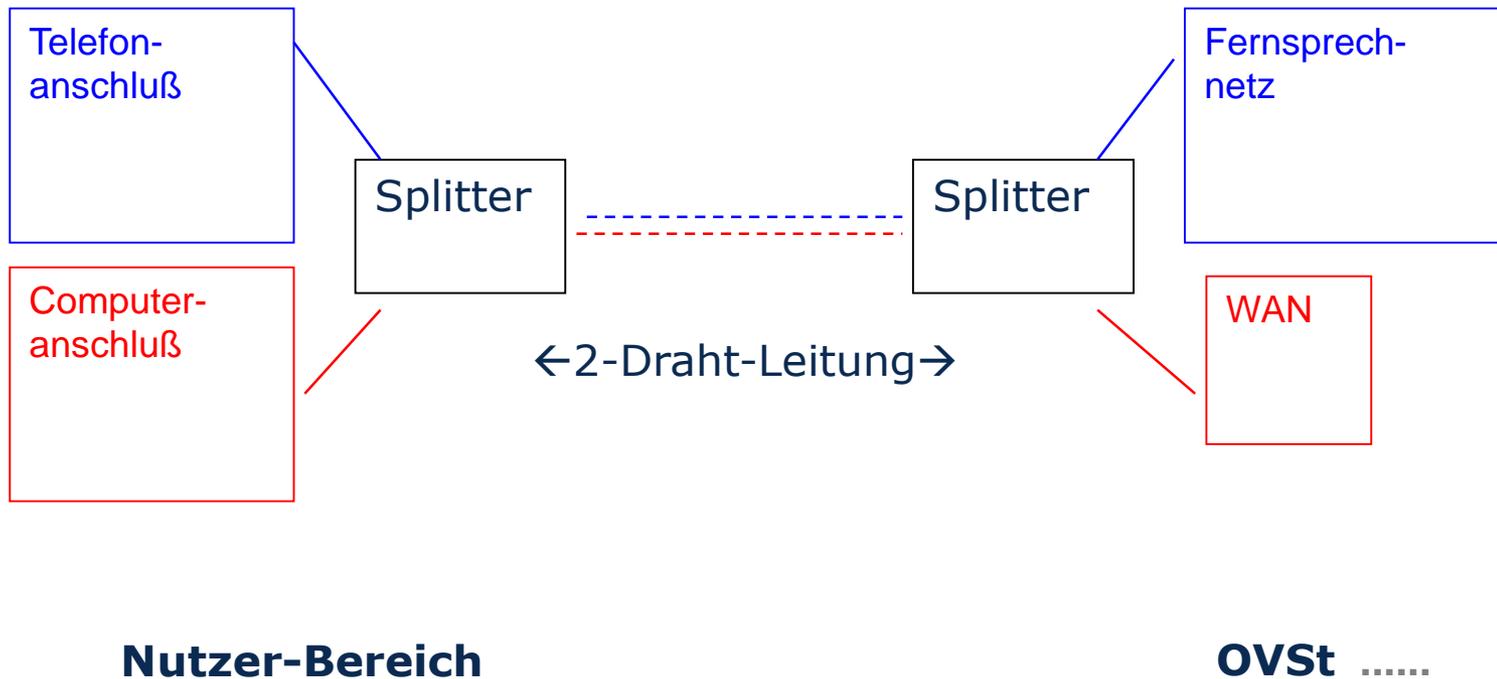
Analoger Anschluß an Fernsprechnet

Datenrate max. 33,6 kpbs (V34+)
 bzw. 56 kpbs in einer Richtung (V.90)



Zugangsnetze

xDSL (Digital Subscriber Line)



Zugangsnetze

Alternativen zu xDSL

- **BTTH** Broadband to the Home
Kabelfernsehkanal 6 MHz, Koaxialkabel
bidirektionale Verstärker

- **FTTH** Fiber to the Home
Lichtwellenleiter bis zum WAN-Nutzer

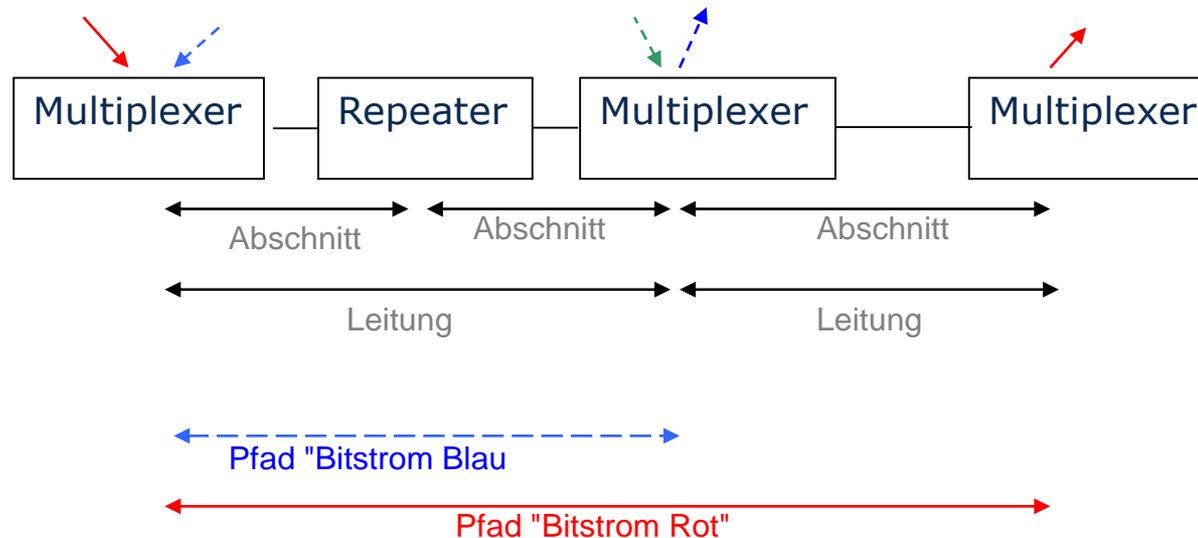
- **FTTS** ... Street
- **FTTC** ... Curb
- **FTTB** ... Building

- **SkyDSL** Download vom Satellit,
Upload per Telefonkanal

Synchronous Digital Hierarchy SDH (SONET)

Nachfolgetechnologie von PDH (Plesiochrone Digitale Hierarchie)

- Backbone-Technologie
- Lichtwellenleiterkabel



Synchronous Digital Hierarchy SDH

Zeitmultiplex

8000 mal pro Sekunde wird ein Frame gesendet

SDH-Dienst	Framegröße	Übertragungsrate
STM-1	2430 byte	155,52 Mbit/s
STM-4	9720 byte	622,08 Mbit/s
STM-8	19440 byte	1244 Mbit/s
STM-16	38880 byte	2488 Mbit/s
STM-64	155520 byte	9953 Mbit/s

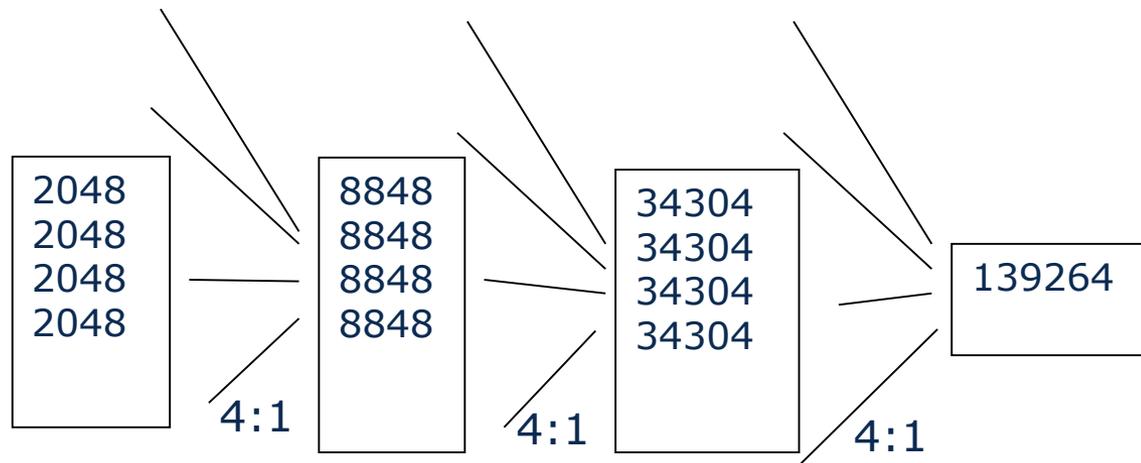
Synchronous Digital Hierarchy SDH

Hierarchisches Zeitmultiplex

E1-Format

z.B. für Fernsprechanäle

2048 kbit/s → ...



Lokale Rechnernetze

Charakteristika (LAN - Local Area Network)

- Privates Unternehmen / Privathaushalt als Netzbetreiber ("in house")
- OSI-Einordnung: LAN-spezifisch nur Schichten 1 und 2
- Ausdehnung max. einige Kilometer
- Datenrate mind. mehrere Mbit/s
- oft Rundsendekanäle mit Mehrfachzugriff

Typische Netztechnologien

- Ethernet-Technologien (10 Mbit/s 10 Gbit/s)
- WLAN-Funknetze (11 Mbit/s ... 56 Mbit/s ...)
- Token Ring (4 bzw. 16 Mbit/s, deterministischer Zugriff)
- Token Bus (10 Mbit/s, deterministischer Zugriff)

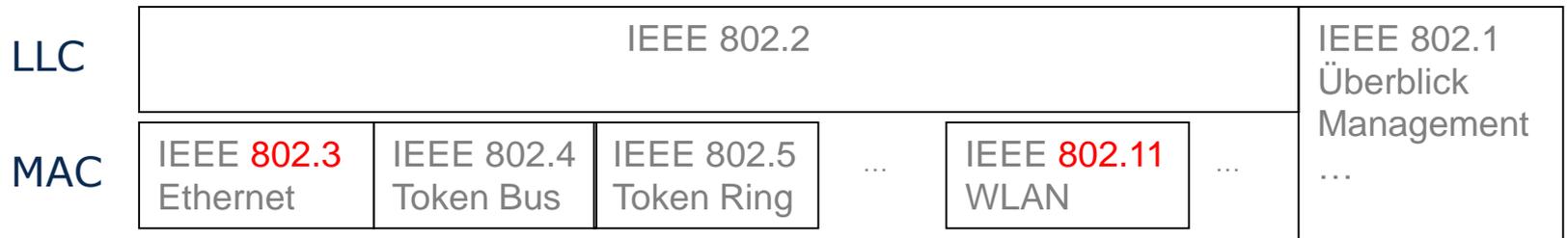
In der Büro-LAN-Praxis sind heute nur Ethernet-Technologien und WLAN relevant, für Industrienetze spielen aber auch andere Verfahren eine Rolle.

Architekturmodell für Sicherungsschicht in LAN

1980

IEEE (Institut of Electrical and Electronic Engineers, USA)

Untergruppe 802



Weitere Standards, z.B.

- 802.15 Bluetooth
- 802.16 WiMAX;
- 802.1q Virtuelles LAN;
- 802.1p Priorisierung von LAN-Datenströmen („Class of Service“)

IEEE 802 – Standard-Übersicht

- 802.1 High Level Interface
- 802.2 Logical Link Control
- 802.3 CSMA/CD LAN
- 802.4 Token-Bus LAN
- 802.5 Token-Ring LAN
- 802.6 MAN Metropolitan Area Networks (DQDB)
- 802.7 Broadband Technical Advisory Group
- 802.8 Fibre Optics Technical Advisory Group
- 802.9 Integrated Voice and Networks (Isochronous LANs)
- 802.10 Network Security
- 802.11 Wireless Networks
- 802.12 Demand Priority Access (100VG-AnyLAN)
- 802.14 Cable Modems
- 802.15 Wireless Personal Area Network
- 802.16 Broadband Wireless Access
- 802.17 Resilient Packet Ring
- 802.18 Radio Regulatory Technical Advisory Group (RRTAG)
- 802.19 Coexistence TAG
- 802.20 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) Working Group
- 802.21 Medienunabhängiges Handover
- 802.22 Wireless Regional Area Networks
- 802.30 100 Base-X, 100 Base-T, Fast Ethernet

MAC-Adressen

dienen Identifikation der Netzkarten, keine geografische Lage

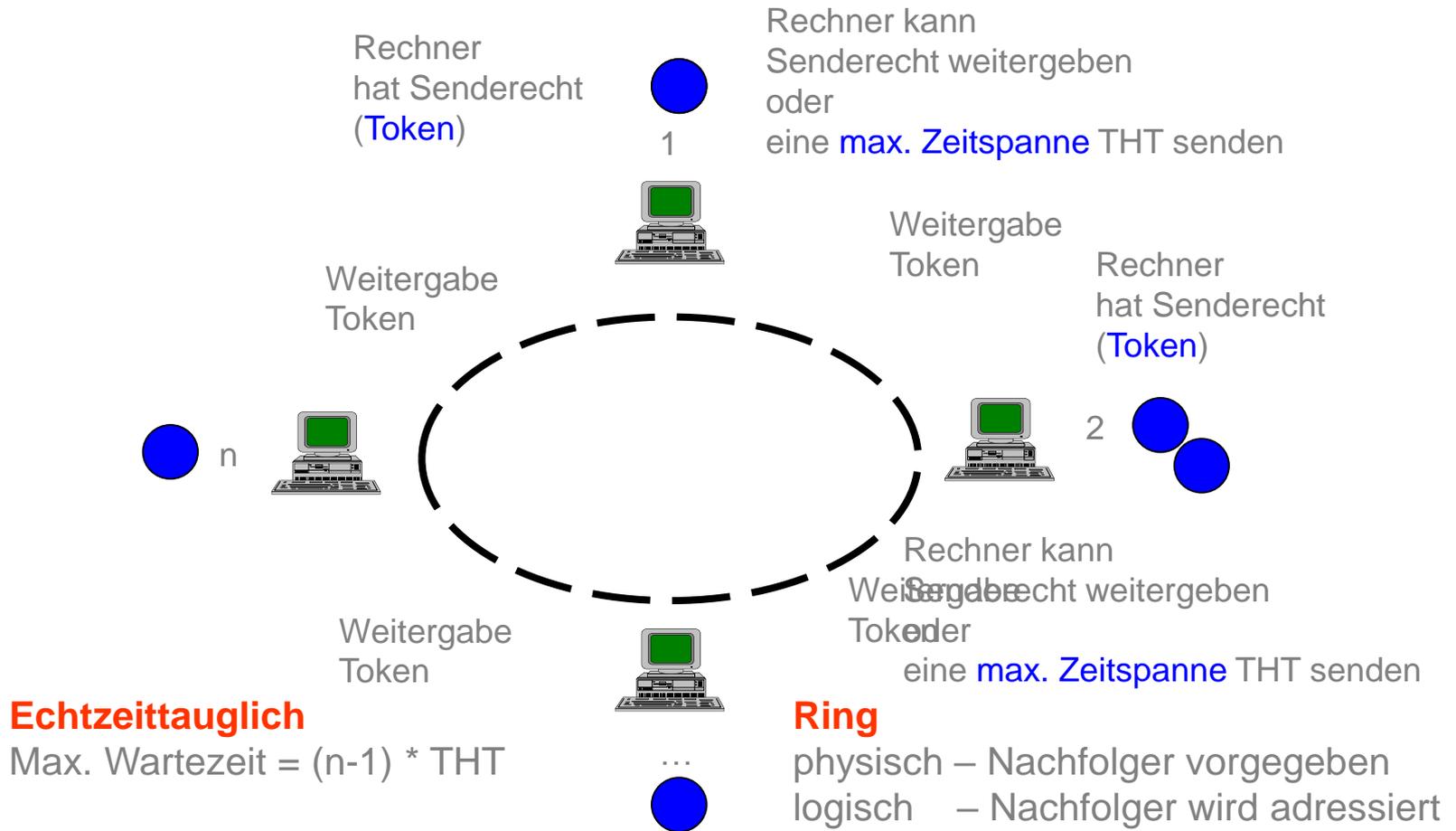
Adreßlängen 16 bit bedeutungslos
 48 bit

Sicherung der **weltweiten Eindeutigkeit**

Netzkartenhersteller kauft Adreßblock bei IEEE
Hersteller-ID fest
Stations-ID freie Vergabe durch Hersteller



Token basierte Zugriffsverfahren

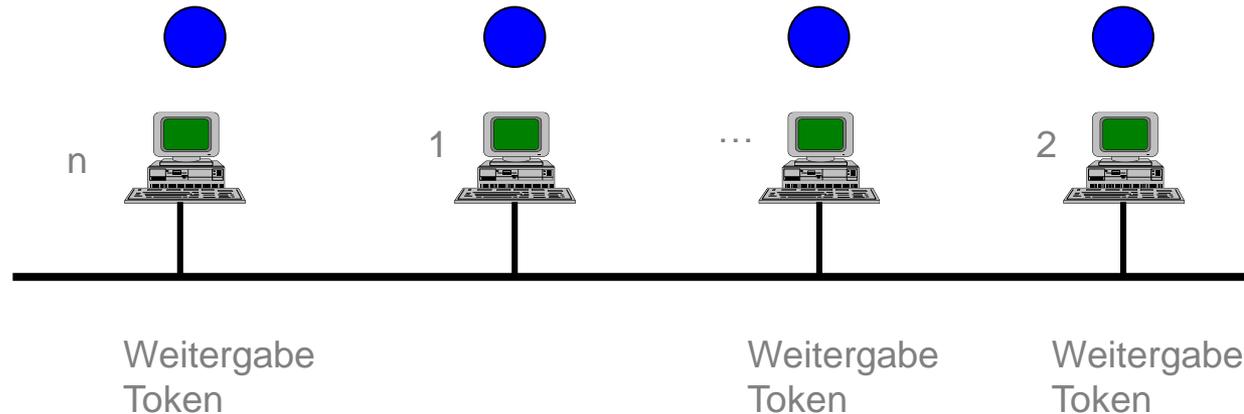


IEEE 802.4 – Token Bus

Jede Station muß kennen !

Rechner
hat Senderecht
(Token)

- Adresse Nachfolger
- Adresse Vorgänger



Charakteristika

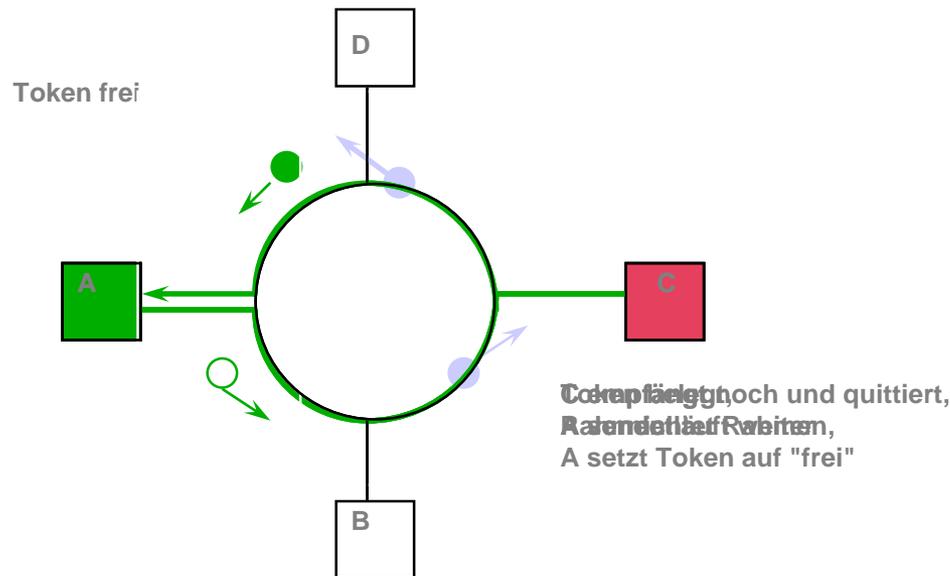
flexible Prioritäten der Tokenweiterleitung möglich
Einsatz in Fertigungssystemen, **MAP** (Manufacturing Automation Protocol)

Token Ring - IEEE 802.5

Verkabelung s. Kap. 2

Phys. Ringstruktur, aktive Stationen (Signalverstärker), 1 Bit Puffer je Station
fairer Zugriff, Prioritäten möglich, geeignet für Hochlast

Normalfall: Nachricht länger als Laufzeit durch den Ring
deshalb voller Umlauf, Ringauftrennung beim Sender



FDDI - Fiber Distributed Data Interface

Verkabelung s. Kap2
Fehlertolerante Doppelringstruktur

Token Ring auf Lichtwellenleiter-Basis mit 100 Mbit/s

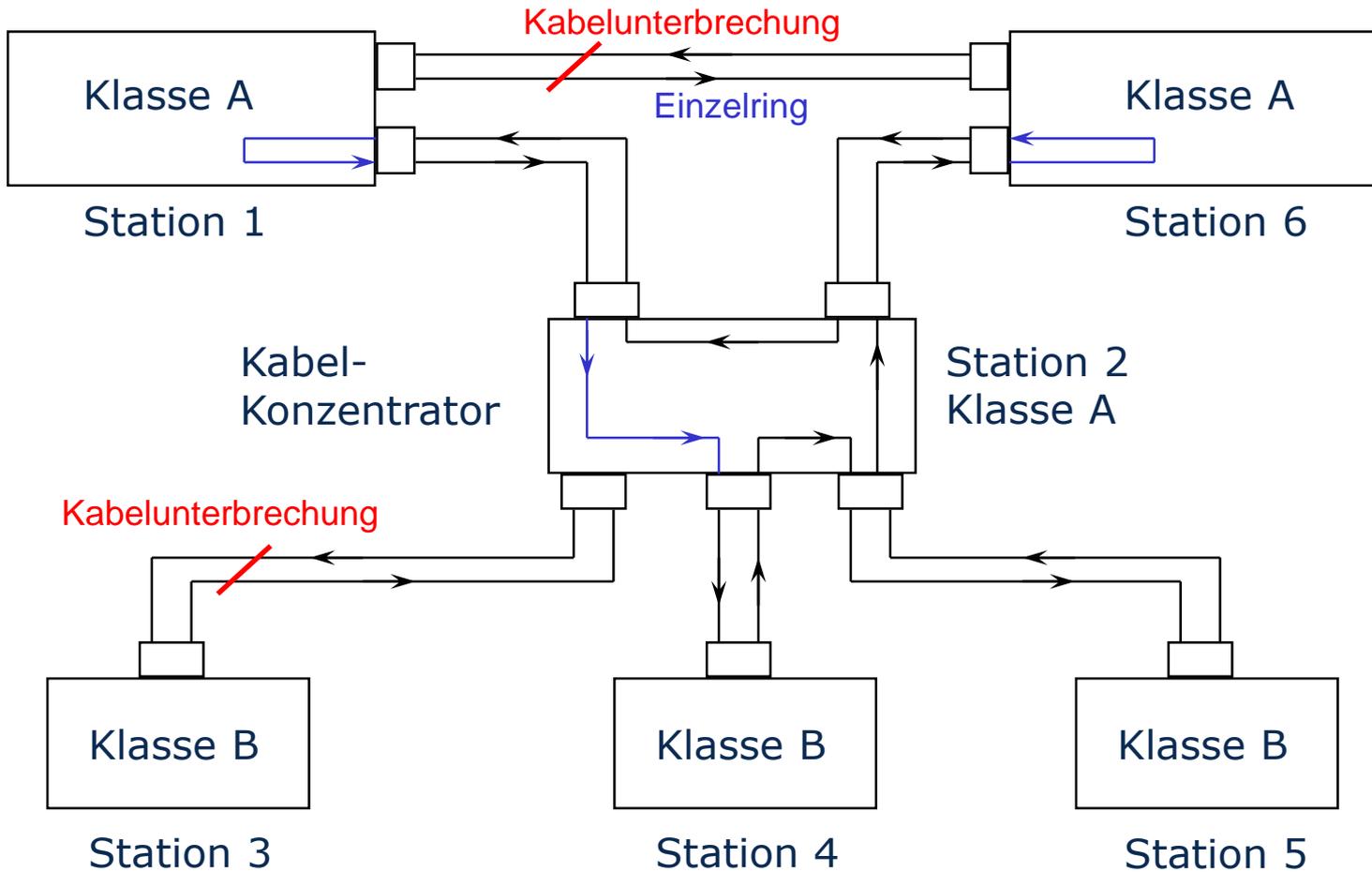
"Backbone" zur Netzintegration

Max. 1000 Stationen über max. 200 km

Spezielle Eigenschaften

- Token-Weitergabe sofort nach dem Senden
mehrere Frames gleichzeitig auf Ring möglich (Effizienz)
- Pufferung von mehr als 1 bit in jeder Station
- Selbsttaktender "4B5B"-Code,
dadurch bandbreiteneffizienter als Manchester-Code

FDDI: Rekonfiguration



Ethernet - IEEE 802.3 10Base5/10Base2

Verkabelung s. Kap.2

Koaxialkabel, max. 5 Segmente à 500 m bzw. 185 m, gekoppelt über Repeater
Impedanz 50 Ohm, Dämpfung pro Segment max. 8,5 dB

Manchesterkodierung, 10 Mbit/s

NIC (Network Interface Controller) für Bildung von Rahmen und Prüfsummen

MAU (MAU - Medium Attachment Unit) für Schreiben/Lesen, CS, CD
bzw. Transceiver (bei 10Base2 in NIC integriert)

CSMA/CD

Kollisionsbehandlung durch adaptiven Algorithmus "Binary Exponential Backoff,,

Einteilung in Slots (51,2 us - max. mögliche Übertragungsverzögerung)

Nach Kollision Warten 0 oder 1 Slot

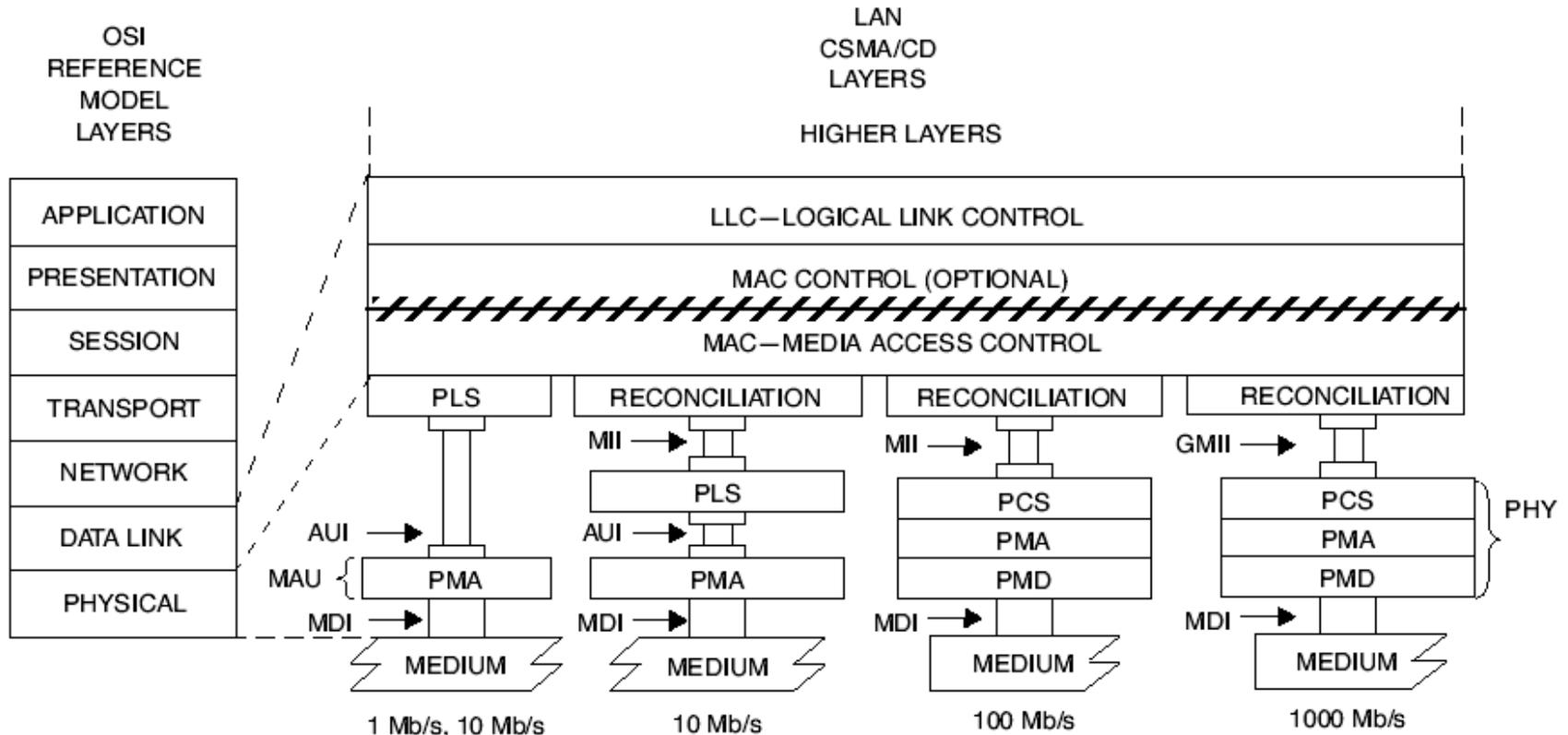
Nachfolgekollisionen → Strategie immer nachgiebiger.

Nach der i-ten Kollision Zufallszeit warten (zwischen 0 und $2^i - 1$ Slots)

Ab 9. Wiederholung keine Erhöhung der Slotzahl

Abbruch nach 16 Kollisionen

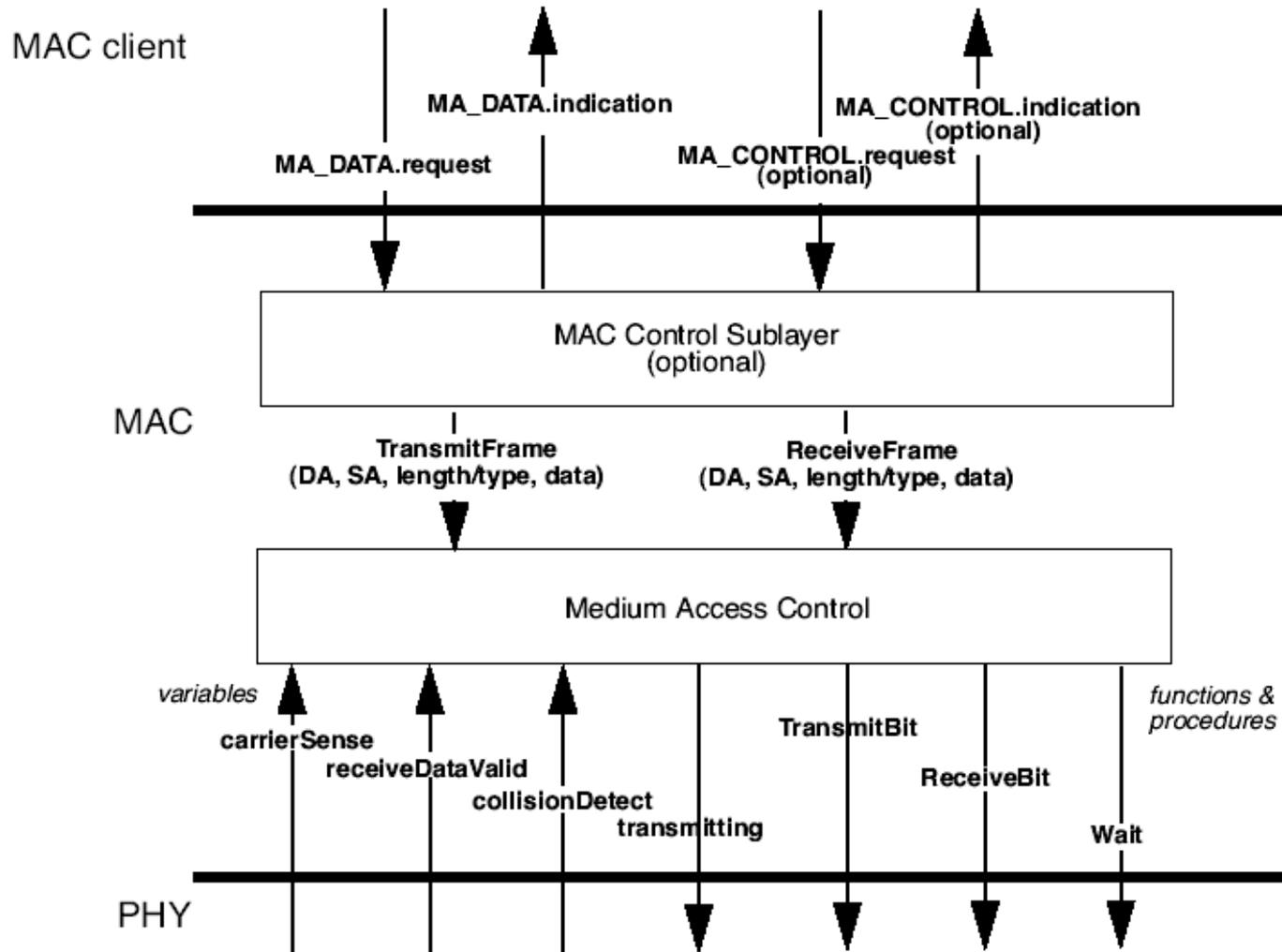
Auszug IEEE Standard 802.3-2002®



AUI = ATTACHMENT UNIT INTERFACE
 MDI = MEDIUM DEPENDENT INTERFACE
 MII = MEDIA INDEPENDENT INTERFACE
 GMII = GIGABIT MEDIA INDEPENDENT INTERFACE
 MAU = MEDIUM ATTACHMENT UNIT

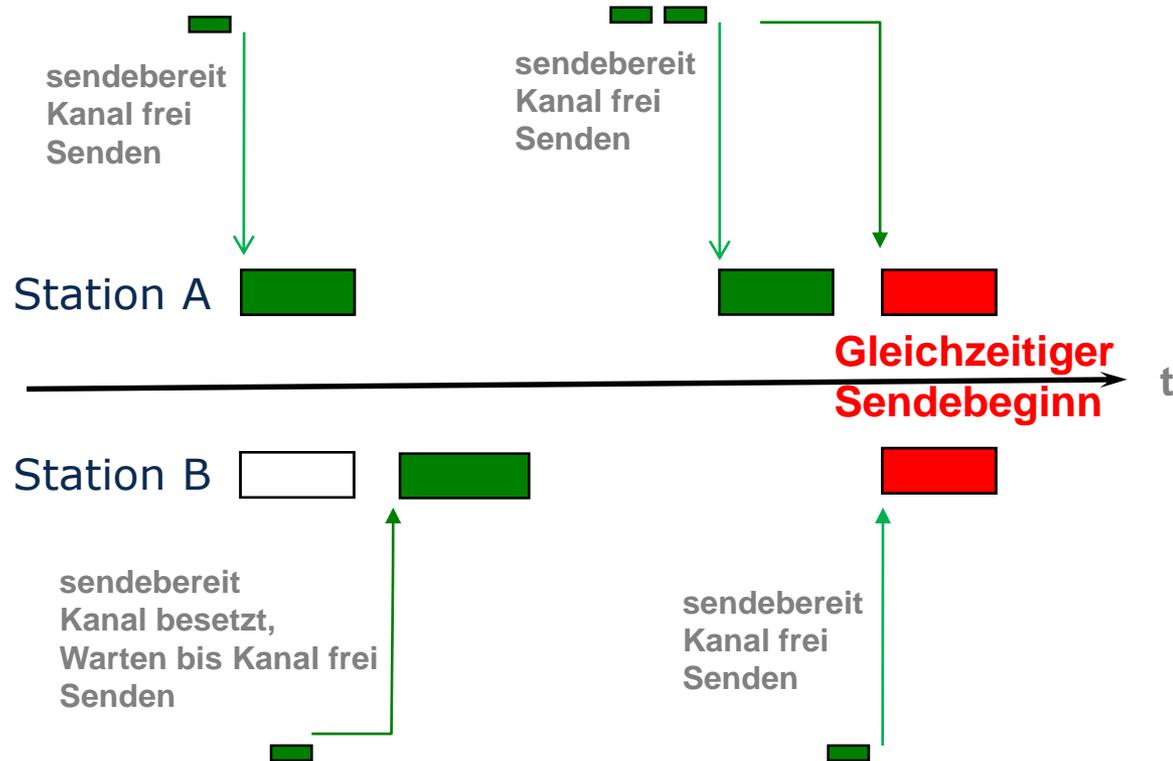
PLS = PHYSICAL LAYER SIGNALING
 PCS = PHYSICAL CODING SUBLAYER
 PMA = PHYSICAL MEDIUM ATTACHMENT
 PHY = PHYSICAL LAYER DEVICE
 PMD = PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT

Auszug IEEE Standard 802.3-2002®



CSMA-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access)

Abhören des Kanals vor Senden (Carrier Sense), wenn Kanal frei, Senden trotz Abhören Kollisionen möglich → Quittungen erforderlich



bei Hochlast sehr viele Kollisionen, nach Kollision Gefahr von Nachfolgekollisionen
scheinbar negative Übertragungen bei kollodierenden Quittungen

CSMA – Reduktion der Kollisionswahrscheinlichkeit

1-persistent CSMA

Wenn Kanal besetzt, Warten bis frei, Senden
Sichere Kollision, falls 2 Stationen auf ein Sendeende warten!!!
Falls Kollision, Zufallszeit warten, dann erst wieder Abhören, ...

nonpersistent CSMA

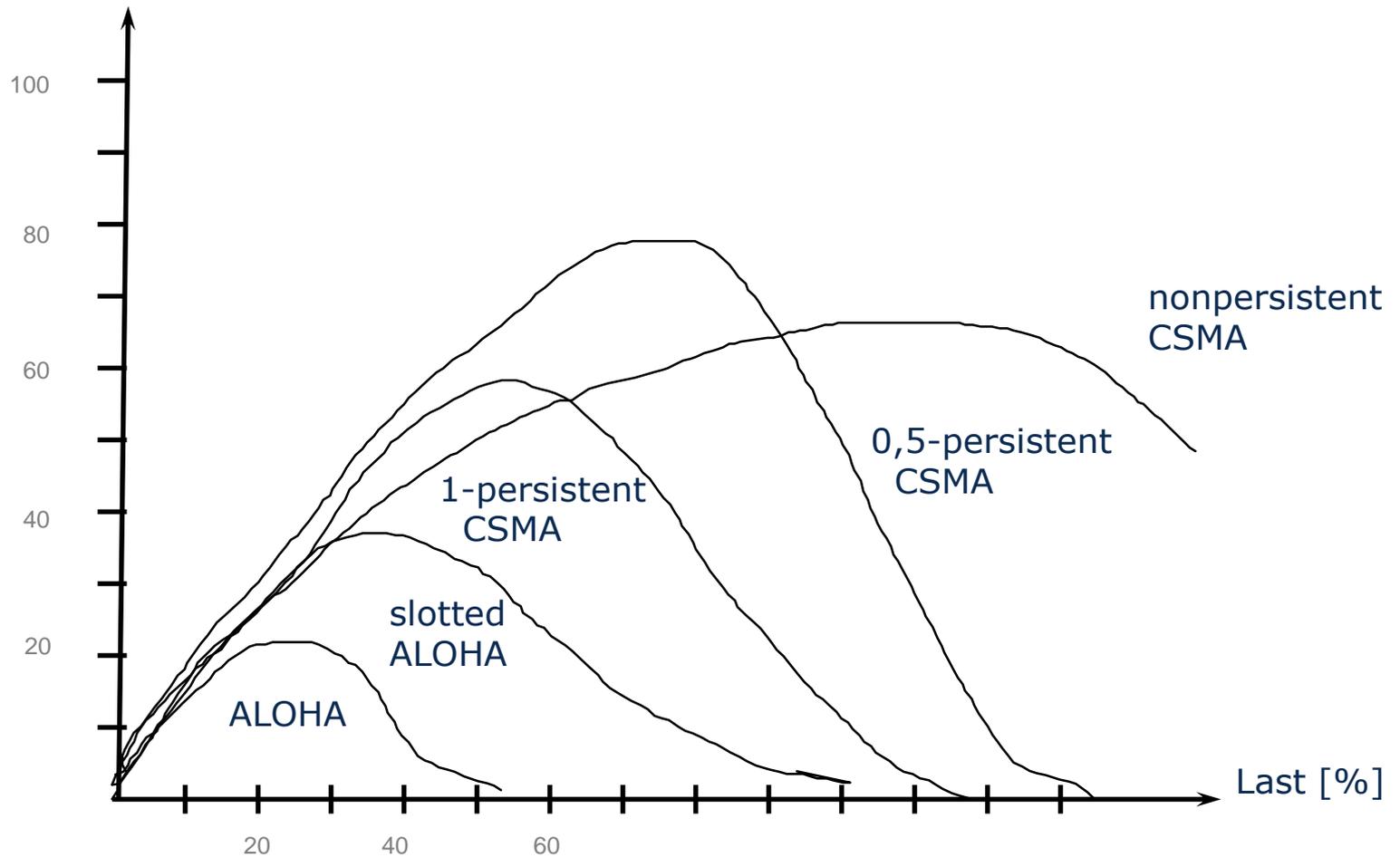
Wenn besetzt, Zufallszeit warten, dann erst wieder Abhören, ...
Wenn Kanal frei, Senden
Falls Kollision, Zufallszeit warten, dann erst wieder Abhören, ...

p-persistent CSMA (Aufteilung in Zeitscheiben bzw. Slots)

Wenn Kanal besetzt, Warten auf nächsten freien Slot
Wenn Kanal frei Senden mit Wahrscheinlichkeit p
Warten mit Wahrscheinlichkeit $1-p$ auf nächsten Slot, ...
Falls Kollision, Zufallszeit warten, dann erst wieder Abhören, ...

Bewertung der Verfahren

Auslastung [%]



CSMA/CD-Verfahren

CSMA mit "Collision Detection (CD)":

Mithören während des Sendevorgangs, Kollisionserkennung dadurch schneller möglich (ohne Warten auf Quittung)

Problem: endliche Laufzeit t_L

→ Framelänge muß ein Minimum übersteigen

Minimaldauer für Sendezeit = $2 * L/v$



A hat zur Zeit t_0 mit Senden begonnen
B „Kanal frei,“ bis zur Zeit $(t_0 + t_L)$
B beginnt kurz vorher mit Übertragung

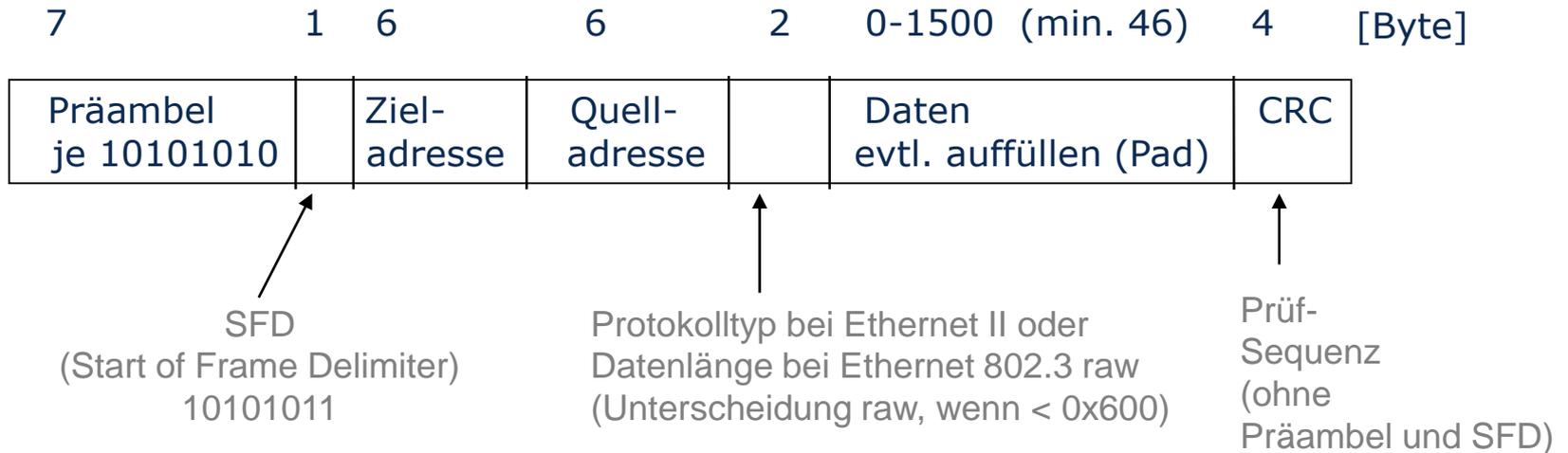
B entdeckt Kollision zur Zeit $(t_0 + t_L)$,
stoppt Übertragung,
sendet "Jam-Signal,“ mit Dauer t_L

A kann Kollision erst zur Zeit $(t_0 + 2 * t_L)$ feststellen

Vergleich der 10Base... Ethernet

Technologie	10Base-5	10Base-2	10Base-T	10Base-FL
Kabel	Thick RG-8 oder RG-11	Thin RG-58	UTP 3	Multimode OF
Max. Segmentlänge, m	500	185	100	2000
Max. Netzausdehnung	2500	925	500	2500
Max. Stationsanzahl	100	30	1024	1024
Max. Repeateranzahl	4			
Min. Sendelänge/-zeit	512 bit (51,2 μ s)			
Min. Frameabstand	9.6 μ s			
JAM-Signalfolge	32 bit			

Ethernet Framestruktur



- Präambel erlaubt Synchronisation mit Empfänger
- Protokolltyp gibt Art des höheren Protokolls an

z.B.

0x800	IPv4
0x806	ARP
0x8100	VLAN

Endeerkennung
durch fehlendes Carriersignal
Im Frameabstand IFS

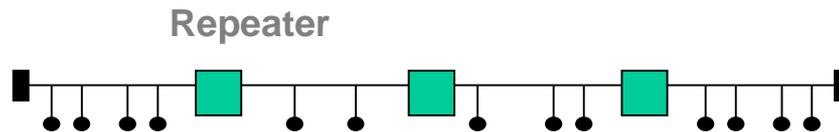
Ethernet - Komponenten

NIC (Network Interface Controller)

für die Bildung von Rahmen und Prüfsummen in Netzwerkstationen
[mit integrierter MAU (Medium Attachment Unit) für Schreiben/Lesen, CS, CD]

Repeater

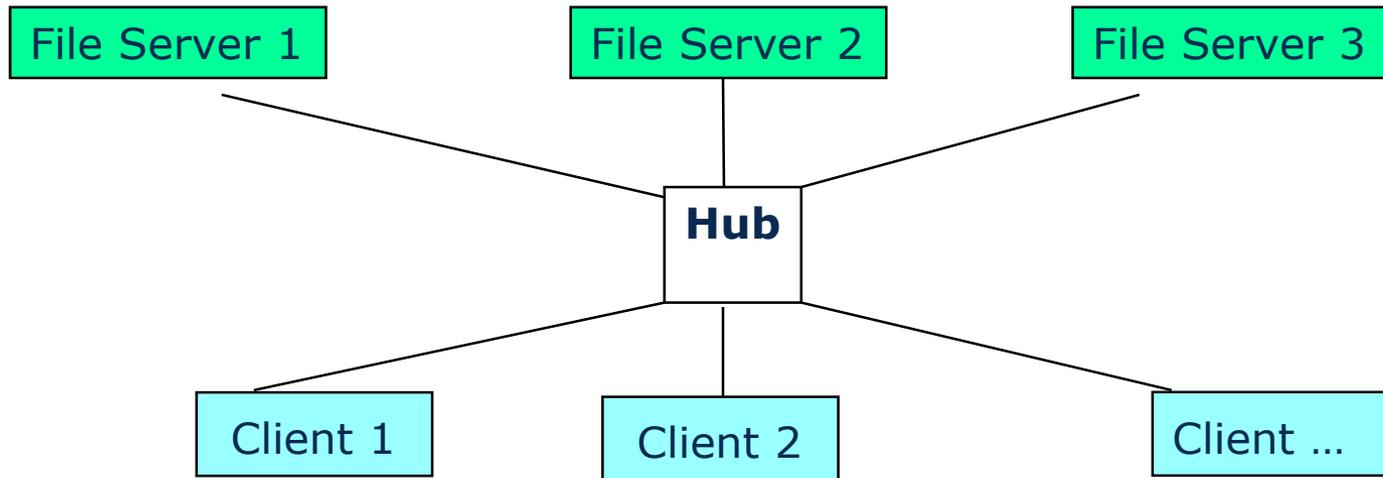
zur Signaltrennung und -verstärkung
für die Verlängerung eines LAN-Segementes bzw. die Kopplung mehrerer Segmente
Keine Lasttrennung!



Hub (Multiportrepeater)

wird meist benutzt, um einzelne Stationen in Sterntopologie zu verbinden
Kaskadierung → Aufbau von Netzwerken mit Baumtopologie

Ethernet - Hub

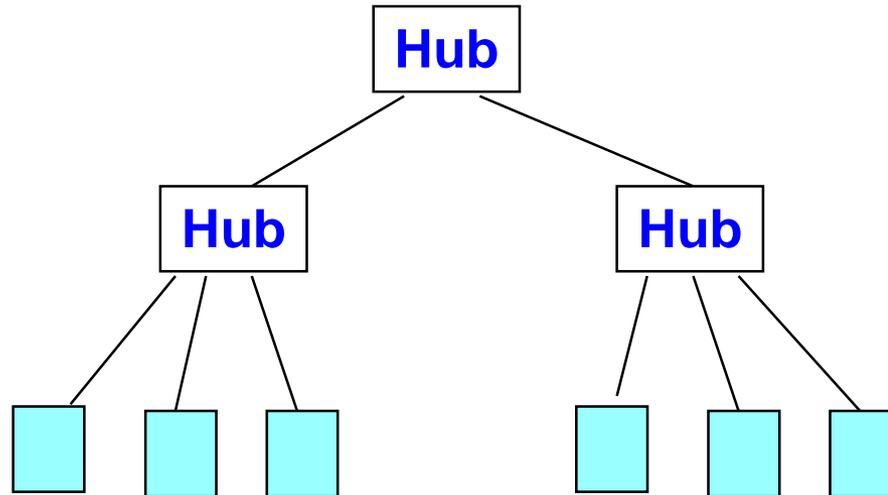


Hub Port = Anschlußbuchse für Stationen
Hub ist Netzwerkzentrum → einfache Administration
Weiterleitung aller eintreffenden Signale über alle anderen Ports
Signalverstärkung

Shared Media

keine Lasttrennung, Bruttodatenrate teilen sich alle Stationen
Kollisionen im Hub

Ethernet – Baumförmige Topologie



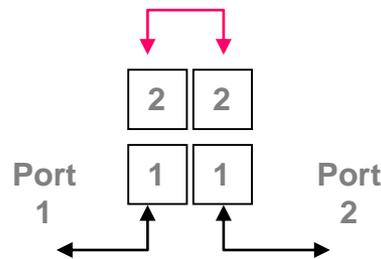
Shared Media keine Lasttrennung,
Bruttodatenrate teilen sich alle Stationen

→ kein Aufbau größerer Netze möglich !

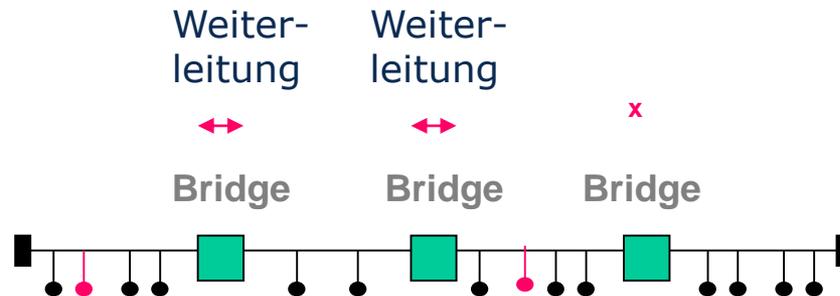
Ethernet - Komponenten

Bridge

- Kopplungseinheit mit mehreren NIC (OSI-Schicht 2; LLC oder MAC)
- kann 2 Netzwerksegmente verbinden, evtl. mehr (Multiportbridge)



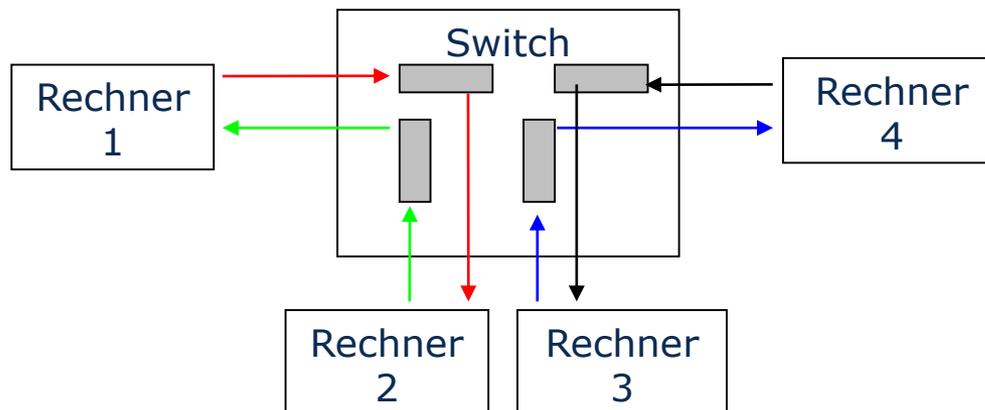
dabei Lasttrennung (in anderes Netz wird nur weitergeleitet, wenn sinnvoll) !
Regelung durch **Weiterleitungstabellen**



Ethernet - Komponenten

Switch

- Multiportbridge zur Verbindung von Computern (Stern-Topologie)
- Kaskadierung → Aufbau von Netzwerken mit Baum-Topologie



Parallele Vermittlung aller Verkehrsströme mit voller Ethernet-Datenrate

Vorteil:

Keine Kollisionen

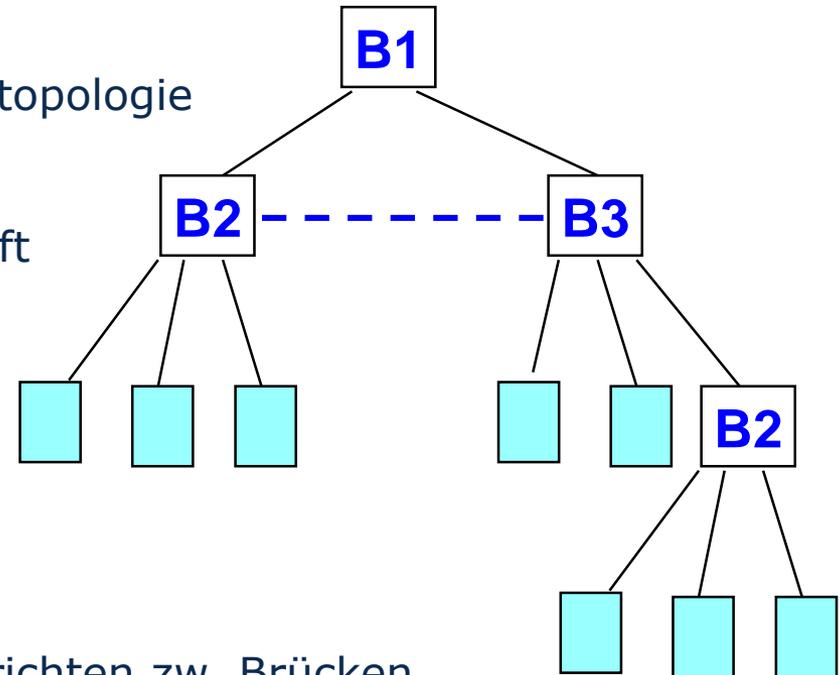
„Shared Medium“ → „Switched Medium“

→ Aufbau großer Netzwerke in Baum-Topologie möglich

IEEE 802.1D - Spanning Tree Protocol (STP)

Brücken
funktionieren nur in Netzen mit Baumtopologie

→ Probleme bei Mehrfachwegen
z.B. Leitungen zur Ausfallbereitschaft
→ **Schleifen**



STP → Virtuelle Baumstruktur

Broadcast-Austausch von Steuernachrichten zw. Brücken

Auswahl einer Root-Bridge
Aufbau abstandsoptimaler überspannender Baum (Sperrern von Ports)

periodisch, bzw. bei Ausfall von Brücken → Neuorganisation

IEEE 802.1w (Rapid Spanning Protocol) : verbesserter Algorithmus

IEEE 802.1D - Spanning Tree Protocol (STP)

1. Jede Brücke betrachtet sich selbst zuerst als Root
→ Sendet BPDU als Broadcast

Root Bridge Identifier	Kosten	Eigener Identifier
------------------------	--------	--------------------

z.B.

18	0	18
----	---	----

Übermittler

2. Jede Brücke empfängt über alle Ports BPDU`s und speichert „beste“ BPDU ab.

3. Bestimmung der Root-ID

4. Bestimmung der Root-Path-Kosten
beste BPDU über die anderen Ports als Broadcast senden

z.B.

12	86	18
----	----	----

5. Nach Zeitspanne t
jede Brücke weiß, ob sie die Root-Bridge ist
sog. nondesignated Ports der Brücken werden softwaremäßig blockiert

Gespeicherte BPDU enthalten Altersangaben, Verwerfen der BPDU nach „max age“
Neuberechnung STP wird normalerweise über Root Bridge angestoßen,
bei Ausfall auch von anderen Bridges
auch bei Empfang einer „besseren“ oder aktuelleren BPDU an Port X

IEEE 802.1D - Spanning Tree Protocol (STP)

Topologieänderungen → Inkonsistenzen, temporärer Schleifen

deshalb: Ändern Portstatus von blockierend zu übermittelnd
erst nach doppelter Übertragungszeit durch ganzes Netz

Cache → Inkonsistenz
Zeitbegrenzung (Normalfall im Minutenbereich, Fehlerfall niedriger)

Konfigurationsänderungen → zuerst Rootbridge benachrichtigen

Root: BPDU mit gesetztem Zeitschalter an alle anderen Brücken
Empfang BPDU mit Zeitschalter → Aktualisierung Cache-Zeitwert,

BPDU-Parameter

Protokoll-ID, -version, -type,
TCA (topology change) oder TCA (... acknowledge)
Root-ID, Root path cost, Bridge-ID, port-Id
Message age, max age,
hello Time (meldezeit),
forward delay (Takte in $1/256$ s, zwischen Blockierungsaufhebung/Nutzung)

Source Routing - Alternative zu STP/RSTP

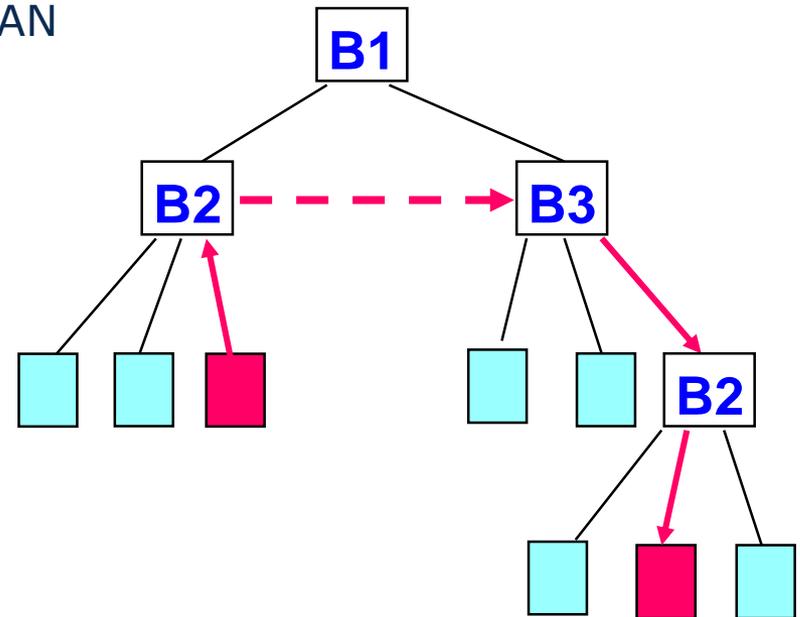
Level LLC,
geeignet zur Kopplung heterogener LAN
z.B. Ethernet \leftrightarrow Token Ring

LAN, Brücken, ... sind adressiert

Sendestation bestimmt Route

Route wird in Frame mitgesendet
Keine Weiterleitungstabellen erforderlich

Source Routing auch in Netzwerkschicht verbreitet



Source Routing

Pakete ohne/mit RI-Feld (Routing Information)

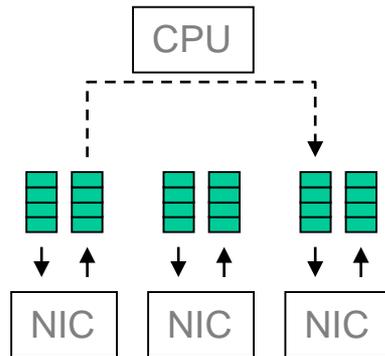
Routenfinden

- manuell (unflexibel), eine spezielle Station pro LAN mit RI
- Quelle: All Route-Request, Ziel: nonbroadcast-Response über jede Route
Mehrfachantwort, Auswahl (kürzester weg aus RI erkennbar)
- Quelle Single-Route-Request (vorher muß Baum aufgespannt sein)
Ziel: All-route-Response, danach Auswahl

Typangaben (bei IEEE 802.5)

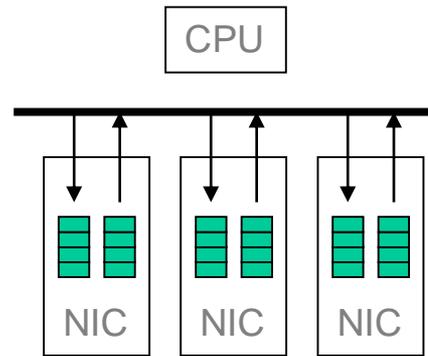
- Null Frame hat nur Empfänger im eigenen LAN
- Non Broadcast
eindeutige Route zwischen Quelle und Ziel,
Brücke leitet weiter, wenn Nachbarnetze (input/output) in RI enthalten
- All Routes Broadcast
Fluten über alle Brücken, Mehrfachempfang!
jede Brücke fügt eigene und LAN-Adresse der RI zu
Vermeidung von Endlosschleifen
(Frame wird nur weitergeschickt, wenn neue LAN-Adr. noch nicht in RI enthalten)
- Single Route Broadcast Broadcast in Baumtopologie

Switch-Architekturen



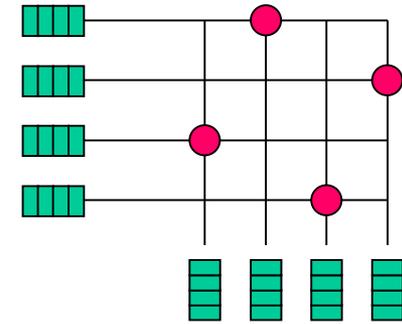
Switch mit
Pufferung
im Hauptspeicher

CPU organisiert
Ausgabe



Switch mit
Pufferung im NIC
(backplane switch)

DMA über Internen
Hochgeschwindigkeitsbus



Schaltmatrix

Ein-/Ausgabeleitungen
werden
zusammengeschaltet

Switch - Strategie

Cut Through

- beim Frameempfang Interpretation der Ziel-MAC-Adresse
- danach sofortiges Durchschalten zum Ausgabeport (on the fly)
→ geringe Verzögerung (Latenz, Delay)
- Kollision, wenn Ausgabeport belegt

Fragment Free

- Pufferung von 64 Byte (512 bit), kürzere Frames werden verworfen
- danach Durchschaltung,
verhindert Übertragung von Framebruchstücken

Store and Forward

- Frame wird voll gepuffert, CRC-Kontrolle (ggf. Verwerfen Frame)
- keine Weiterleitung fehlerhafter Frames
- geeignet zur Kopplung von Stationen mit unterschiedlicher Datenrate
- hohe Latenz

Mischstrategien

Switch - Features

Autosensing

- an allen Ports individuelle Erkennung der max. Übertragungsrate angeschlossener Stationen (10/100/1000/... Mbit/s)
- Vereinbaren der max. möglichen Übertragungsrate (ggf. unterschiedlich an verschiedenen Ports)

Autonegotiation

- wie Autosensing,
jedoch Erkennung/Einstellung von Halb- bzw. Vollduplex

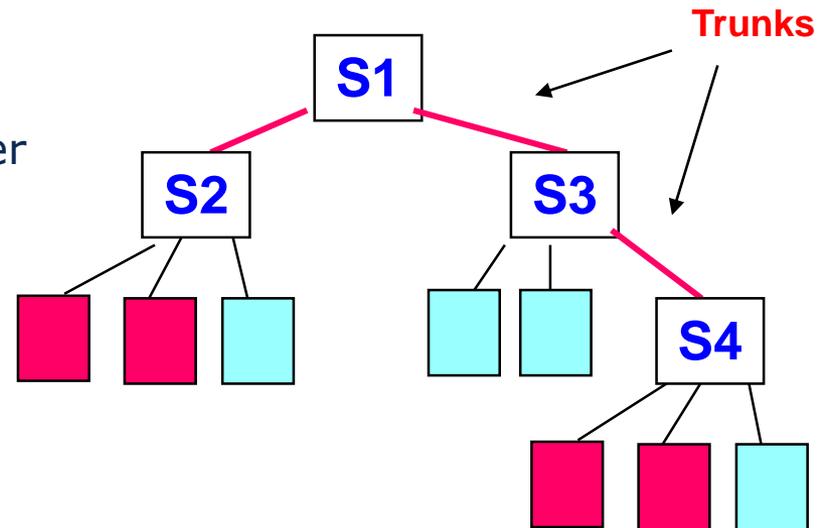
Trunking

- logische Zusammenfassung mehrerer Leitungen und Ports zu Trunks
- Lastverteilung über alle Verbindungen (z.B. für Serveranschluß)
- schnelle Umschaltung im Fehlerfall

IEEE 802.1Q / VLAN (Virtual LAN) auf Layer 2

Virtuelles LAN

- Bildung eines autonomen LAN über Brücken bzw. Switches unabhängig von der Position der Stationen im Gesamtnetz



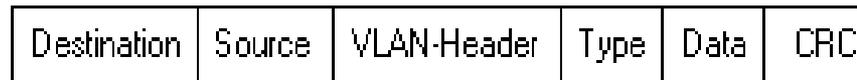
- Verbindung über **Trunks**
- LAN-Kommunikation nur innerhalb eines VLAN möglich
→ **Sicherheit**
- Multicast-/Broadcast-Verkehr wird nur innerhalb eines VLAN durchgeführt!
→ **Lastreduktion**

IEEE 802.1Q / VLAN (Virtual LAN) auf Layer 2

Unterstützung aller etablierten MAC-Verfahren

Softwarekonfiguration der Switches

Bei Transport über einen Trunk
fügt der Switch einen VLAN-Header (4 Byte) ein
beim Verlassen eines Trunks wird der Header wieder entfernt



TPID (Protokoll-ID)	2 Byte (0x8100)
Priorität/Format	4 Bit
VLAN-ID	12 Bit

- statische VLAN feste Zuordnung **Port:VLAN**
- dynamische VLAN Zuordnung
nach Eintrag in Management-Datenbank

IEEE 802.3u - Fast Ethernet

- Datenrate 100 Mbit/s
 - (100Base-T4 veraltet (16 MHz, Cat3, 8B6T)
 - 100Base-TX** aktuell (100MHz, Cat5, 4B5B-Kodierung)
- Kompatibilität zu alten Ethernet-Konzepten
- shared media generell **Switched Media**
 - Stationen sternförmig an Switch angeschlossen
 - Baumtopologie
 - Duplexbetrieb
- Verkabelung: mind. Kategorie-5 oder Lichtwellenleiter
- Kabellänge: 100m bei Kupferkabel
mehrere km bei Lichtwellenleiter

IEEE 802.3z - Gigabit Ethernet

Datenrate:	1 Gbit/s verschiedene Varianten, 8B10B-Kodierung
Medien:	Kupferleitung, Lichtwellenleiter
Segmentlänge:	ca. 100 m bei UTP-Kabel (Echokompensation, 4 Adernpaare, ...) ca. 500 m bis 10 km bei Glasfaser
Datenformate:	von Ethernet beibehalten
Einfache Migrationskonzepte	
Nachteile:	keine isochronen Dienste kein QoS verfügbar

Parameter der Ethernet-Familie nBase-X

Standard	Übertragungsrate, -Medium	Länge
100Base-TX (IEEE 802.3u)	100Mbps, UTP, 2 Paare	100m
100Base-T4	100Mbps, UTP, 4 Paare	100m
100Base-FX	100Mbps, Optische Faser, multimode, 62.5/125µm und 50/125µm	412m/2km
1000Base-SX (IEEE 802.3z)	1Gbps, Optische Faser, multimode 62.5/125µm	260m
1000Base-SX	1Gbps, Optische Faser, multimode 50/125µm	500m
1000Base-LX	1Gbps, Optische Faser, multimode 62.5/125µm	400m
1000Base-LX	1Gbps, Optische Faser, multimode 50/125µm	550m
1000Base-LX	1Gbps, Optische Faser, monomode, 9/126µm	10km
1000Base-CX	1Gbps, Sonderkabel STP bzw. Koaxkabel	25m
1000Base-T (IEEE 802.3ab)	1Gbps, UTP Kat 5, 4 Adern, Echokompensation	100m

10-Gigabit-Ethernet

Datenrate: 10 Gbit/s

Medien: Lichtwellenleiter, Kupferleitung

Einsatzbereiche:

Backbones im LAN-Bereich

Zugangsnetze (Last Mile / EFM („Ethernet in the Last Mile“))

Weitverkehrsnetze (!)

(Basis: SONET/SDH-Kodierung, Wellenlängenmultiplex)

Parameter der Ethernet-Familie 10GBase-X

Standard	Übergabemedien	Länge
10GBase-LX4 (IEEE 802.3ae)	Optische Faser, multimode	300m
10GBase-LW4	Optische Faser, monomode	10km
10GBase-SR	Optische Faser, multimode	82m (300m)
10GBase-LR	Optische Faser, monomode	10km
10GBase-ER	Optische Faser, monomode	40km
10GBase-SW, LW, EW	Optische Faser, SDH STM-64	wie bei „R“
10GBase-CX4 (IEEE 802.3an)	Cu-Kabel	15m
10GBase-T	TP Kat 6a, 4 Adern, Echokompensation	100m

Datenraten: 40 Gbit/s bzw. 100 Gbit/s
(25 Gbit/s, ...)

Medien: Twinaxialkabel
Lichtwellenleiter

Einsatzbereiche:

Backplane-Ethernet in Serverschränken

Speichernetze in Rechenzentren

Backbones im LAN-Bereich

Zugangsnetze (Last Mile / EFM („Ethernet in the Last Mile“))

Weitverkehrsnetze - optische Transportnetze

Projekt

Vorstufe zum Terrabitraten-Ethernet

Datenraten: 60 ... 400 Gbit/s

Zielstellung:

Optische Transportnetze

Video-Übertragungen

Parameter der Ethernet-Familien 40/100/400 GbE

Standard	Übergabemedien	Länge
40GBase-KR4	4 x Multimode-Faser	1 m
40GBase-CR4	4 x Twinaxialkabel	10 m
40GBase-SR4	4 x Multimode-Faser	100 m
40GBase-LR4	Monomode-Faser mit 4 x Wellenlängenmultiplex	10 km
100GBase-CR10	10 x Twinaxialkabel	10 m
100Gbase-SR10	10 x Multimode-Faser	100 m
100GBase-LR4	Monomode-Faser mit 4 x Wellenlängenmultiplex	10 km
400Gbase	Noch in Entwicklung	

IEEE 802.3af - Power over Ethernet

Stromversorgung über Cu-TP-Kabel ab Kat. 3

Nutzung der ungenutzten Adern im Kabel

oder

zusätzlich Gleichstrom über die verwendeten Adern

Steuerelektronik

Kontrolle: angeschlossenes Gerät PoE-tauglich ?

Spannung: 48 V

Leistung: bis 15,4 Watt

Integriertes Szenario – Schrittweise Migration

