

Lokale Netze I

1 Einführung

1.1 Einordnung des Stoffgebietes, Voraussetzungen

1.2 Bereich der LAN und Topologien

1 Einführung

1.1 Einordnung des Stoffgebietes, Voraussetzungen

- Womit beschäftigen wir uns in diesem Modul?
- Datenübertragung im lokalen Bereich
- Schwerpunkt sind Geräte und Netze und die dafür verwendeten Technologien
- Am nächsten zu praktisch aufgebauten Systemen und behandelt auch solche
- Voraussetzung ist „Einführung in die Nachrichtentechnik“

1 Einführung

1.2 Bereich der LAN und Topologien (1)

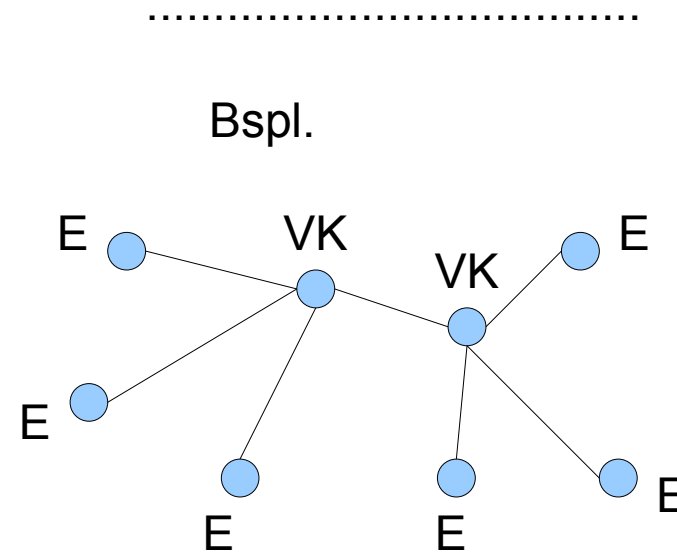
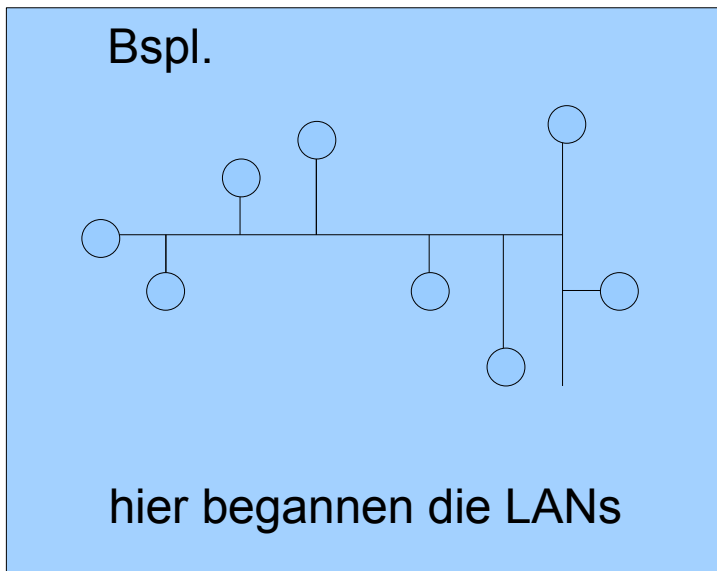
	lokales Netz LAN	Stadtnetz MAN	Weitverkehrsnetz WVN (WAN)
Ausdehnung	mehrere 10...100m	mehrere km ... 10 km	x km ... Welt
Anzahl Endstellen	einige ... einige 100	einige 1000	>>1000 ... x Mio
Ursprung	Datenwelt	Datenwelt	Telefonwelt (Telegrafie)
Beginn	ca. 1970	ca. 2000	ca. 1876 (ca. 1835)

1.2 Bereich der LAN und Topologien (2)

Netzwerk: n Knoten $n > 2$

n Kanten $n > 1$

Topologie:
(shared medium)



Lokale Netze I

2 Modelle und Basisverfahren

2.1 Schichtenmodell

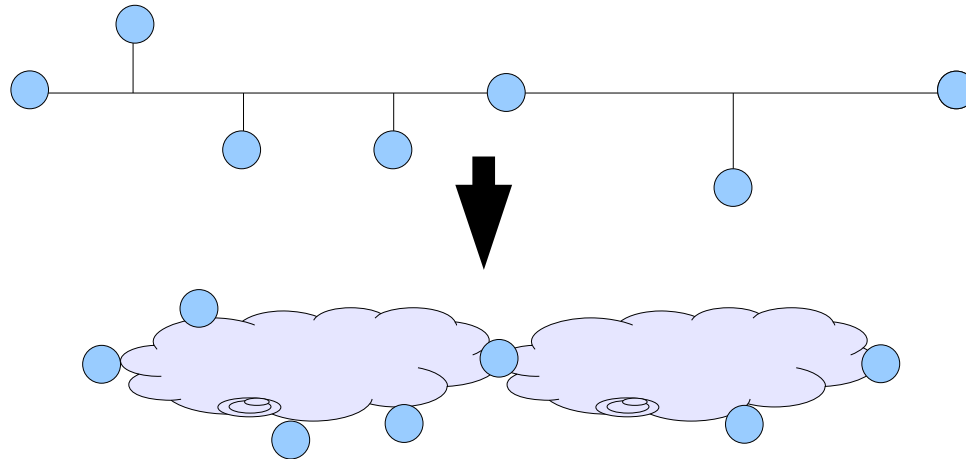
2.2 Zugriffsverfahren

2.3 Entwicklungslinien und Normengebäude

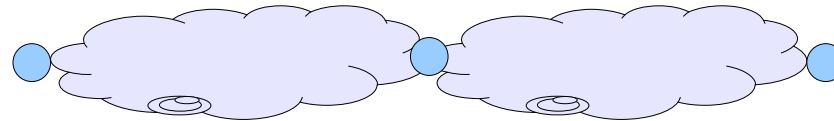
2 Modelle und Basisverfahren

2.1 Schichtenmodell (1) - Warum?

Beispieltopologie für einfaches Schichtenmodell

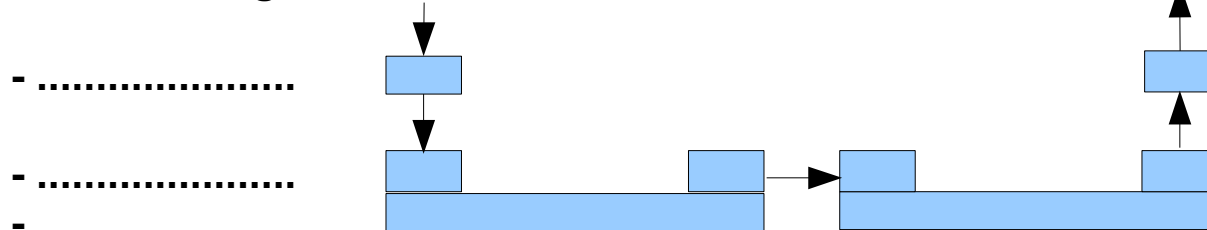


Betrachtung Datenfluss zwischen zwei Endstellen



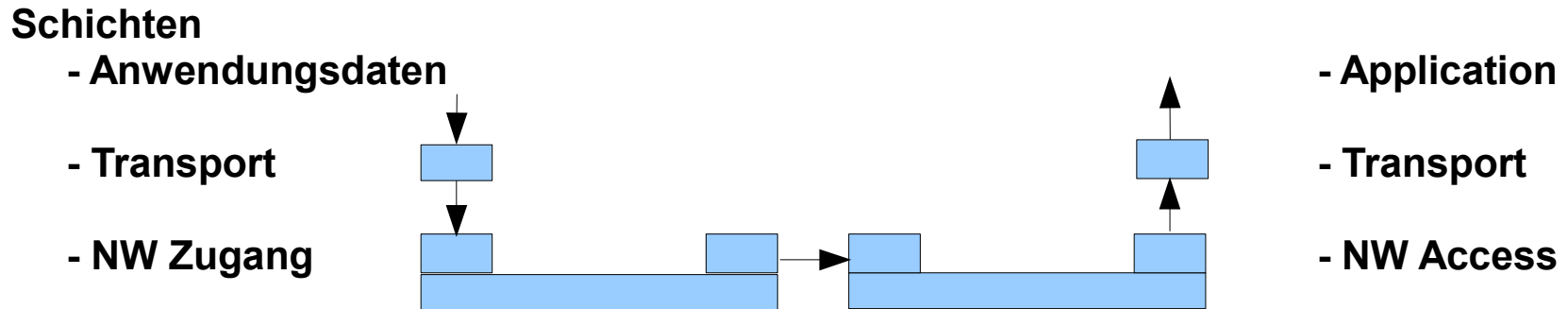
Schichten

- **Anwendungsdaten**



einfaches Modell
aus der Praxis

2.1 Schichtenmodell (2)



- Dieses einfache Schichtenmodell hat erst einmal eine Zeit so gereicht.
- 1984 OSI Schichtenmodell (anfangs hauptsächlich Daten über WAN / WVN)
- nachfolgend auch Anwendung auf LAN
- 2 Modelle werden betrachtet: OSI-Modell und DOD-Modell

OSI:
ISO, ab 1974 entwickelt, veröffentlicht 1984

2.1 Schichtenmodell (3)

- 2 Modelle: OSI-Modell und DOD-Modell (gegenüber dem einfachen Modell)

einfaches Modell	DOD-Modell		OSI-Modell	
Application Layer	4	Process Layer (Application Layer)	7	Anwendungsschicht Layer
			6	Darstellungsschicht Layer
			5	Sitzungsschicht Layer
Transport Layer	3	Host to Host Layer	4	Transportschicht Layer
	2	Internet Layer	3	Vermittlungsschicht Layer
Network Access Layer	1	Network Access Layer	2	Sicherungsschicht Layer
			1	Bitübertragungsschicht Layer

2.1 Schichtenmodell (4)

OSI-Modell	
7	Anwendungsschicht Application Layer
6	Darstellungsschicht Presentation Layer
5	Sitzungsschicht Session Layer
4	Transportschicht Transport Layer
3	Vermittlungsschicht Network Layer
2	Sicherungsschicht Data Link Layer
1	Bitübertragungsschicht Physical Layer

Beispiele

Email, Bilddienst, Textdienst

Zeichensatz, Formatierung, Umwandlung Bild - Datei

Datenverbindung während der Anwendung,
(opt. Wiederaufnahme nach Abbruch)

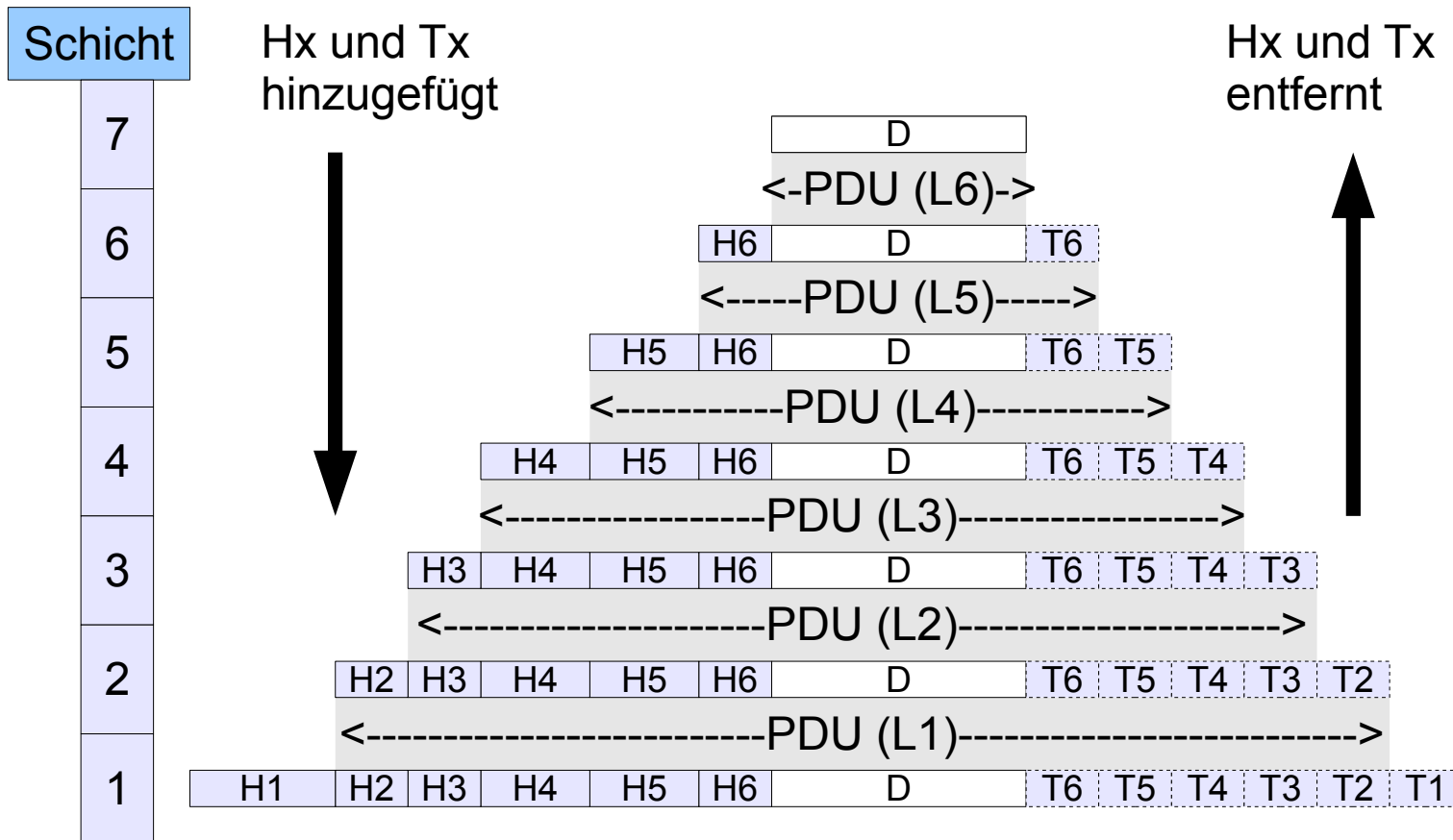
Datentransport von Endstelle zu Endstelle

Datentransport Endstelle – Vermittlungsknoten - ...
- Vermittlungsknoten - Endstelle

Datentransport von Knoten zu Knoten

Zugang zum physikalischen Medium,
physikalisches Medium

2.1 Schichtenmodell (5)



Hx – der Schicht x
 Tx – der Schicht x (optional)
 PDU_x –
 der Schicht x

Der enthält Steuerinformationen des Protokolls der Schicht.
 Der schließt den Block und kann z. B. Prüfinformationen enthalten.

Hx und Tx sind der der Schicht x, evtl. auch teilweise zwischen der PDU_x.

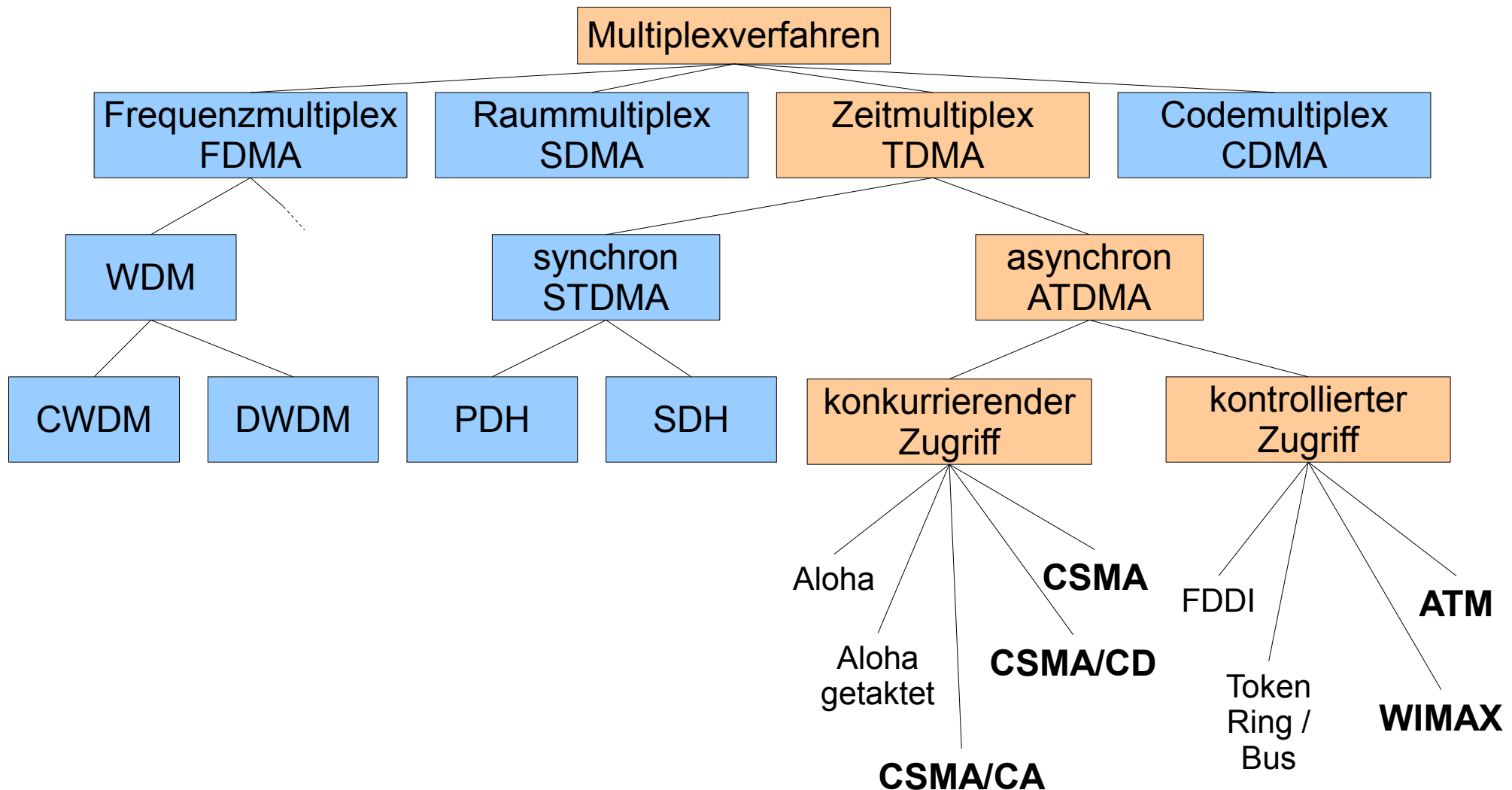
2.1 Schichtenmodell (6)

- ACHTUNG!
 - Bei gleich bleibenden Nutzdaten (oberste Schicht) wächst die Datenmenge mit sinkender Schichtnummer.
 - Jede Schicht hat ihren Overhead.
 - Ist die Leitungsdatenrate bekannt (unterste Schicht), so kann daraus die Datenrate der jeweiligen PDUs berechnet werden.
 - In aller Regel ist die Leitungsdatenrate höher, als jede PDU-Datenrate.
 - Bei konstanter Leitungsdatenrate ist die PDU-Datenrate um so geringer, je weiter oben die jeweilige Schicht im Stapel liegt.

2 Modelle und Basisverfahren

2.2 Zugriffsverfahren (1)

- Wie wird die gemeinsame Ressource „shared medium“ unter den Teilnehmern am LAN aufgeteilt?
Wie werden die Zugriffe synchronisiert?



2.2 Zugriffsverfahren (2)

- konkurrierender Zugriff
 - keine zentrale Steuerung
 - jede Station muss selbst entscheiden, ob sie zum Zeitpunkt t zugreifen kann

Vorteile:

flexibler Aufbau

relativ ausfallsicher
(keine zentrale Komponente)

Nachteile:

kein garantierter Durchsatz

unbestimmte max. Wartezeit jeder Station

mathematisches Werkzeug:

Poissonprozeß: $P(k)$ ist die Wahrscheinlichkeit für k Ereignisse im Zeitintervall T

$$P(k) = \frac{(\mu T)^k}{k!} e^{-\mu T}$$

T : Zeitintervall

μT : mittlere Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis in T

k : Anzahl Ereignisse $k = 1, 2, 3, \dots$

2.2 Zugriffsverfahren (3)

- konkurrierender Zugriff

mathematisches Werkzeug:

Poissonprozeß: $P(k)$ ist die Wahrscheinlichkeit für k Ereignisse im Zeitintervall T

$$P(k) = \frac{(\mu T)^k}{k!} e^{-\mu T}$$

T : Zeitintervall

μT : mittlere Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis in T

k : Anzahl Ereignisse $k = 1, 2, 3, \dots$

Anwendung auf Netze – Ermittlung des Durchsatzes

$T = 1$: normierte Rahmendauer

$G = \mu T$: mittlere Anzahl erzeugter Rahmen aller Stationen während einer Rahmendauer T

$D = G * P(0)$: Durchsatz; G mal P (keinen weiteren Rahmen in relevanter Zeit T_k/T)

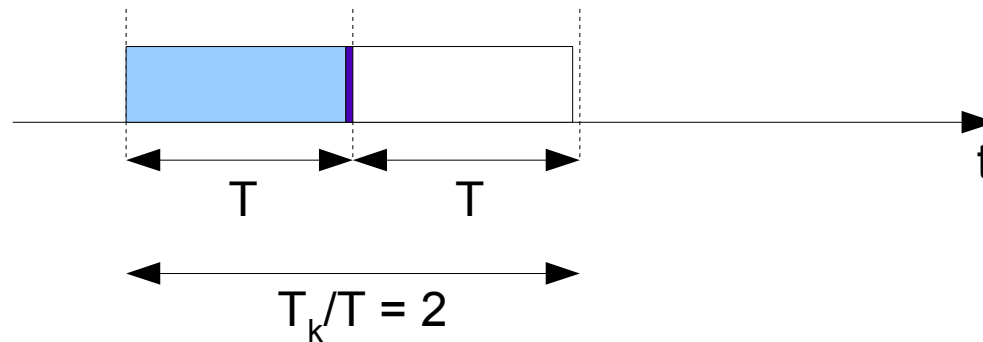
T_k/T : normiertes Kollisionsintervall

$$D = G * P(0) = e^{-\left(\frac{T_k}{T} G\right)}$$

2.2 Zugriffsverfahren (4)

- Aloha (reines Aloha – pure Aloha)

„Jeder sendet seinen Frame, wann er will“



$$D = G * e^{-2G}$$

D: Durchsatz pro Rahmenzeit
G: Frames pro Rahmenzeit

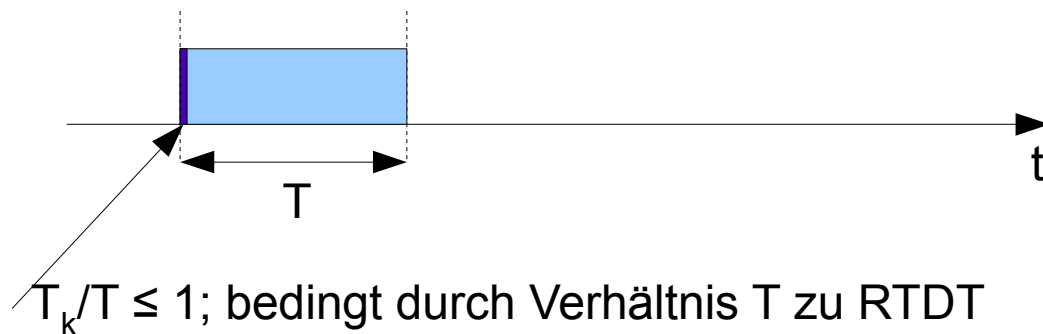
Maximum bei $G = 0,5 \rightarrow S = 18 \%$

- zu wiederholende Frames zählen mehrfach!!!

2.2 Zugriffsverfahren (5)

- CSMA (.....)

„Jeder sendet seinen Frame wenn er will, aber nur dann, wenn der Kanal gerade frei erscheint“



RTDT:; doppelte Signallaufzeit zwischen den am weitesten voneinander entferneten Teilnehmern; enthält Laufzeit durch die Leitung und Laufzeiten in Schaltungen

Verhältnisse hier komplexer als bei ALOHA, z. B. durch Wartestatus von Ereignissen

2.2 Zugriffsverfahren (6)

- CSMA/CD (...../.....)

„Jeder sendet seinen Frame wenn er will, aber nur dann, wenn der Kanal gerade frei erscheint. Er merkt, wenn es schief geht, bricht ab, und versucht es danach erneut, nachdem er eine zufällige Zeit gewartet hat. Wenn es zu oft nicht geklappt hat, wird abgebrochen“

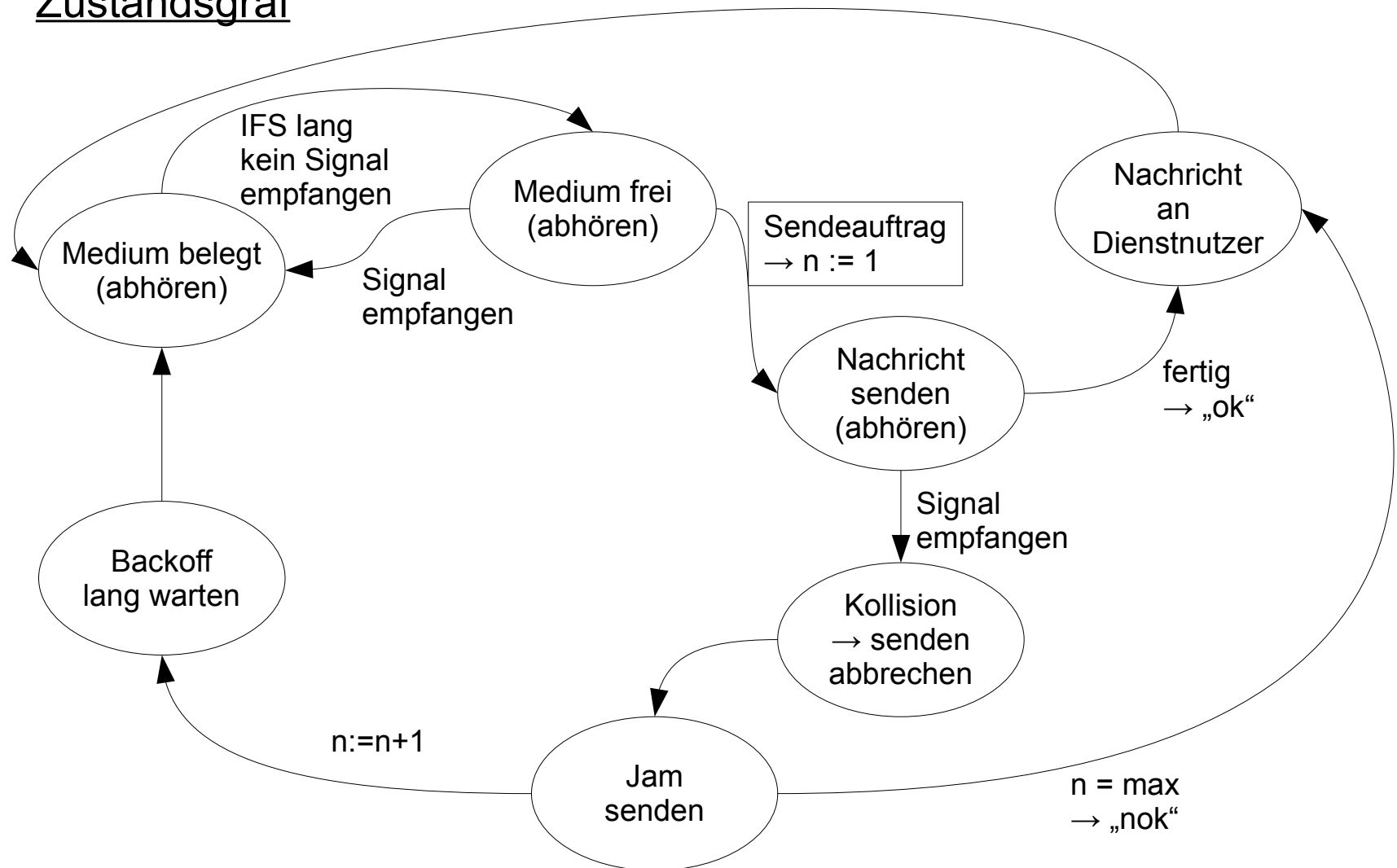
- Ethernet

Verhältnisse hier komplexer als bei ALOHA, z. B. durch Wartestatus von Ereignissen

2.2 Zugriffsverfahren (7)

- CSMA/CD (...../.....))

Zustandsgraf



2.2 Zugriffsverfahren (8)

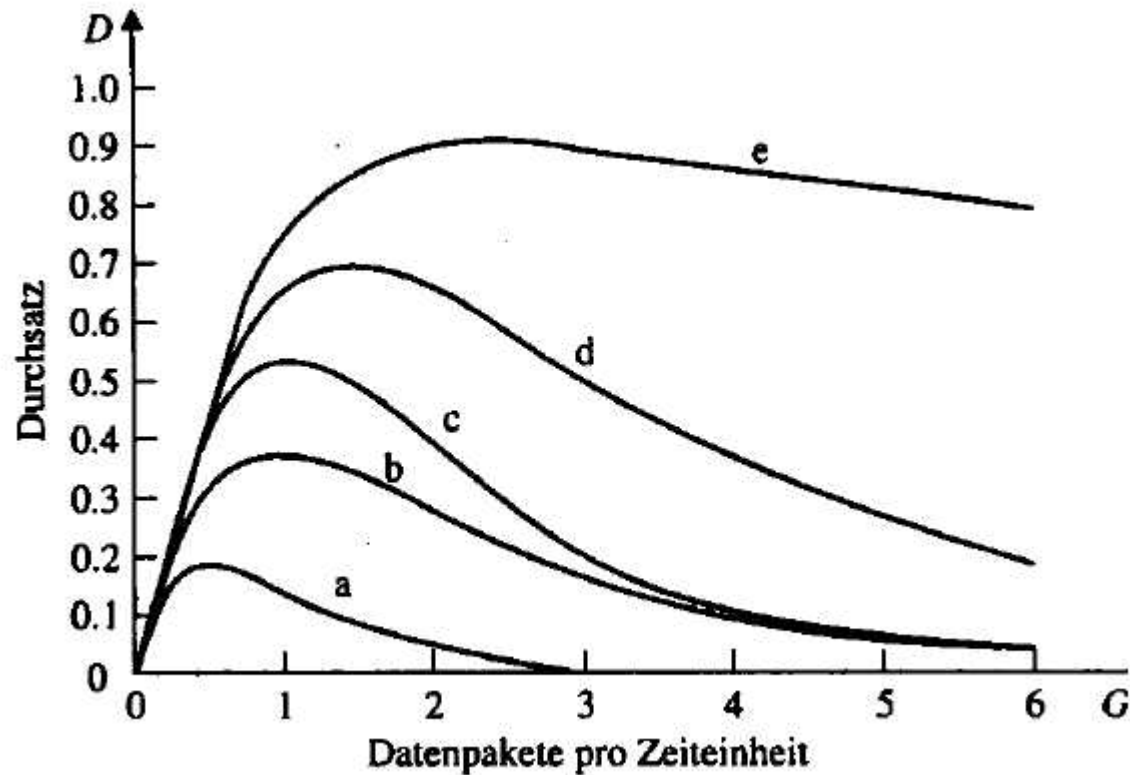
- CSMA/CD (...../.....)

backoff – zusätzliche Wartezeit nach Kollisionen
zufällige Dauer
sinnvollerweise steigend mit steigendem n
(Diskussion!)

p-persistent: mit Wahrscheinlichkeit p „sofort“ senden
mit Wahrscheinlichkeit $q = (1-p)$ backoff warten

2.2 Zugriffsverfahren (9)

- Vergleich des Datendurchsatzes



- a – reines ALOHA
- b – unterteiltes ALOHA
- c – CSMA
- d – CSMA/CD, $p = 0,5$
- e – CSMA/CD, $p = 0,1$

2.2 Zugriffsverfahren (10)

- CSMA/CA (...../.....)

„Jeder sendet seinen Frame wenn er will, aber nur dann, wenn der Kanal gerade frei erscheint und eine zufällige Wartezeit verstrichen ist. Er merkt später, ob es schief gegangen ist, und versucht es dann erneut.“

- typisch bei drahtlosen Netzen

- CSMA/CR (...../.....)

„Jeder sendet seinen Frame wenn er will, aber nur dann, wenn der Kanal gerade frei erscheint. Er merkt, wenn es schief geht. In dem Fall entscheidet sich auf Grund einer Prioritätsinformation, wer weiter oder gleich danach erneut senden darf.“

- CAN (Feldbuss)

2.2 Zugriffsverfahren (11)

- kontrollierter Zugriff
 - zentrale Steuerung
 - jede Station bekommt Zeitschlitz zugeteilt
 - entweder immer festen Zeitschlitz „auf Vorrat“
oder nach vorheriger Abfrage im einem (kurzen) Zeitschlitz

Vorteile:

gut kalkulierbarer Durchsatz

garantierte max. Wartezeit je Station

Nachteile:

extra zentrale Komponente nötig

Problem beim Ausfall zentraler Komponente
oder erhöhter Aufwand bei Redundanzkonzept

Der Datendurchsatz kann nahe an 100 % liegen.

- Token Bus / Token Ring
- WiMax

2 Modelle und Basisverfahren

2.3 Entwicklungslinien und Normengebäude (1)

	<u>LAN - Kabel</u>	<u>MAN</u>	<u>LAN - Funk</u> (ALOHA)
1970			
1972-75	Urvariante Ethernet XEROX, ca. 2Mbit/s		
1979	10 Mbit/s XEROX, DEC, Intel		
1980	Gründung IEEE 802		
1983	10Base2 IEEE 802.3		
1985	Bridges		
1990/91	Switches, 10BaseT	(Ethernetkopplung - WAN)	
1992	10BaseFX – LWL		

ohne Gewähr

2.3 Entwicklungslinien und Normengebäude (2)

	<u>LAN - Kabel</u>	<u>MAN</u>	<u>LAN - Funk</u>
1995	100BaseT		Start IEEE 802.11
1997			IEEE 802.11 fertig, 2 Mbit/s 2,4 GHz
1998	1000BaseSX/ LX/ ZX (LWL)	1000Base LX/ ZX (≥ 10 km LWL)	
1999	1000BaseT (Cu)		IEEE 802.11 b, 11 Mbit/s 2,4 GHz IEEE 802.11 a, 54 Mbit/s 5 GHz
2001		Gründung Metro Ethernet Forum (MEF) IEEE 802.16 fertig Gründung WiMAX-Forum	(IEEE 802.16 fertig)
2002	10GBaseSX/ LX/ ZX 100BaseFX		

ohne Gewähr

2.3 Entwicklungslinien und Normengebäude (3)

	<u>LAN - Kabel</u>	<u>MAN</u>	<u>LAN - Funk</u>
2003			IEEE 802.11g, 54 Mbit/s 2,4 Ghz
2003/4		Aufbau in Thüringen durch alternativen Netzbetreiber	
2006/7	10GBaseT		
9/2009			IEEE 802.11 n, 540 Mbit/s
6/2010	40G (IEEE 802.3ba) 100G (IEEE 802.3ba)		
???	1000G (Diskussion)		

Lokale Netze I

3. Ethernet

- 3.1 Normen, Schichtenmodelle und reales Netz
- 3.2 erste Realisierung und die Auswirkung auf heute
- 3.3 Aufbau der Frames
- 3.4 Bridge und Switch
- 3.5 VLAN – virtuelles LAN
- 3.6 STP – Spanning Tree Protocol
- 3.7 Autonegotiation
- 3.8 Flusskontrolle
- 3.9 Link Aggregation
- 3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung
- 3.11 Netzwerkmanagement
- 3.12 Netzdiagnose und Messverfahren

3.1 Normen, Schichtenmodelle und reales Netz (2)

- LLC –
 - ist für die Schnittstelle zum Dienstenutzer zuständig
 - bietet die SAPs, ordnet Datenströme SAPs zu
DSAP – destination SAP; SSAP – source SAP
 - arbeitet mit MAC zusammen

- MAC –
 - regelt den logischen Zugriff auf das Medium
 - arbeitet mit LLC zusammen

- Diskussion der Modelle im Vergleich:
 - beim OSI-Modell war man von Medienzugriffen
ausgegangen
 - beim DOD hatte man mehr und im Blickfeld

3.1 Normen, Schichtenmodelle und reales Netz (3)

Auswahl der Arbeitsgruppen

IEEE 802.1 – High Level Interface (Internetworking)

IEEE 802.2 – Logical Link Control (Diensttypen und logische Verbindungssteuerung)

IEEE 802.3 – CSMA/CD (Ethernet) (inzwischen nicht nur CSMA/CD!!!!)

...

802.3u – Fast Ethernet

802.3z - Gigabit Ethernet über Glasfaser

802.3ab - Gigabit Ethernet über UTP

802.3ad - Link Aggregation

802.3ae – 10 Gigabit Ethernet

802.3an – 10 GBase-T

802.3af – Power over Ethernet

\
|
|
| Auszug
|
|
/

...

...

IEEE 802.10 – SILS (Standard for Interoperable LAN Security) - Empfehlungen über Sicherheitsaspekte im LAN

3.1 Normen, Schichtenmodelle und reales Netz (4)

OSI-Modell			DOD-Modell	
7	Anwendungsschicht Application Layer		4	Process Layer (Application Layer)
6	Darstellungsschicht Presentation Layer			
5	Sitzungsschicht Session Layer			
4	Transportschicht Transport Layer			
3	Vermittlungsschicht Network Layer	Ethernet (Synonym IEEE802.3)	3	Host to Host Layer
2	Sicherungsschicht Data Link Layer	LLC Layer (802.2)	2	Internet Layer
		MAC Layer (802.3, ...)		
1	Bitübertragungsschicht Physical Layer	Physical Layer (802.3, ...)			1	Network Access Layer

LLC – logical link control MAC – Media Access Control

3.2 erste Realisierung und die Auswirkung auf heute (1)

Yellow Cable – die erste Art der Verkabelung mit vom Rechner abgesetzten Transceivern
(10Base5)

Thin Ethernet – die spätere und einfachere Variante der Verkabelung mit dünnerem
(10Base2) Koaxialkabel (oft RG58U)

Beide Varianten haben nur noch historische Bedeutung.

Bilder mit den Elementen und den Zusammenschaltungen sind im Internet zu finden.

(Muster)

Aber:

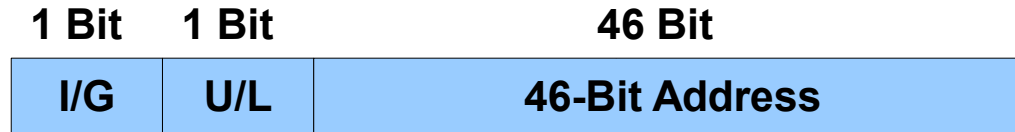
Besonderheiten des CSMA/CD, die aus dem gemeinsam genutzten Medium resultieren, schleppen wir bis heute mit.

→ pauschal: Kompatibilität bedeutet auch Mitschleppen

3.3 Aufbau der Frames (3)

- 3.3.2 Layer 2

Address Fields

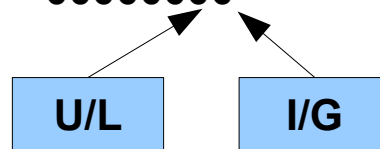


	DA	Sa
I / G	0 – Einzeladresse 1 – Gruppenadresse	0 – Einzeladresse 1 – (reserviert)
U / L	0 – global verwaltet 1 – lokal verwaltet	0 – global verwaltet 1 – lokal verwaltet

Schreibweise üblicherweise hexadezimal
Oktetts meist getrennt durch „-“ oder „:“

Beispiel: 00-11-D8-45-43-a9 (global verwaltete Einzeladresse)
01-00-5E-... (global verwalteter Bereich für Multicast)

Achtung: 00- = 00000000



3.3 Aufbau der Frames (4)

- 3.3.2 Layer 2

Length / Ethertype

- 2 Interpretationen, abhängig vom Wert
 - <1536 (0600h) → Length
 - ≥1536 (0600h) → Ethertype

Beispiele für Ethertype:

0x0800	Internetprotokoll Version 4 (Ipv4)
0x0806	Address Resolution Protocol (ARP)
0x809b	Apple Talk (Ethertalk)
0x80f3	Apple Talk Address Resolution Protocol (AARP)
0x8100	IEEE 802.1 q tagged Frames
0x86dd	Internetprotokoll Version 6 (Ipv6)
0x8847	MPLS unicast
0x8848	MPLS multicast
0x8863	PPPoE Discovery Stage
0x8864	PPPoE Session Stage
0x9100	Q-in-Q

3.3 Aufbau der Frames (5)

- 3.3.3 Datenraten der Schichten
 - „Bitrate“ des Ethernet ergibt sich aus dem reziproken Wert des Signalschrittes $1 / T$ und ist somit auf L1 bezogen --> Leitungsgeschwindigkeit
 - Bitrate L1 ist genau genommen schon deshalb nicht die Datenrate L1, weil IFS / IFG nicht zum Frame gerechnet werden.
 - Auch bei max. dicht nacheinander gesendeten Frames ergibt sich keine allgemein ermittelbare maximale Datenrate, da der Anteil von IFS pro Zeiteinheit von der Länge der Frames abhängt.
 - Bitrate L1 ist weiterhin deshalb nicht eine PDU-Datenrate, weil außer der PDU noch Overhead übertragen wird.
 - Eine max. L1 Datenrate kann für bestimmte Framelängen ermittelt werden. Dabei wird von der PDU einer bestimmten Schicht ausgegangen.
 - Analog zu L1 gilt das auch für L2 usw.
 - (Beispiele, Berechnung siehe auch 3.4 (8))

3.3 Aufbau der Frames (6)

- Analyse konkreter Beispiele (Mitschnitte) in der Vorlesung

Achtung, zu beachten bei Wireshark:

3.4 Bridge und Switch (1)

- 3.4.1 Hub, Bridge und Switch

1985 Bridges ??? HUBs
1990/91 Switches

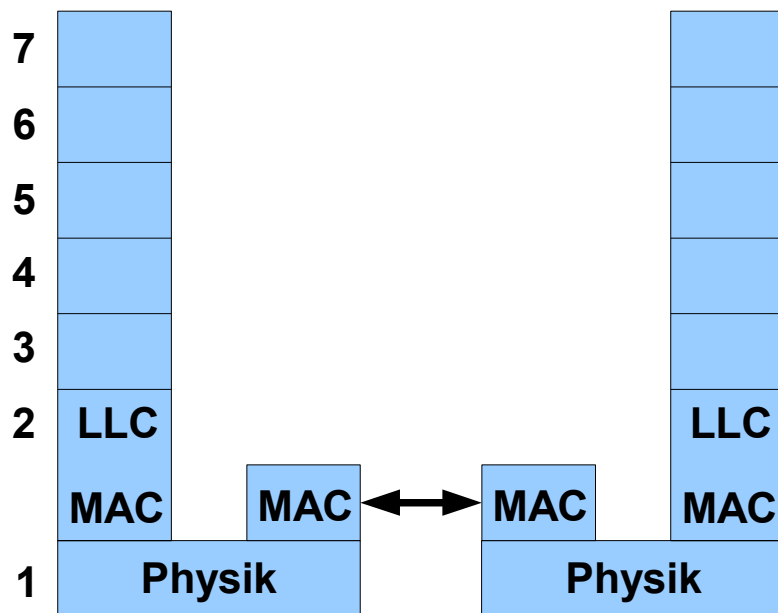
- spezielle Eigenschaften der ursprünglichen LAN
 - Kollisionen → Datendurchsatz deutlich unterhalb Leitungsgeschwindigkeit
 - Kollisionen → max. Ausdehnung LAN
 - ein Medium → Fehler an einer Stelle stört ganzes LAN

- Lösung: (Bilder zu den Netzstrukturen)

3.4 Bridge und Switch (2)

- 3.4.2 Grundregeln der Bridge

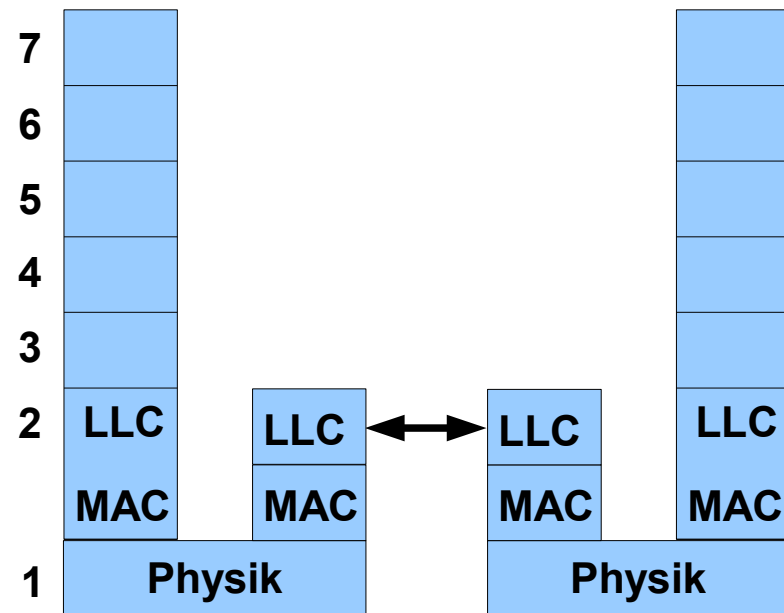
MAC-Bridge



selbe L2-Technologie (z. B. Ethernet)

selber Ort / entfernte Orte

LLC-Bridge



selbe oder unterschiedliche L2-Technologie (z. B. Ethernet und Token Ring)

selber Ort / entfernte Orte

3.4 Bridge und Switch (3)

- 3.4.2 Grundregeln der Bridge
 - MAC-Bridge
 - aufteilen Kollisionsdomänen
- - LLC-Bridge
 - L2-Technologien übersetzen (aufteilen Kollisionsdomänen und Übersetzen von Protokollen)

3.4 Bridge und Switch (4)

- 3.4.2 Grundregeln der Bridge !!!!!

- Transparent Bridge (Bedeutung:)

- MAC-Adressen lernen (vom Sender)
 - selektives Weiterleiten von Frames

- broadcast

- Multicast

- unicast (ungelernte MAC-Adresse)

- unicast (gelernte MAC-Adresse)

- Source Routing Bridge (Bedeutung:)

- Sender gibt vollständigen Pfad vor → LLC-Ebene

- Zusammenfassung Bridgeverfahren

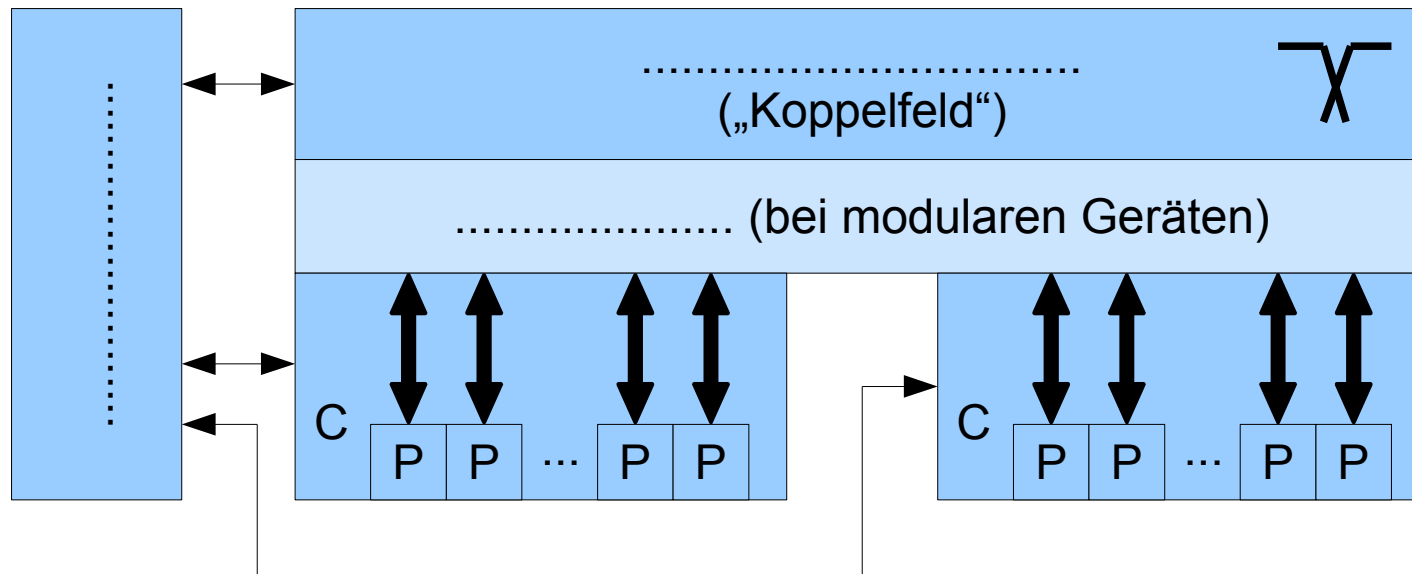
	MAC-Bridge	LLC-Bridge
Transparent Bridge	X	(?)
Source Routing Bridge	--	X

3.4 Bridge und Switch (5)

- 3.4.2 Der Switch
 - Der Gedanke des HUB und der Gedanke der Bridge führen zum Switch. (Zumindest könnte es so gewesen sein.)
 - Der Switch ist eine Bridge mit einer größeren Anzahl Ports, zumindest aber 3 Stück.
 - Die Ports eines Switches passen zu einer durchgehenden L2-Technologie, heute wohl durchweg Ethernet → MAC-Bridge.
 - Es können Ports mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten am selben Switch vorhanden sein.
 - Es können unterschiedliche Geschwindigkeiten und Duplexarten an ein und demselben Port möglich sein (typisch 10/100 oder 10/100/1000) (wahlweise, nicht gleichzeitig aktiv).

3.4 Bridge und Switch (5)

- 3.4.2 Der Switch – Prinzipschaltbild



C – Puffer (Buffer) zum Zwischenspeichern von
 P – Frames oder Teilen davon nicht dargestellt.

Die schaltet Frames entsprechend der Weiterleitungsregeln an einen oder mehrere Ports durch.

3.4 Bridge und Switch (6)

- 3.4.2 Der Switch – aktuelle Beispiele (2010)



heute typisch:

- N x 48 x 10/100 Mbit/s
- + M x 12 x 1000 Mbit/s
- + K x 4/8/16 x 10 Gbit/s

A



- 24... 48 x 10/100 Mbit/s
- + 2...4 x 1000 Mbit/s
- 12...24 x 10/100/1000 Mbit/s
- 12...24 x 10/100/1000 Mbit/s
- + 2...4 x 1000 Mbit/s
- (+ 2 x 10 Gbit/s)

B

- 4...8 x 10/100(/1000) Mbit/s

C

Quellen: www.cisco.com, www.extremenetworks.com

3.4 Bridge und Switch (7)

- 3.4.2 Der Switch

- Geräte je Switchport (und wie):

- Wenn jeweils direkt nur ein Gerät je Switchport → keinerlei Kollisionen mehr
→ möglich

- Weitergabe von Frames mittels store-and-forward oder cut-through

min. Latenzzeit

Einfluß von CRC-Fehlern

- Switching Fabric – Die Weiterleitungsstruktur bzw. -Einheit

Leistungsfähigkeit (fps oder auch pps; Achtung: für alle Richtungen in
Summe - Beispiele)

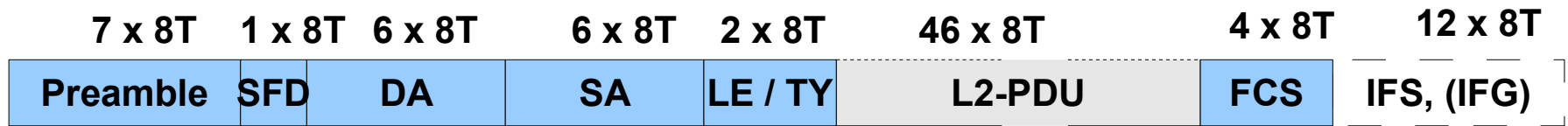
Blockierungsfreiheit -

3.4 Bridge und Switch (8)

- 3.4.2 Der Switch

- Beispiel für die Ermittlung der maximalen Anzahl von Frames pro Sekunde

Die maximale Anzahl entsteht bei langen Frames und langem IFS.



Ein minimal langer Frame beansprucht eine Dauer von $84 * 8T$.

$$T_{Fr} = \dots$$

T_{Fr} : Dauer eines Frames, in T
 T : Dauer eines Signalschrittes
 auf der Leitung

$$R_{Fr} = \frac{\dots}{\dots}$$

R_L : Leitungsrate, in T pro Sekunde
 R_{Fr} : Framerate

R_L	R_Fr /Fr/sec
10 Mbit/s	
100 Mbit/s	
1000 Mbit/s	1.488.095

max. Framerate

3.4 Bridge und Switch (und Hub) – Fazit oder Übersicht

- Der Hub löst das Problem, daß auf einem ausgedehnten Netz mit Koaxkabel ein Fehler schwer zu lokalisieren ist. Mit Ausnahmen wird an jeden Port des Hub nur eine Station angeschlossen. Der Hub arbeitet auf OSI-Layer 1. Alle Teilnehmer befinden sich in einer
- Die meisten Hubs wurden nicht mehr für reine Koaxialkabelnetze gebaut, sondern für den Anschluss über Twisted Pair Kabel (Doppeladern). Bei diesen sind die Sende- und die Empfangsrichtung elektrisch voneinander getrennt. Diese Entwicklung kommt von der Vereinheitlichung der Gebäudeverkabelung und eröffnet dem LAN durch die Trennung der Übertragungsrichtungen neue Möglichkeiten. Die Montage wird erleichtert. Das passive Netz (Verkabelung) ist für mehrere Dienste (z. B. Ethernet und Telefon) nutzbar. Die Verbindungen sind elektrisch
- Die Bridge verbindet einzelne LAN-Segmente. Frames aus einem LAN werden nur dann in andere LANs weitergeleitet (über die Brücke gelassen), wenn sich der Empfänger „auf der anderen Seite“ befindet oder dort vermutet wird. Die Bridge Kollisionsdomänen, verkleinert sie bei Bedarf und lässt größere Netzwerkausdehnungen zu. Die Bridge arbeitet auf OSI-Layer 2.
- Der Switch ist praktisch eine Mehrport-Bridge (transparente MAC Bridge). Die Ports haben immer elektrisch (oder optisch) getrennte Sende- und Empfangsrichtungen. Die Ports können jetzt im Vollduplex betrieben werden, was den maximalen Datendurchsatz deutlich erhöht. Werden an einzelne Ports / jeden Port nur einzelne Stationen oder andere Switche angeschlossen, so ist diese Verbindung / das Netz kollisionsfrei. Der Switch arbeitet auf OSI-Layer 2. Abweichend vom OSI-Modell hat er bereits eine Vermittlungsfunktion, was eigentlich dem OSI-Layer vorbehalten ist.

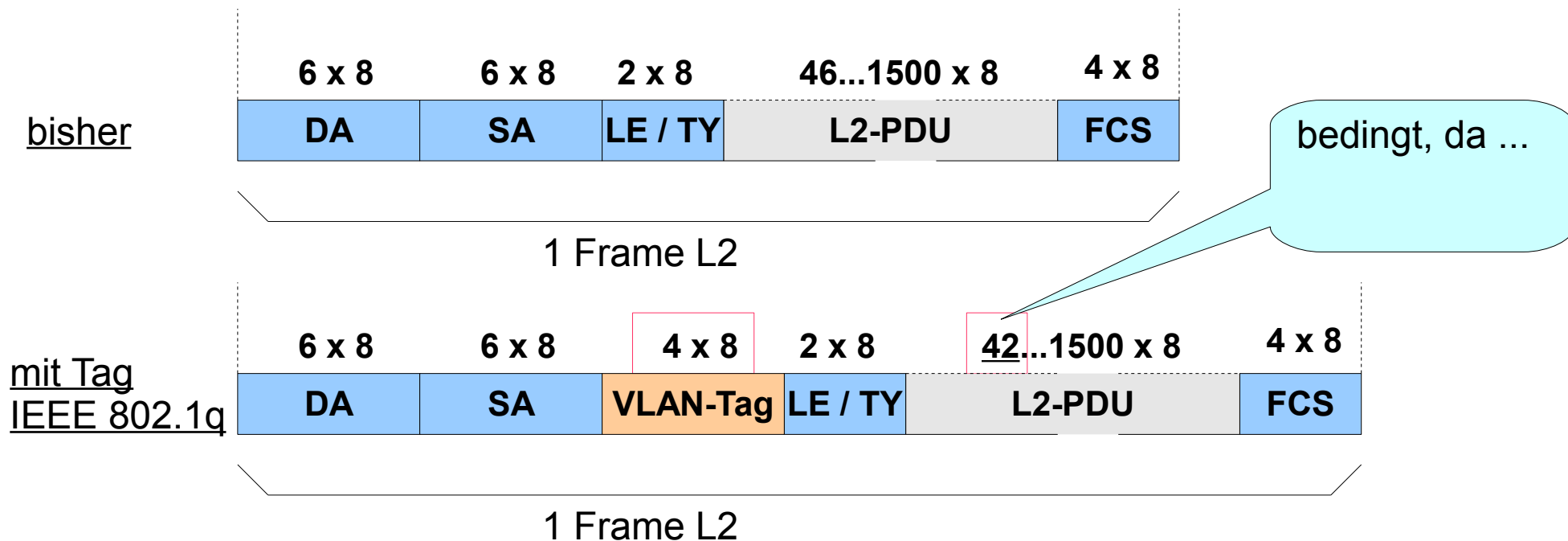
3.5 VLAN – virtuelles LAN (1)

- Entstehen von großen LANs
- Logisch wären oft LANs wünschenswert, wobei die jeweiligen Ports nicht lokal konzentriert sind. → Beispiel
- Einführen von virtuellen LANs auf der selben Hardware
→ VLAN
Jedes VLAN verhält sich wie ein LAN → LAN-Verkehr nach geeigneten Kriterien trennen → Broadcast Domänen
- Heute wohl hauptsächlich oder nur noch von Interesse VLAN nach IEEE 802.1q
- Erweiterung des Headers nach IEEE 802.1q

(Skizze)

3.5 VLAN – virtuelles LAN (2)

- Erweiterung des Headers nach IEEE 802.1q:



VLAN-Tag: 2x8 - TPID – Tag Protocol Identifier – hier immer 0x8100
 1x3 – Prio – Priorität nach IEEE 802.1p
 1x1 - CFI – Canonical Format Indicator, hier immer 0
 1x12 – VID – VLAN Identifier (0, 1...4094, 4095)

(Diskussion Kompatibilität)

3.5 VLAN – virtuelles LAN (3)

- Gerätekopplung, über die jeweils Verkehr mehrerer VLANs gesendet/ empfangen werden soll
 - typischerweise Switche untereinander, aber auch andere
 - „Trunk“, „Tagged Port“ (Tag nach IEEE 802.1q)
 - Zugehörigkeit zu (einem,) mehreren oder allen VLANs

- Gerätekopplung, über die Verkehr nur eines VLANs gesendet/ empfangen werden soll
 - typischerweise Endgerät an Switch
 - „Access Port“, „untagged Port“
 - zugehörig zu jeweils einem VLAN: statisch / dynamisch gelernt nach MAC, IP, Protokoll

(Strukturbilder)

3.5 VLAN – virtuelles LAN (4)

- Bekanntgabe von VLANs im Switch:
(natürlich nur in VLAN-fähigen Geräten)
 - Eintrag der VLANs in jeden beteiligten Switch
 - Eintrag in einen Switch in die VLAN-Database und Weitergabe der Information mittels – VTP (Cisco)
 - VTP: Betriebsarten
 - Server Modus (1...1024)
 - Client Modus (1...1024)
 - transparent (alle) – Eintrag in diesen Switch manuell (siehe Punkt oben)
- Zuordnung von VLAN zu Trunks:
 - manuell (evtl. vorsorglich alle möglichen)
 - MVRP - (lt. IEEE802.1Q)

3.6 STP - Spanning Tree Protocol (1)

- Erreichen von schleifenfreien Strukturen, auch wenn physisch Schleifen vorhanden sind
(Diskussion zu Problem der Schleifen im Ethernet)
 - Spannbaum erreichen (Spanning Tree), kommt aus Graphentheorie
minimaler Spannbaum ergibt sich aus Gewichtung der Kanten
- Verfahren: Spanning Tree Algorithmus (Radia Perlman) IEEE 802.1d (1998)
 - ein Switch ist Rootbridge (Wurzel) – „zufällig“ oder gezielt.
 - Von ihm ausgehend werden Abschnitt für Abschnitt alle Wege (Pfade) kontrolliert.
 - Kommen auf einem Switch zwei oder mehr Wege zusammen, so werden hier alle bis auf einen blockiert. Über Wichtungsfaktoren („Kosten“) wird der günstigste Weg genutzt.
 - Die Kontrolle (Steuerung) erfolgt mittels (BPDU).
 - Die Root Bridge sendet zyklisch BPDUs über alle Ports. Empfangende Switches kontrollieren, ob sie über mehr als einen Port solche BPDUs bekommen. Wenn ja, wird blockiert. Über alle Ports, über die keine solche BPDUs kamen, werden BPDUs gesendet.

3.6 STP - Spanning Tree Protocol (2)

- Beispiele
(Strukturen und Ergebnis von Spanning Tree, Zeitverhalten)

- Phasen:
 -
 -
 -
 -

- Diskussion
(Zeit der Rekonfiguration, Angriffsmöglichkeit)

3.6 STP - Spanning Tree Protocol (3)

- Wenn keine begründete, bessere Idee, dann Standardeinstellungen belassen!!!
- Die Root Bridge sollte besser manuell ausgewählt werden.

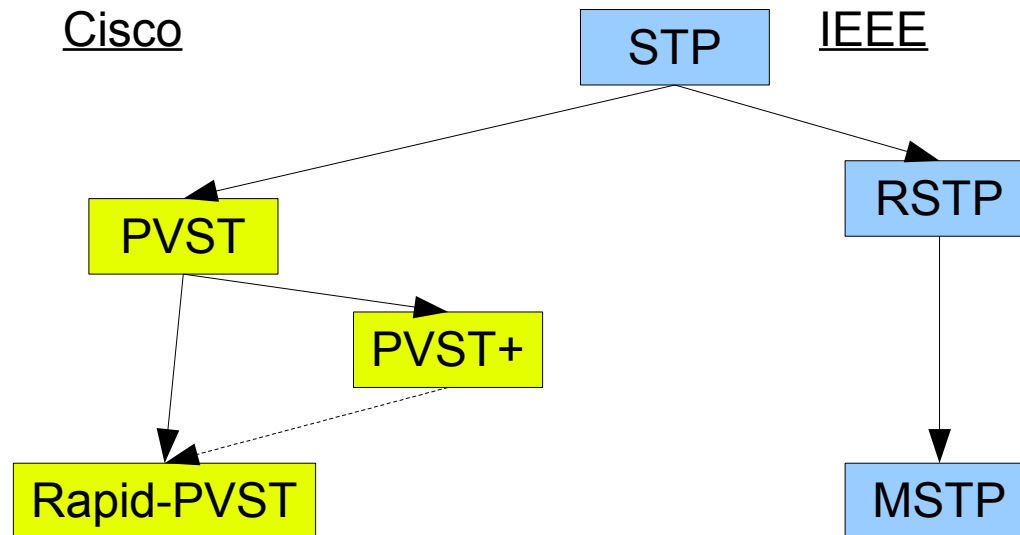
- STP inzwischen durch RSTP abgelöst. MSTP ist eine durch IEEE genormte Weiterentwicklung von STP. PVST ist eine Weiterentwicklung durch Cisco

(siehe nächste Seite)

3.6 STP - Spanning Tree Protocol (3)

- Weiterentwicklungen:

- Rapid Spanning Tree RSTP IEEE 802.1w
- Per VLAN Spanning Tree PVST (Motivationen, Merkmale)
- Per VLAN Spanning Tree+ PVST+
- Rapid Per VLAN Spanning Tree Rapid-PVST
- Multiple Spanning Tree MSTP IEEE 802.1s → IEEE 802.1q („VLAN“)

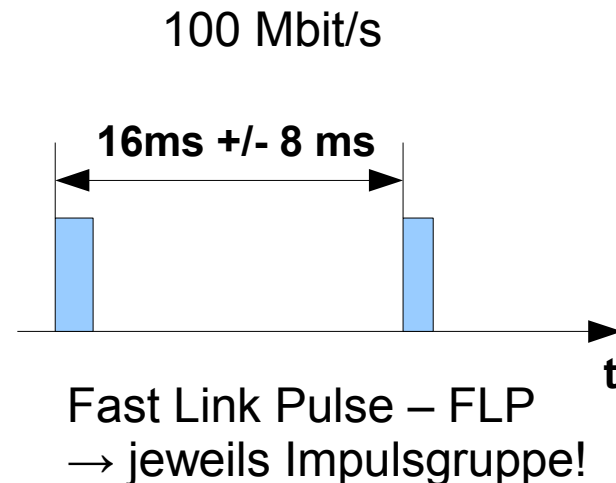
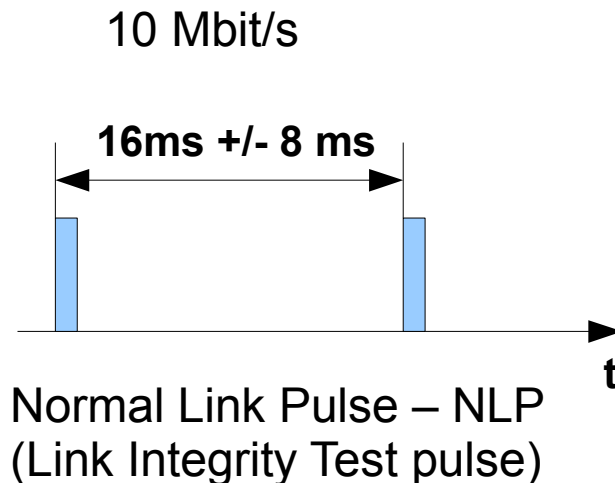


3.7 Autonegotiation (1)

- Automatisches Aushandeln der Eigenschaften von 2 Ethernetports, die direkt miteinander verbunden sind (→ Bild) IEEE 802.3u

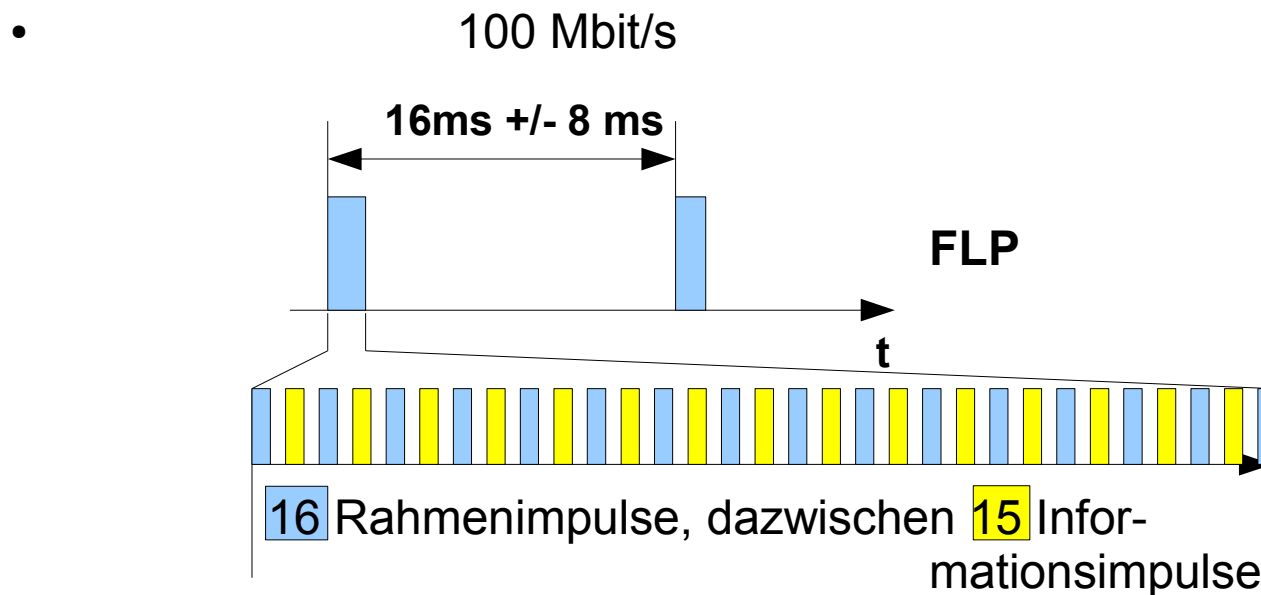
-
-
-

- Basis ist der Linkpulse – das Lebenszeichen auf Layer 1:
 - Wenn keine Daten vorliegen, dann aller 16+/-8 ms ein Impuls bzw. eine Impulsgruppe:



3.7 Autonegotiation (2)

- Am Rande: nach ca. 100 ms +/- 50 ms ohne Daten und ohne Impulse →



- FLP wird von 10 Mbit/s-Port als NLP erkannt → ok
- 15 Informationsimpulse innerhalb FLP bilden das – **LCW**
Dieses enthält u. A. die technischen Möglichkeiten.
- Nach Empfang wird die effektivste gemeinsam mögliche Betriebsart gewählt.
- Wenn Gegenstation kein Autonegotiation unterstützt (gar nicht oder deaktiviert), dann kann immer noch die erkannt werden.

3.7 Autonegotiation (3)

- Wenn Gegenstation kein Autonegotiation unterstützt (gar nicht oder deaktiviert), dann kann immer noch die erkannt werden.
- Wenn Gegenstation kein Autonegotiation unterstützt (gar nicht oder deaktiviert), dann geht die Station mit Autonegotiation in die Halbduplex-Betriebsart.
 - Fehlerquelle! → Auswirkung von Duplex Mismatch!
- Bei älterer Technik gelegentliche Probleme mit Autonegotiation; Nur bei managbaren Switchen eindeutig erkennbar!

3.8 Flusskontrolle (1)

- nach IEEE 802.3x; auf Layer 1
 - empfangendes Gerät kann bei Datenstau an das sendende Gerät schicken
 - Frame an Multicastadresse 01-80-c2-00-00-01
 - Inhalt ist Zahl $N = 1 \dots 65.535$
 - N mal 512 Zeitabschnitte T (Bitdauer) muß das sendende Gerät die Sendung unterbrechen.
 - Vor Ablauf kann das empfangende Gerät Frame mit $N = 0$ senden.
 - Ist mit Vorsicht zu verwenden. (Begründung)

3.9 Link Aggregation (1)

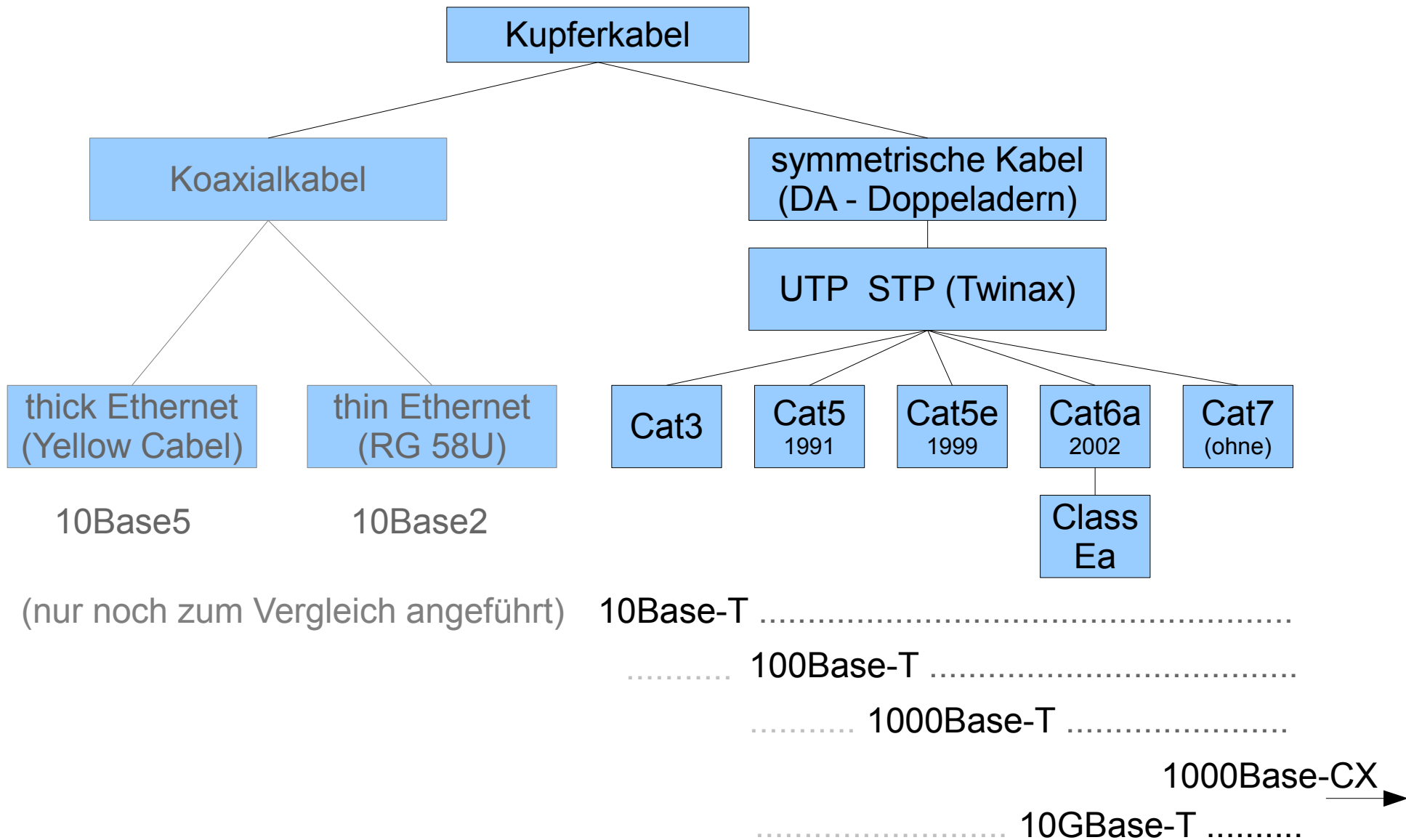
- nach IEEE 802.3ad
 - Bündelung mehrerer gleichartiger Links zu einem logischen Link (Vergleich zu STP)
 - Jede Quelle-Ziel-Beziehung normalerweise immer auf einem physischen Link
 - Verteilung typisch über Quell-MAC-Adresse oder Ziel-MAC-Adresse oder beide
 - nur Links der selben Geschwindigkeit (und Vollduplex)
- Selbe oder sehr ähnliche Verfahren:
 - Bonding
 - Etherchannel
 - Trunking
 - und andere
- Steuerung über – LACP nach IEEE 802.3 ad
- PagP ist proprietäres Protokoll von Cisco

3.9 Link Aggregation (2)

- Steuerung über – LACP nach IEEE 802.3 ad
 - L1-Nachrichten verwendet
 - Kontrolle, ob beide Ports eines Links zu LAG passen
 - kontrollierte Aufschaltung von Verkehr
 - kontrollierte Abschaltung von Verkehr

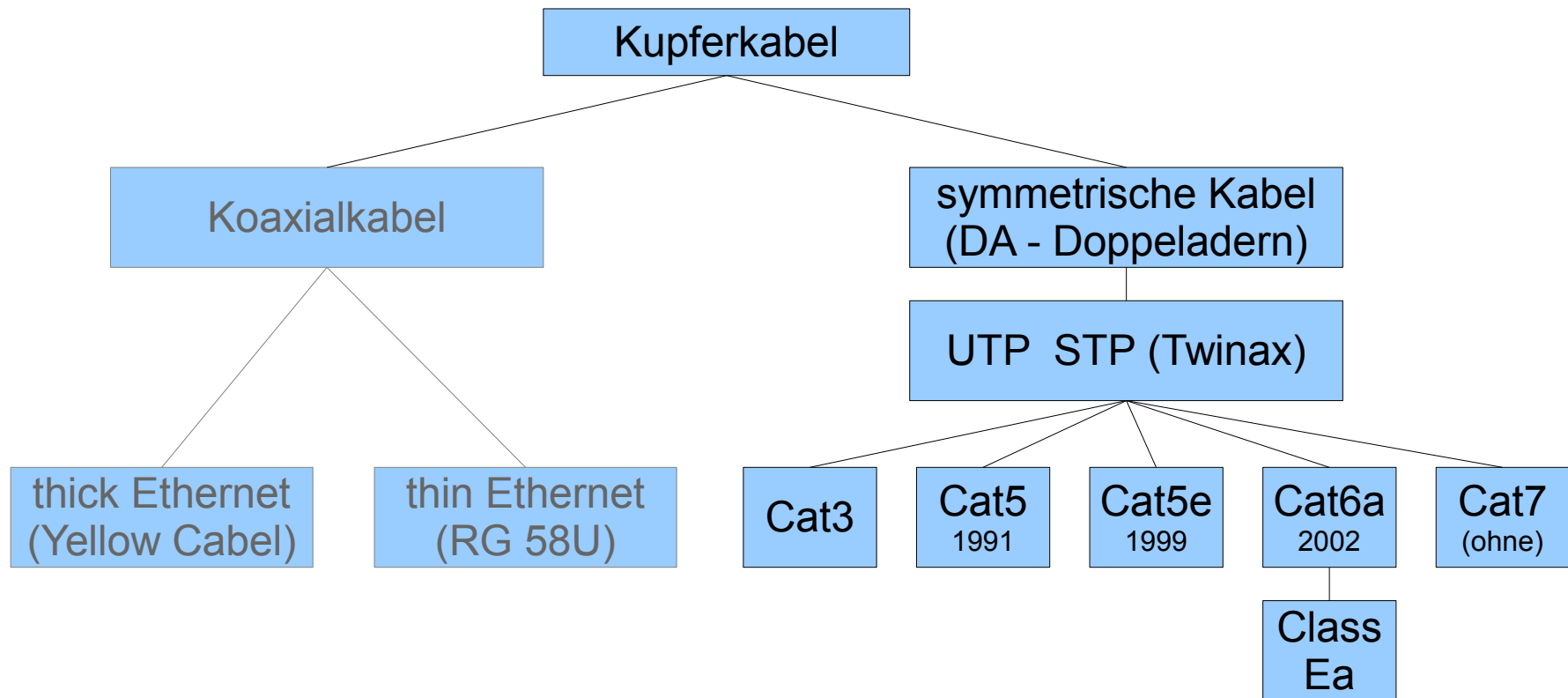
3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (1)

- Kupferkabel (heute – noch ? - häufigere Varianten)



3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (2)

- Kupferkabel (heute – noch ? - häufigere Varianten) Fortsetzung



40GBase-KR4 →

40GBase-CR4 →

100GBase-CR10 →

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (3)

- Bezeichnungen der Layer 1 – Varianten

- z.B. 100Base-T
- allgemein **xxBasey**

xx – Leitungsgeschwindigkeit in Mbit/s
Base steht für Basisbandübertragung

yy – Übertragungsart:

- T Twisted Pair (2 DA)
- CX Twinaxiale Leitung
- CX4 2 Twinaxiale Leitungen (4 Adern)

- CR Twinaxiale Leitung (40G, 100G)
- KR Leitungspaar (40G)

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (4)

- Bezeichnung DA-Kabel

<p style="text-align: center;"><u>alt</u></p> <p style="text-align: center;">uneinheitlich</p>	<p style="text-align: center;"><u>neu (ISO/IEC-11801)</u></p> <p>XX/YZZ</p> <p>XX – Kabelschirm U – ungeschirmt F – Folienschirm S – Geflechtschirm SF – Folien- u. Geflechtschirm</p> <p>Y – Paarschirm U / F / S</p> <p>ZZ – immer „TP“</p>
<p style="text-align: center;"><u>alt</u></p> <p>UTP – unshielded TP</p> <p>FTP – foiled TP (PiMF – Paar in Metallfolie)</p> <p>STP – shielded TP</p>	<p style="text-align: center;"><u>neu</u></p> <p>U/UTP – unshielded / unshielded TP</p> <p>U/FTP – unshielded / foiled TP</p> <p>S/UTP – shielded / unshielded TP</p> <p>S/FTP – shielded / foiled TP</p>

(Skizzen)

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (5)

- „Kupfersystem“ – wesentliche Eigenschaften

Die Eigenschaften gelten für das ganze System!!! Dieses besteht außer dem Kabel noch aus den Steckern, Buchsen, Verbindern, sonstigem Zubehör und den Montagevorschriften.

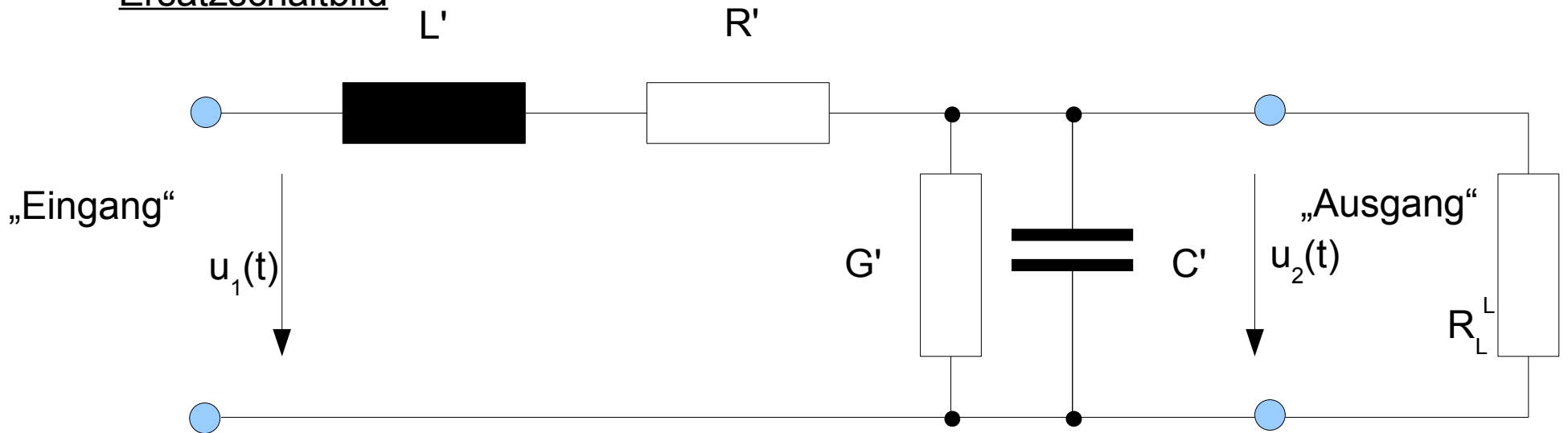
Parameter:

- Wellenwiderstand (.....)
- Dämpfung (.....)
- Nahübersprechen (NEXT –)
- Leistungssumme Nahübersprechen (PS-NEXT)
- Fernübersprechen (FEXT –)
- Fernübersprechen bezogen auf Empfangspegel (ELFEXT – FEXT)
- Leistungssumme ELFEXT (PS-ELFEXT)
- Reflexionsdämpfung (.....)
- Signallaufzeitunterschied, Verzögerungsschräglauf (Delay Skew)

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (6)

- „Kupfersystem“ – Wellenwiderstand (siehe auch HF-Technik)

Ersatzschaltbild



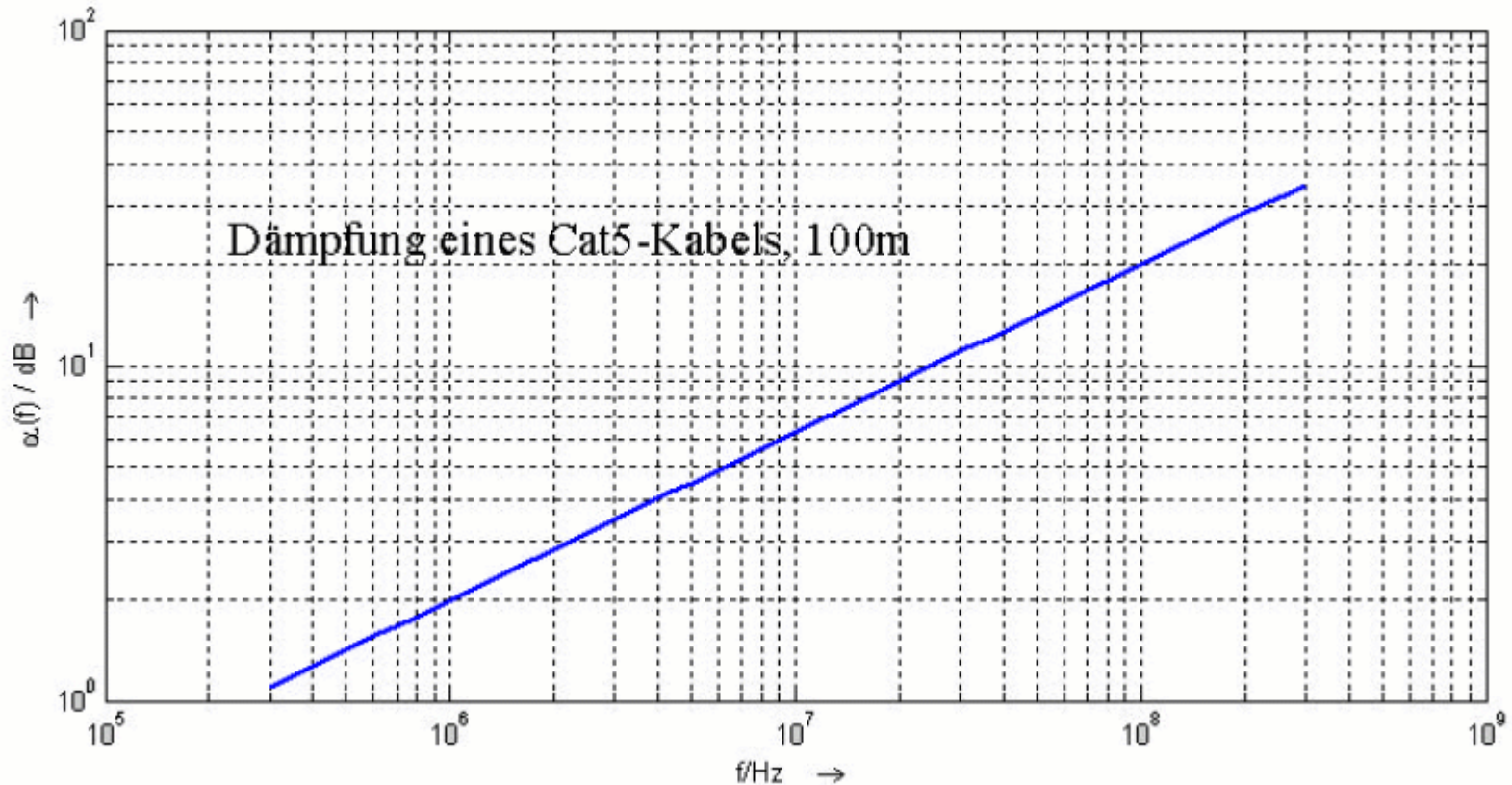
$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

Wirksamkeit bei Ethernet:

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (7)

- „Kupfersystem“ – Dämpfung

siehe Ersatzschaltbild



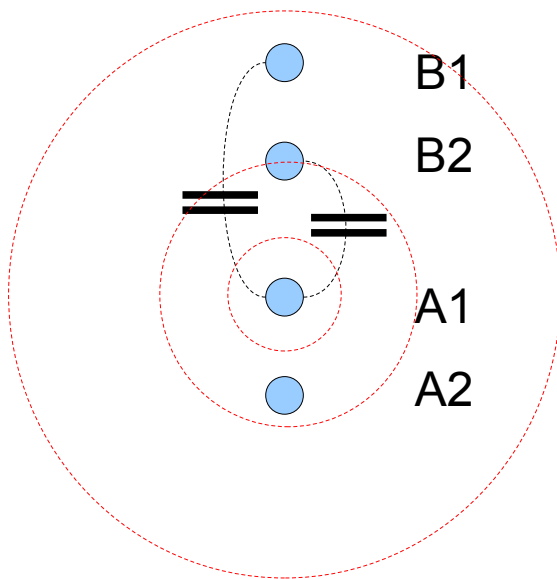
Wirksamkeit bei Ethernet:

Quelle: Werner Ostritz, Script

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (8)

- „Kupfersystem“ – Nahübersprechen (NEXT –

Übersprechen generell – Kopplung des Signals von einer DA auf eine andere DA ein Leiter im elektromagnetischen Feld eines anderen Leiters (siehe Richtkoppler)

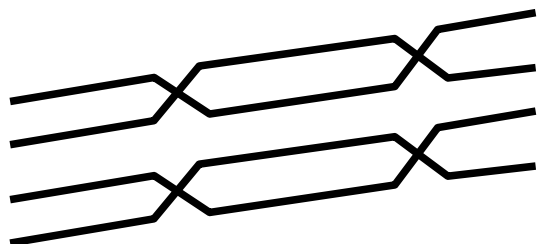


A1/2 und B1/2 sind zwei Adernpaare.

A1 koppelt kapazitiv auf B1 und auf B2. Die Kapazitäten sind im Allgemeinen nicht gleich. Somit heben sich die in das Paar B eingekoppelten Spannungen nicht auf.

A2 koppelt ebenso auf B1 und auf B2. Wäre die Kopplung von A2 auf Bx identisch zu der von A1 auf Bx, würden sich die in Bx eingekoppelten Spannungen aufheben. Im Allgemeinen ist das nicht der Fall.

Äquivalent dazu besteht eine induktive Verkopplung.



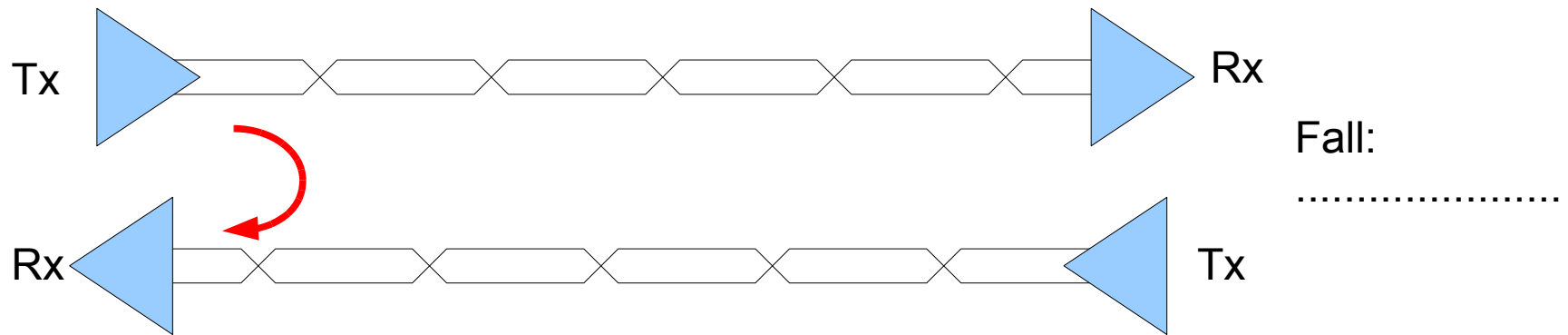
Durch Verdrillen der Adernpaare heben sich die Kopplungen im Idealfall auf.

Durch reale Unvollkommenheiten dabei entsteht trotzdem noch ein Übersprechen.

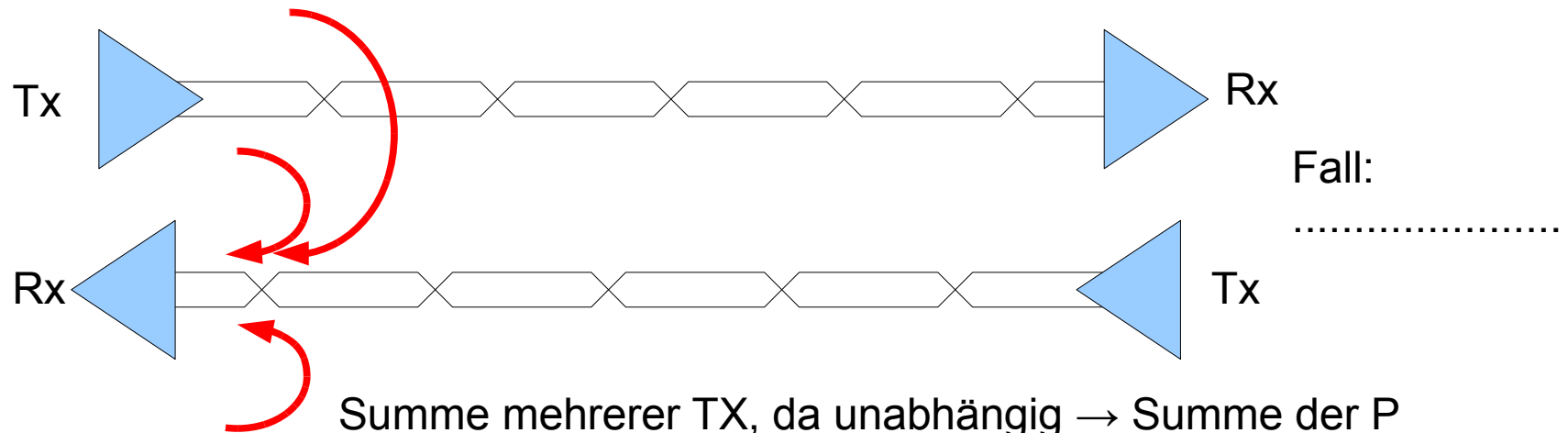
3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (9)

- „Kupfersystem“ – Nahübersprechen (NEXT –)

Übersprechen nahe am Sender – stört besonders den Empfänger am selben Ende



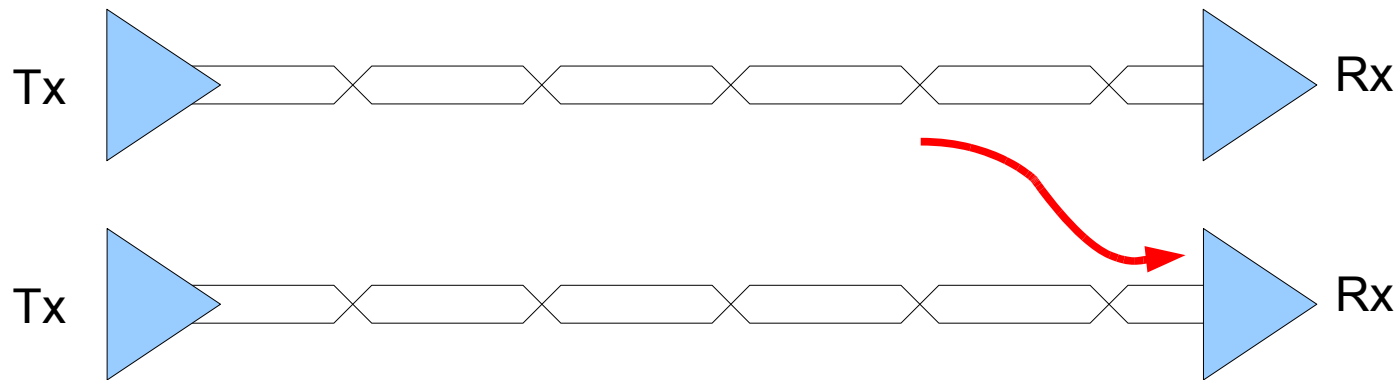
- „Kupfersystem“ – Leistungssumme Nahübersprechen (PS-NEXT)



3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (10)

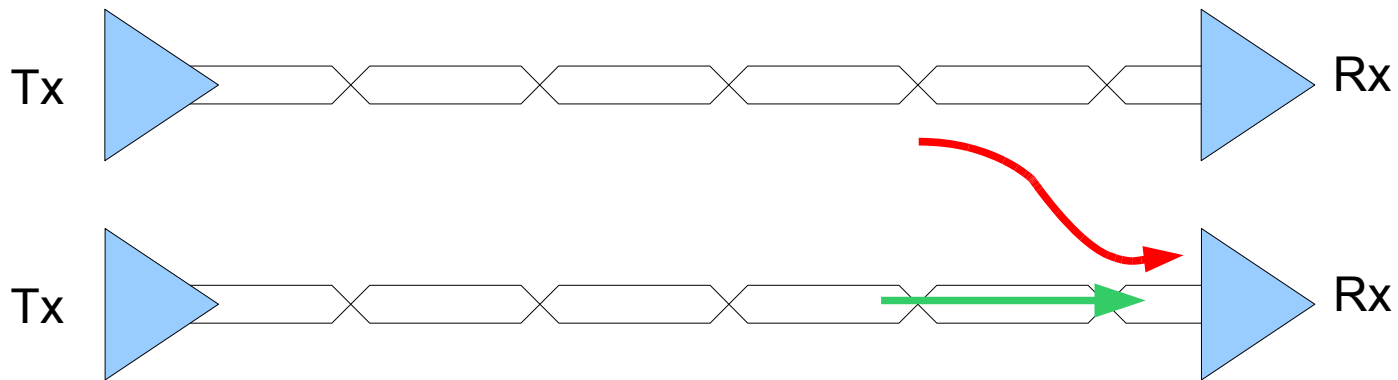
- „Kupfersystem“ – Fernübersprechen (FEXT –)

Übersprechen entfernt vom Sender – stört besonders den Empfänger am anderen Ende

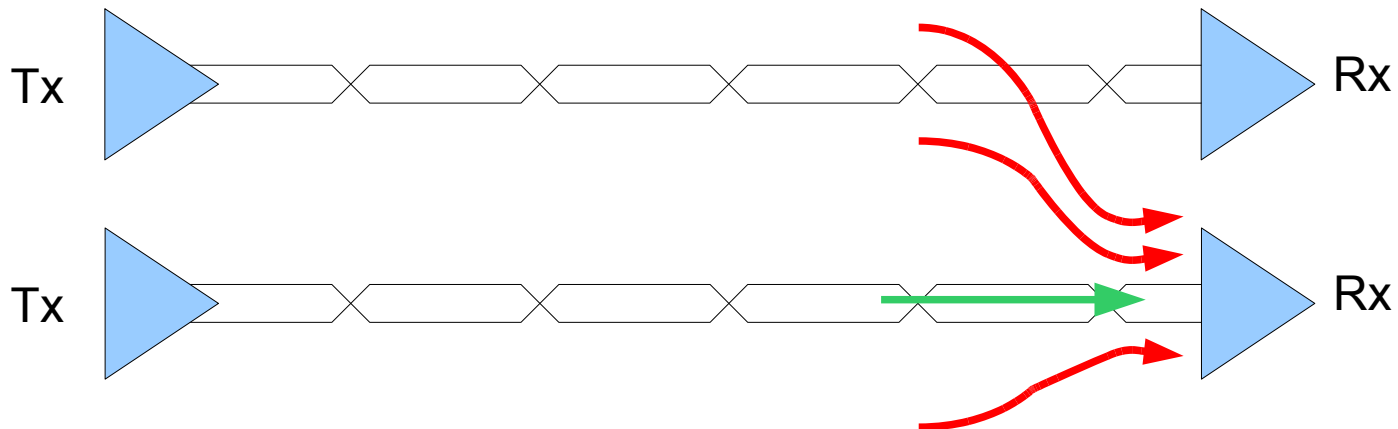


3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (11)

- „Kupfersystem“ – normiertes Fernübersprechen (ELFEXT –
)
 Übersprechen im Bezug auf Signalpegel am Rx, Leitungslänge ohne Einfluß



- „Kupfersystem“ – Fernübersprechen (PS - ELFEXT –
)



Summe mehrerer TX, da unabhängig → Summe der relativen P

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (12)

- „Kupfersystem“ – Reflexionsdämpfung (.....)

Rückflußdämpfung – Reflexionsfaktor (siehe HF-Technik)

Durch Abweichungen der elektrischen Leitung einschließlich aller Steckverbindungen und Ähnlichem vom Ideal gibt es Reflexionen.

$$|\Gamma| = G$$

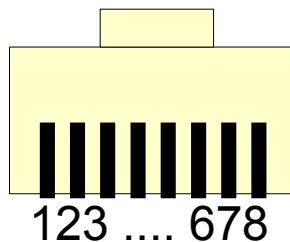
- „Kupfersystem“ – Signallaufzeitunterschied

Material und Geometrie des Kabels hat Einfluß auf die Laufzeit der Signale (siehe Verkürzungsfaktor).

wichtig beiAufteilung des
Signalflusses einer Richtung (Anwendung)

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (13)

- „Kupfersystem“ - Stecker und Buchsen
 - Modularstecker 8P8C (fälschlicherweise RJ-45)



Stecker von vorn

(für Cat7 andere Systeme !!!)

- „Kupfersystem“ - DA-Kodierung
Kabel mit 4 DA

Kontakt	Verwendung 1)	Paar		Farbe	
		TIA-568A	TIA-568B	TIA-568A	TIA-568B
1	Tx +	3	2	ws / gn	ws / or
2	Tx -	3	2	gn	or
3	Rx +	2	3	ws / or	ws / gn
4		1	1	bl	bl
5		1	1	ws / bl	ws / bl
6	Rx -	2	3	or	gn
7		4	4	ws / bn	ws / bn
8		4	4	bn	bn

1) Bei einigen Varianten alle DA belegt

B-B: geradeaus

A-B: gekreuzt

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (14)

- „Kupfersystem“ - Cabel Sharing
 - Kabel sollte nicht auf 2 Buchsen aufgeteilt werden, sonst ...
 - Verlust der Universalität
 - in der Regel Verletzung der Montagevorschriften → keine Einhaltung der elektrischen Kennwerte
 - Aufteilung über Steckadapter möglich
 - 2 mal Ethernet oder
 - 1 mal Ethernet + 1 mal anderer Dienst



Quelle: Reichle de Massari

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (15)

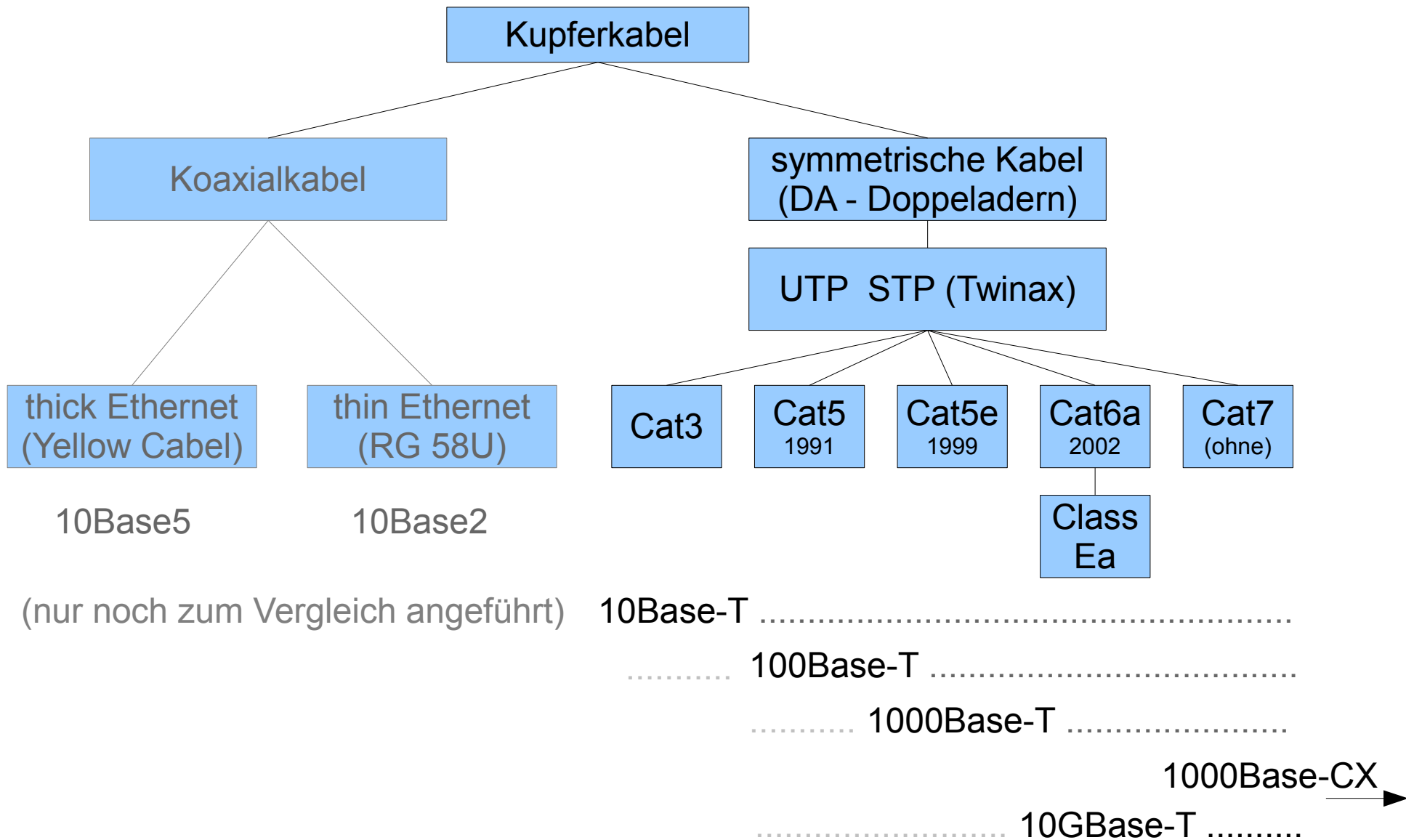
- „Kupfersystem“ - Systemwerte

<i>Kauftratgeber</i>	Vergleich der Spezifikationen von Twisted-Pair-Kabel			
	Cat5	Cat5e	Cat6	Cat7 (vorgeschlagen)
Frequenz	100 MHz	100 MHz	250 MHz	600 MHz
Dämpfung (min. bei 100 MHz)	22 dB	22 dB	19.8 dB	20.8 dB
Charakteristische Impedanz	100 ohms ± 15%	100 ohms ± 15%	100 ohms ± 15%	100 ohms ± 15%
NEXT (min. bei 100 MHz)	32.3 dB	35.3 dB	44.3 dB	62.1 dB
PS-NEXT (min. bei 100 MHz)	(keine Spezifikation)	32.3 dB	42.3 dB	59.1 dB
ELFEXT (min. bei 100 MHz)	(keine Spezifikation)	23.8 dB	27.8 dB	(keine Spezifikation)
PS-ELFEXT (min. bei 100 MHz)	(keine Spezifikation)	20.8 dB	24.8 dB	(keine Spezifikation)
Reflexionsdämpfung (min. bei 100 MHz)	16 dB	20.1 dB	20.1 dB	14.1 dB
Verzögerungsschraglauf (max./100 m)	(k.Spez.)	45 ns	45 ns	20 ns

Quelle: Black Box Network Services

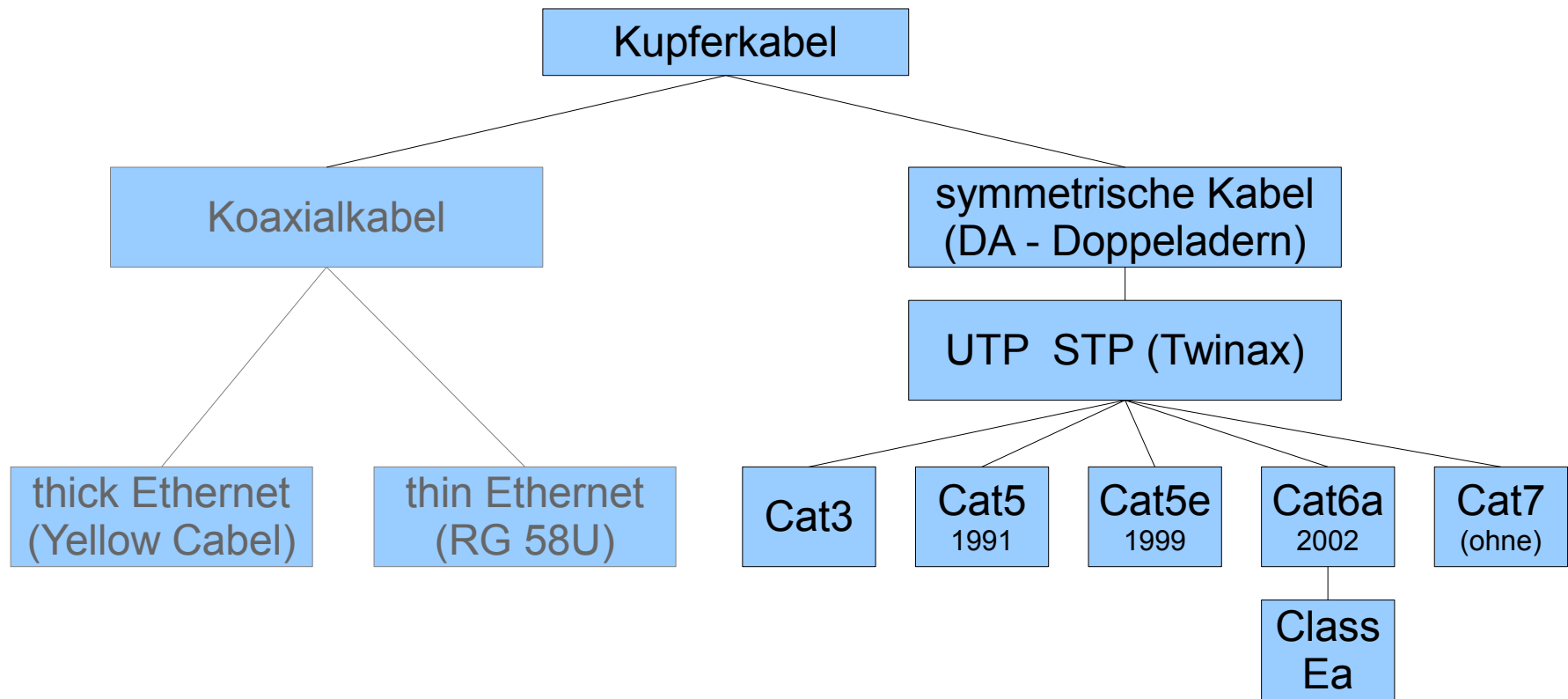
3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (16)

- Kupferkabel (heute – noch ? - häufigere Varianten)



3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (17)

- Kupferkabel (heute – noch ? - häufigere Varianten) Fortsetzung



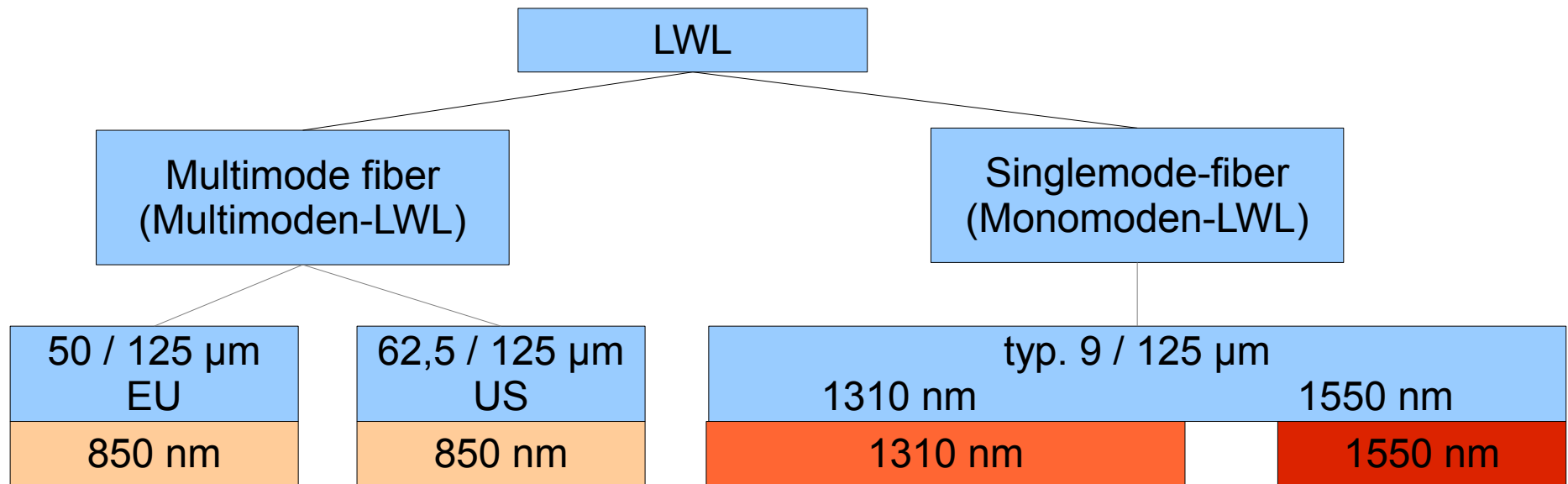
40GBase-KR4 →

40GBase-CR4 →

100GBase-CR10 →

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (18)

- Lichtwellenleiter (heute wesentliche Varianten)



10Base- ...SX.....SX
500m ? 500m ?

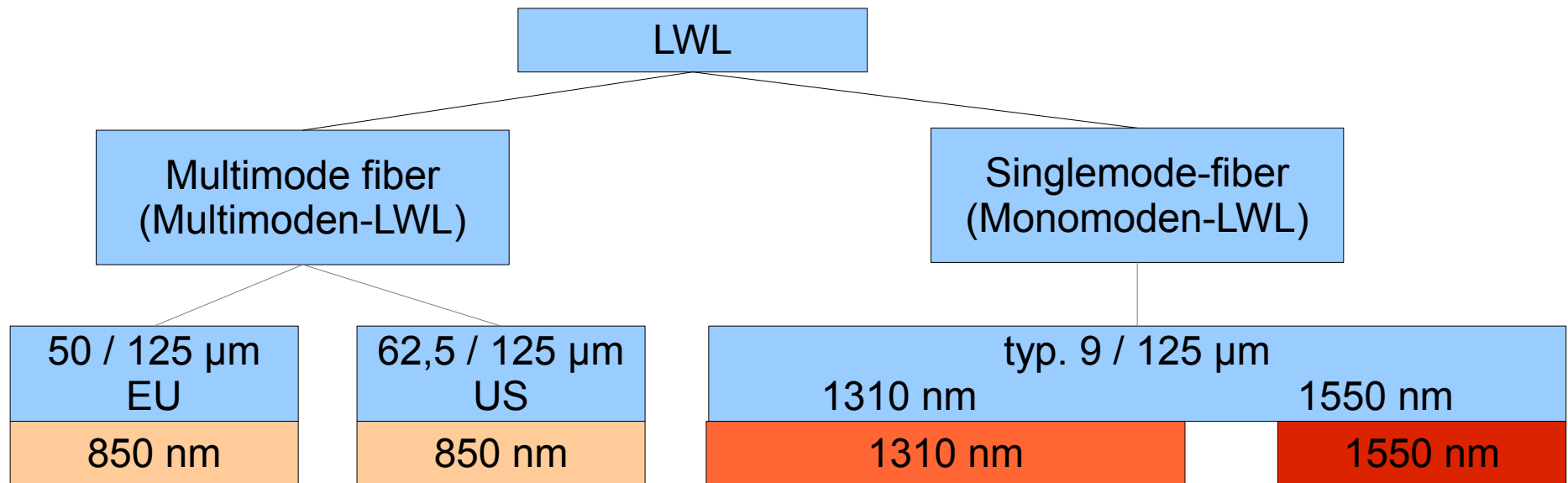
100Base- ...FX.....FX.....-- *.....-- +.....-- +.....-- +
400m 400m 2 km * 15 km 40 km 80 km

1000Base- ...SX.....SX.....LX.....LX(/LH).....-- +.....ZX
200...550m 200...550m 5 km 10 km 40 km 70...80 km

SX, FX, LX, ZX – nach IEEE * SFPs verfügbar, 1310 nm + SFPs verfügbar

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (19)

- Lichtwellenleiter (heute wesentliche Varianten)

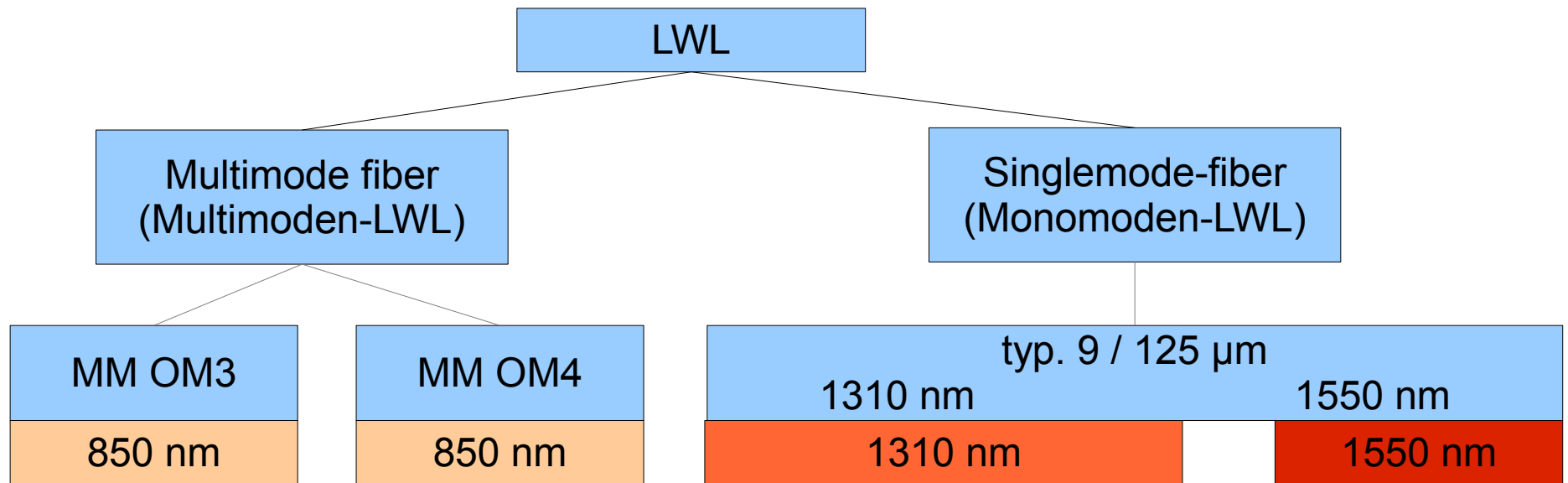


10GBase-	.....LX4 *	.....LX4 *	.....LW4 *	
	240...300m	240...300m	10 km	
	.....SR.....	.....SR.....	.....LR.....	.....ER
	26...82 m (300m ⁺)	26...82m (300m ⁺)	10 km	40 km
	.....SW.....	.....SW.....	.....LW.....	.....EW
	26...82 m (300m ⁺)	26...82m (300m ⁺)	10 km	40 km

⁺ spezieller LWL * WDM SW, LW, EW – WAN PHY

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (20)

- Lichtwellenleiter (heute wesentliche Varianten)



40GBase-	SR4 *	SR4 *	LR4 *
	100 m	125 m	10 km
100 GBase-	SR10 *	SR10 *	LR4 * ER4 *
	100 m	125 m	10 km 40 km

* WDM

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (21)

- Lichtwellenleiter
 - Anschlußmodule
üblicherweise steckbare Module, heute selten noch fest eingebaut



GBIC

1 Gbit/s
SC



SFP

100 Mbit/s; 1 Gbit/s
LC



Kupfer SFP



XENPAK

10 Gbit/s
SC



X2

10 Gbit/s
SC



XFP

10 Gbit/s
LC

SC, LC - Steckertyp

3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (22)

- Lichtwellenleiter – optische Transceiver
 - minimale Länge LWL 2 m
 - Sendeleistung (Bereich) und Empfängerempfindlichkeit (Bereich) beachten
 - Gegebenenfalls Dämpfungsglieder einfügen
 - SX und LX können in der Regel jeweils „direkt“ verbunden werden (2 m LWL!!!).
 - außer den breitbandigen Typen für 850 nm, 1310 nm und 1550 nm existieren solche für WDM-Wellenlängen (meist CWDM)
 - Gelegentlich WDM eingesetzt, um beide Richtungen über eine Faser zu übertragen, lohnenswert bei größeren Strecken

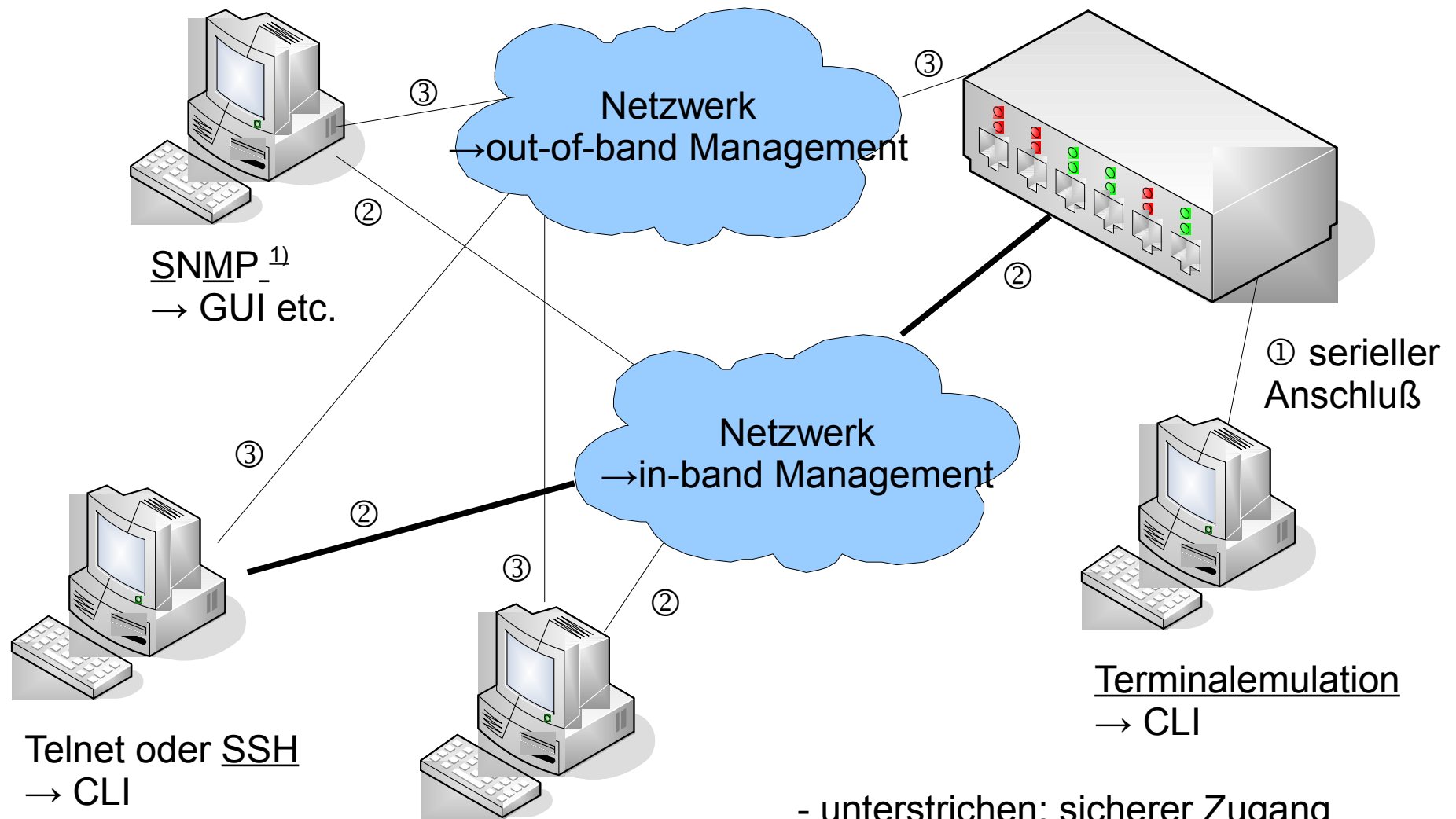
3.10 Geschwindigkeit und Verkabelung (23)

- Lichtwellenleiter
 - Weiteres hier oder in anderem Fach?
 - Monomode, Singlemode
 - Wellenlänge
 - Dispersion

3.11 Netzwerkmanagement (1)

- In der Regel bestehen folgende Möglichkeiten:
 - ① serieller Anschluß (.....-Port) (rein lokal)
 - **Terminalsitzung – CLI** (.....)
 - ② Netzwerkverkehr auf interne IP-Adresse, in-band (bedeutet,
.....)
 - Telnet - **Terminalsitzung – CLI** (.....)
 - SSH - **Terminalsitzung – CLI** (.....)
 - HTTP – **GUI** (.....)
 - SNMP – **System** (.....)
- ③ Netzwerkverkehr auf interne IP-Adresse, out-of-band (bedeutet,
.....)
- Telnet - **Terminalsitzung – CLI** (.....)
- SSH - **Terminalsitzung – CLI** (.....)
- HTTP – **GUI** (.....)
- SNMP – **System** (.....)

3.11 Netzwerkmanagement (2)



- unterstrichen: sicherer Zugang
- ¹⁾ bei SNMP v3 sicherer Zugang möglich
- in- / out-of-band meist alternativ eingesetzt

3.11 Netzwerkmanagement (3)

- typische Bereiche, zu denen Einstellungen gemacht werden können (Auswahl)
 - Gerät selber (Name, Standort, Managementadresse, Managementsicherheit, Managementanbindung, Zeitdienst)
 - Ports (Parameter, Bezeichnung, Freigabe, Protokolle)
 - Protokolle (globale Einstellungen, Freigabe bzw. Aktivierung)
 - Prioritätsbehandlung, Überlastbehandlung
- typische Bereiche, zu denen Diagnosedaten angezeigt werden können (Auswahl)

Es existiert meist eine erhebliche Anzahl von abfragbaren Datenpunkten. Diese sind bestimmten Bereichen, wie sie oben aufgeführt sind, zuordenbar.

Die Datenpunkte sind von folgenden Arten:

- Einstellwerte, die abgefragt werden können
- Betriebs- und Fehlerstati
- Zähler (Betriebs- und Fehlerereignisse, Datenmengen), größtenteils rücksetzbar

3.11 Netzdiagnose und Messverfahren (1)

- Methoden, die sich bewährt haben (best practice) und solche, die außerdem standardisiert sind
 - best practice
 - Kontrolle Logs
 - Kontrolle Ports – Stati, Zähler
 - Kontrolle von Stati entsprechend Problem
 - Kontrolle von Tabellen (MAC-Tabelle, STP-Tabellen, VLAN-Tabellen)
 - Nutzung von Testverkehr (ping; netio; iperf) – meist auf L3 ausgerichtet, mittelbar Rückschlüsse auf L2
 - Trace mitschneiden – Spiegelport (komplette Daten unbeeinflusst?) oder HUB (Rückwirkung) oder spezielles Meßgerät (Rückwirkung) einfügen – Wireshark
 - Ethernetmeßgeräte
 - Lasttests – Vorsicht, kann regulären Verkehr stören (Überlastsituation)
 - neue Ansätze: Nutzung von OAM-Funktionen nach „MEF 17 – Service OAM Framework and Requirements“ (weiterführendes Thema)

3.11 Netzdiagnose und Messverfahren (2)

- Methoden, die sich bewährt haben (best practice) und solche, die außerdem standardisiert sind
 - Normen
 - RFC 2544 – heute üblicher Test, implementiert in vielen Testern „Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices“ 1999 → testet Eigenschaften aus Nutzersicht, genaue Parameter und Schwellen für gut / schlecht müssen jeweils festgelegt werden
 - Durchsatz (.....)
 - Latenzzeit (.....)
 - Rahmenverlustrate (.....)
 - Rahmenlawine (.....)
 - eingeführt
 - BERT-Test (.....)
 - genau genommen nur auf L1 (Bitschicht)
 - bei höheren Schichten existieren Frames bzw. Blöcke → Frameverluste bzw. Blockverluste, keine Frame- / Blockfehler, da fehlerhafte Frames / Blöcke aussortiert werden

3.11 Netzdiagnose und Messverfahren (3)

- RFC 2544 - Durchsatz (.....)
 - Welche Datenrate geht gerade noch bei vorgegebener Verlustrate / verlustfrei von A nach Z durch das Netz?
 - Framelängen festlegen
 - jeweilige Meßzeit festlegen
 - Startwert festlegen
 - Genauigkeit festlegen
 - Achtung! führt in der Regel zur Überlastung des Netzes
 - Ablauf
 - vom Startwert beginnend wird getestet
 - wenn mehr Verlust, als zugelassen, dann Datenrate halbieren und erneut testen, ansonsten (fast) fertig
 - wenn nach Halbierung ok, dann Datenrate die Hälfte der Halbierung erhöhen, ansonsten nochmal halbieren
 - wenn ok, dann wieder etwas erhöhen, ansonsten etwas verringern
 - das Spiel so lange, bis das Delta kleiner als die Genauigkeit ist
 - in jedem Fall nochmal testen zur Kontrolle

3.11 Netzdiagnose und Messverfahren (4)

- RFC 2544 - Latenzzeit (.....)
 - Bei jeder gewählten Framelänge wird für die maximal erreichte Datenrate die Umlaufzeit bestimmt

3.11 Netzdiagnose und Messverfahren (5)

- RFC 2544 - Rahmenverlustrate (.....)
 - Wie hoch ist der Frameverlust bei bestimmten Datenraten?
 - Framelängen festlegen
 - Start- und Endwert und Schrittweite festlegen
 - jeweilige Meßdauer festlegen
 - Achtung! kann zur Überlastung des Netzes führen
 - Ablauf
 - für jede gewählte Framelänge vom Startwert bis zum Endwert der Datenrate, in Abständen der Schrittweite wird getestet
 - jeweils die Meßzeit lang werden Testdaten mit der jeweiligen Datenrate gesendet und beim Empfang kontrolliert
 - Die Verlustmenge wird registriert

3.11 Netzdiagnose und Messverfahren (6)

- RFC 2544 - Rahmenlawine (.....)
 - Die Menge der mit maximaler Datenrate sendbaren Daten wird ermittelt (Burstlänge bei maximaler Datenrate)
 - Framelängen festlegen
 - Start- und Endwert
 - jeweilige Meßdauer festlegen
 - Genauigkeit festlegen

 - Achtung! kann zur Überlastung des Netzes führen

 - Ablauf
 - vom Startwert beginnend wird getestet
 - wenn mehr Verlust, als zugelassen, dann Menge halbieren und erneut testen, ansonsten (fast) fertig
 - wenn nach Halbierung ok, dann Menge um die Hälfte der Halbierung erhöhen, ansonsten nochmal halbieren
 - wenn ok, dann wieder etwas erhöhen, ansonsten etwas verringern
 - das Spiel so lange, bis das Delta kleiner als die Genauigkeit ist
 - in jedem Fall nochmal testen zur Kontrolle