

Energieinformationstechnik

Teil 2.1 Ethernet

Dr. Leonhard Stiegler

www.dhbw-stuttgart.de

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

- Ein Computernetz ist eine Zusammenschaltung von Host-Rechnern, die Informationen austauschen über
 - Übertragungsverbindungen und
 - Netzknoten
- Ein **Lokales Netz (LAN)** umfasst in der Regel einen begrenzten geografischen Bereich, wie z.B. ein Gebäude, Stockwerk oder einen Campus
- **Ethernet** ist eine weit verbreitete LAN Technologie. Sie definiert
 - das Übertragungsmedium
 - den Zugang zum Medium
 - die physikalischen Übertragungseigenschaften und Prozeduren
- Ethernet ist Teil der Standardisierungsfamilie 802

802.1 LAN/MAN Architecture

WGs: Interworking,
 Security,
 Audio/Video Bridging and
 Congestion Management.

802.2 : Logical Link Control (LLC)

802.3 : Ethernet

Basic Ethernet 10 Mbit/s

Fast Ethernet 100 Mbit/s over copper or fibre

Gbit-Ethernet 1 Gbit/s over copper or fibre

10G-Ethernet 10 Gbit/s over optical fibres

802.11 : WLAN

802.16 : WMAN

802.17 : Resilient Packet Ring

Section 1: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) Zugangsmethode und physikalische Schicht

Section 2: Einführung in 100 Mb/s Basisband Netze, 100BASE-T, FE

Section 3: Einführung in 1000 Mb/s Basisband Netze, GE

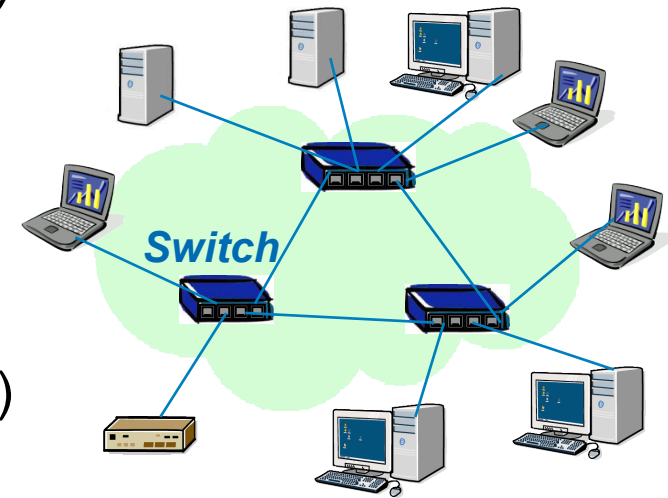
Section 4: Einführung in 10 Gb/s Basisband Netze

Section 5: Einführung in Ethernet für Teilnehmer-Zugangsnetze

- Führende Rolle in den Ethernet IEEE 802.3 Implementierungen
- Universelle IEEE 802.3 Medium Access Control Adressierung
- Hohe Datenrate: aktuell über 10 Gbit/s
- Möglichkeit der optischen Datenübertragung
- Entwicklung von Bus-Topologie (shared medium) zur Stern Topologie (dedicated media)
- Anwendungen:
Private Netze, Zugangsnetze, Stadtnetze (Metropolitan Area Networks) Weitverkehrsnetze (Wide Area Networks)
- Diesteintegration: Echtzeit Sprache und Video
- Wireless LAN Implementierungen (IEEE 802.11, IEEE 802.16)

Lokale Netze (Local Area Networks)

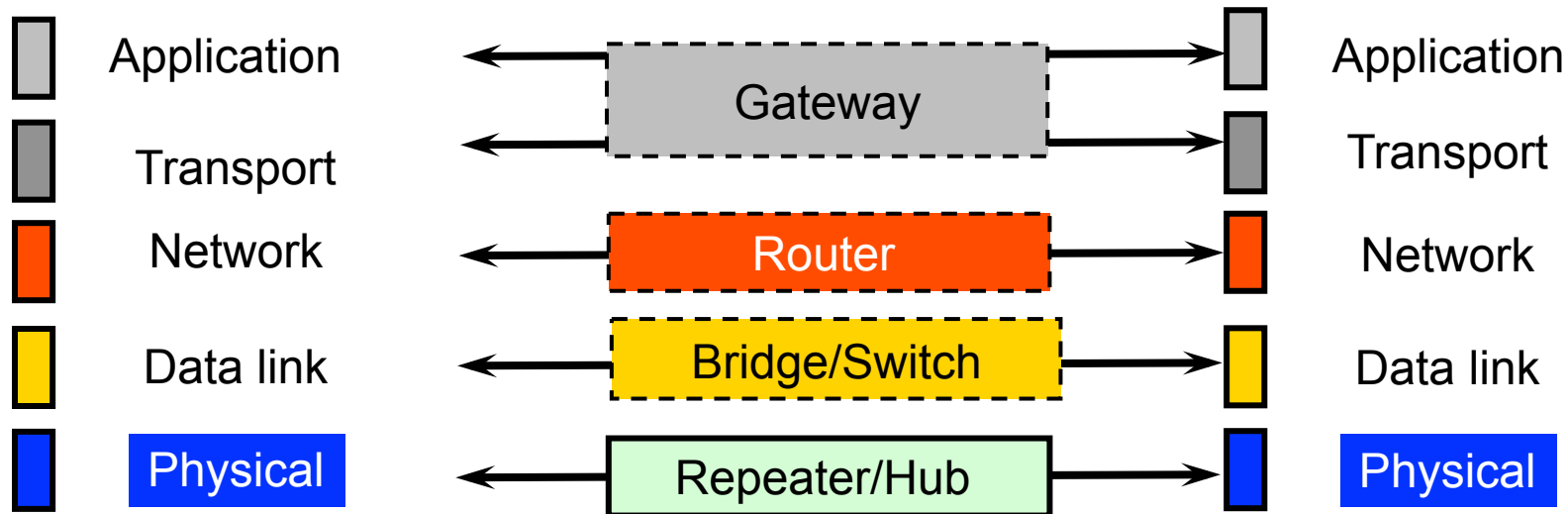
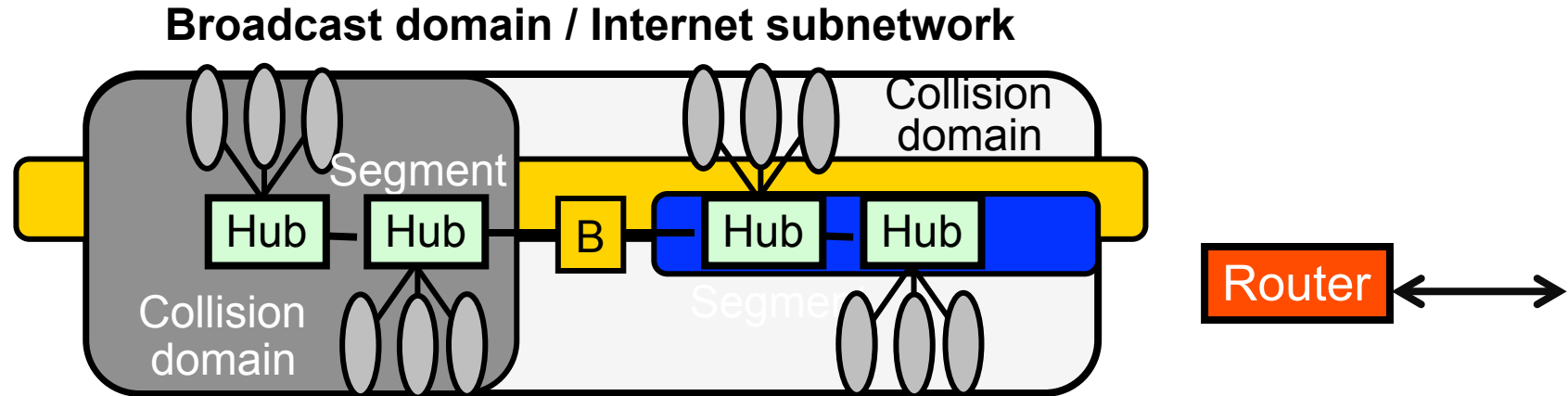
- Arbeitsplatz
- Zuhause
- Telekommunikationsnetze
- Automatisierungstechnik
- Transport (Schiene, Luft, Wasser)
- Medizintechnik



Ethernet Elemente

- Schicht-1 : Hub (wird nicht mehr verwendet)
- Switch / Bridge
 - Schicht-1 Funktion : Port
 - Schicht-2 Funktion :
Verbindung von Eingangsport mit Ausgangsport

Netzelemente der Protokollschichten



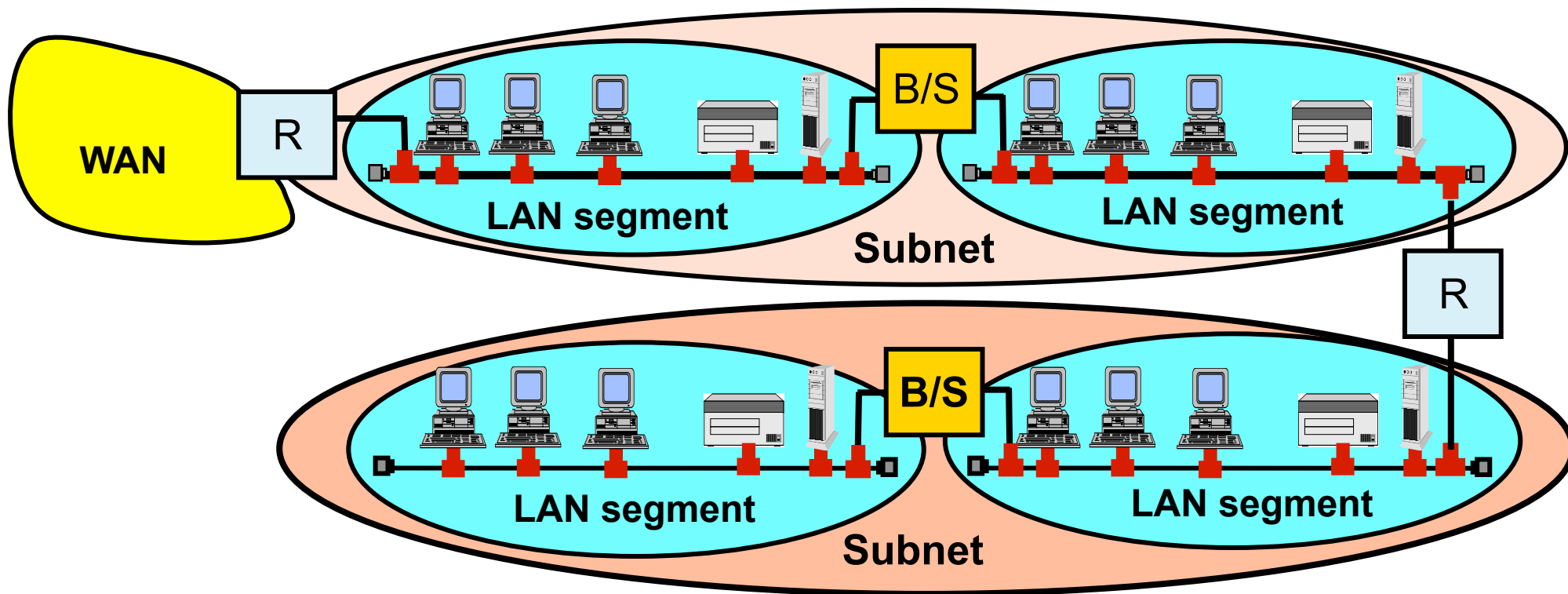
Bridge, Switch und Router

B/S • Bridge/Switch

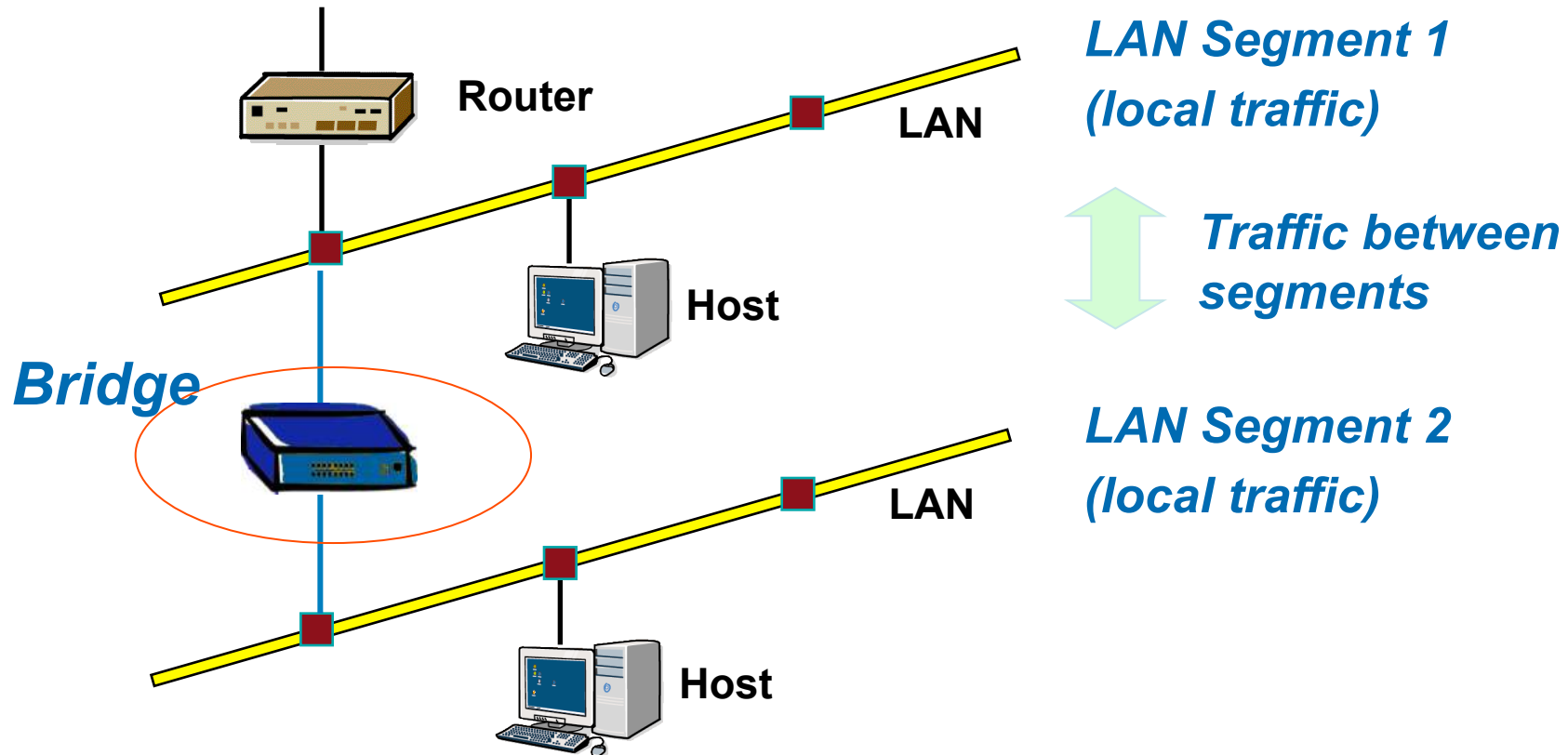
verbindet Schicht-2 LAN Segmente

R • Router

verbindet Schicht-3 Netze

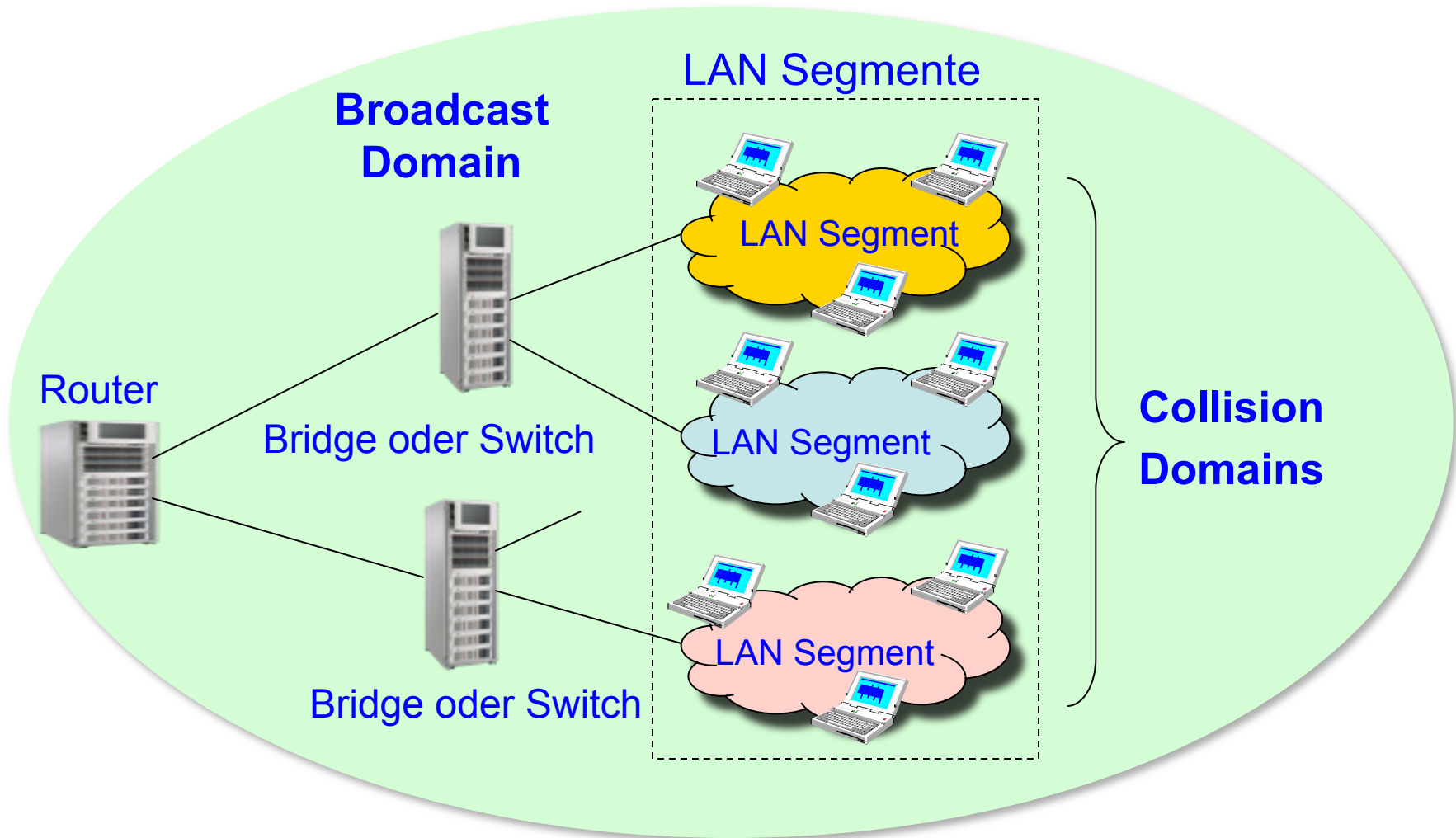


Netzelemente : vom Hub zur Bridge

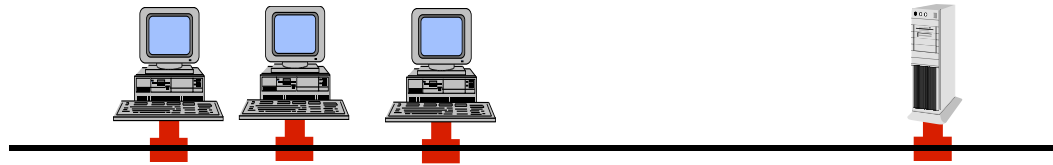


- Ein Hub “lötet” zwei LAN Segmente zusammen: jede Nachricht wird an alle Ports weiter verteilt
- Eine Bridge “überspannt” zwei LAN Segmente: nur Nachrichten an Empfänger im jeweiligen Segment werden übermittelt

LAN Architekturbeispiel

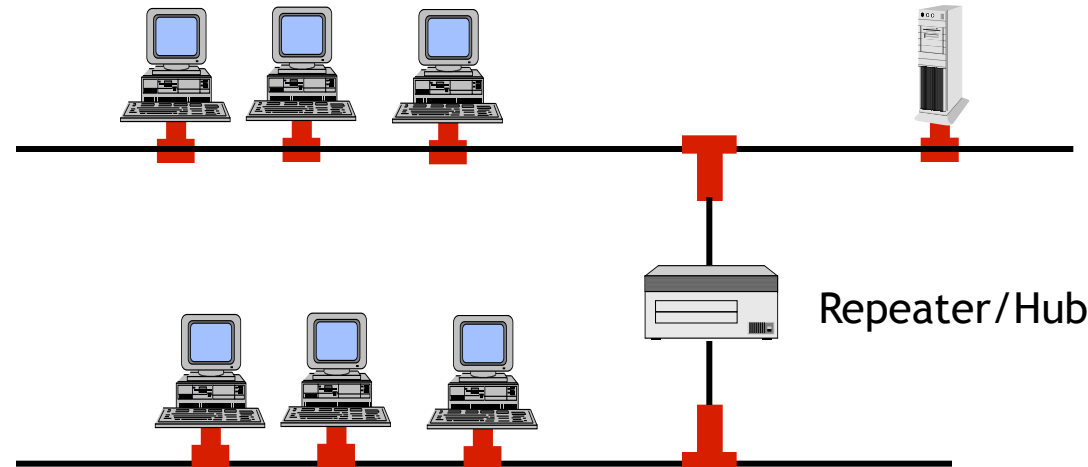


LAN Segmentierung



Einzelsegment - LAN

Zweissegment - LAN
Mit Repeater angebunden



- Heutige LAN Implementierungen verwenden keine Repeater, da diese Funktionen so genannte Collision domains bilden
- Die Übertragungskapazität in collision domains wird durch das geteilte Medium reduziert

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Schicht-1 Funktionen

- Medium Access

**Medium Independent Interface
Medium Interface**

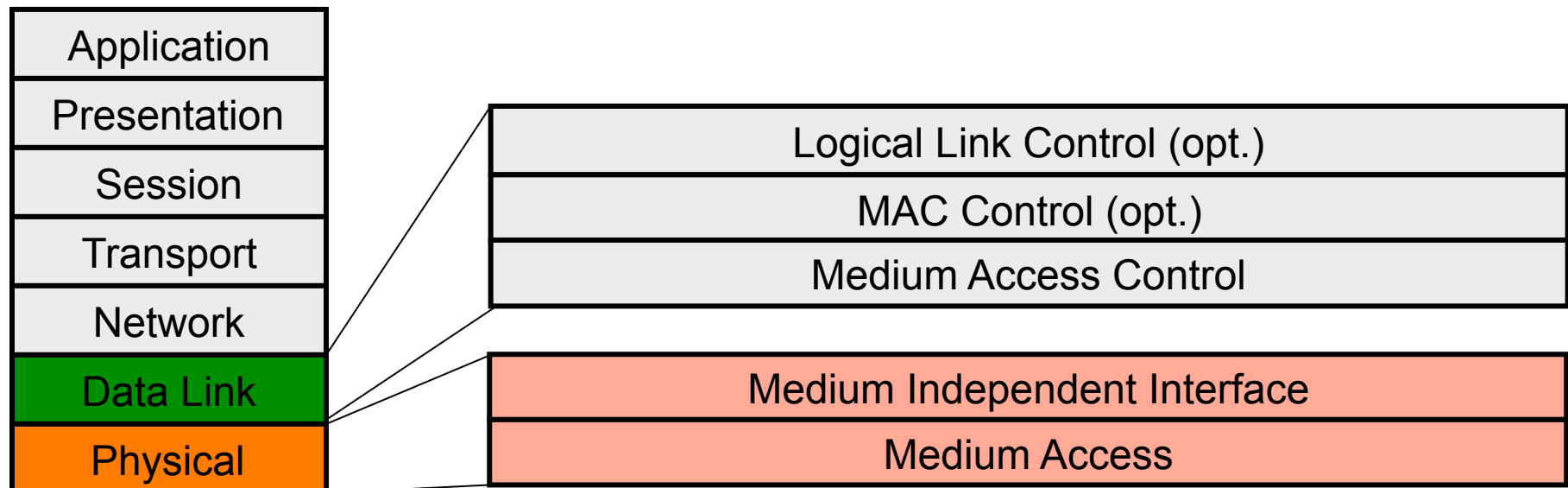
Schicht-2 Funktionen

- Zugang zum Übertragungsmedium
- Protokollsteuerung
- Link Verbindungssteuerung

Mediaum Access Control

MAC Control

Logical Link Control

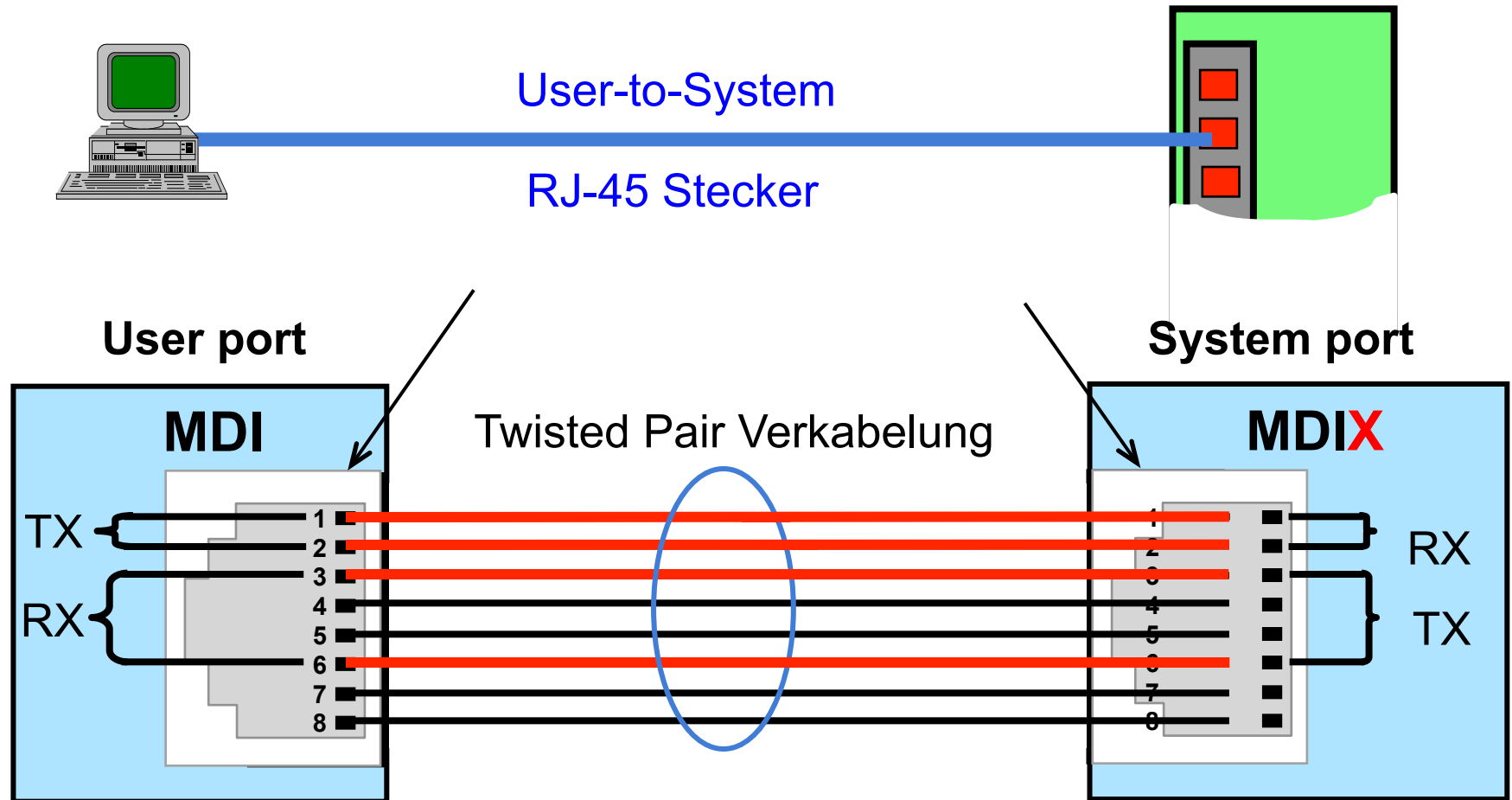


Ethernet (10Mbit/s)		Fast Ethernet - FE	Gigabit Ethernet	
	MAC User	(e.g. LLC)		LLC
MAC Control (opt.)				MAC
Medium Access Control (MAC)				
PLS	Reconciliation	Reconciliation	Reconciliation	PHY
AUI	MII	GMII	GMII	
	PLS	PCS	PCS	
	AUI	PMA	PMA	
PMA	PMA	PMD	PMD	
MDI				PHY
Medium				

PLS: Physical Layer Signalling
 AUI: Attachment User Interface
 PMA: Physical Medium Access
 MDI: Media Dependent Interface

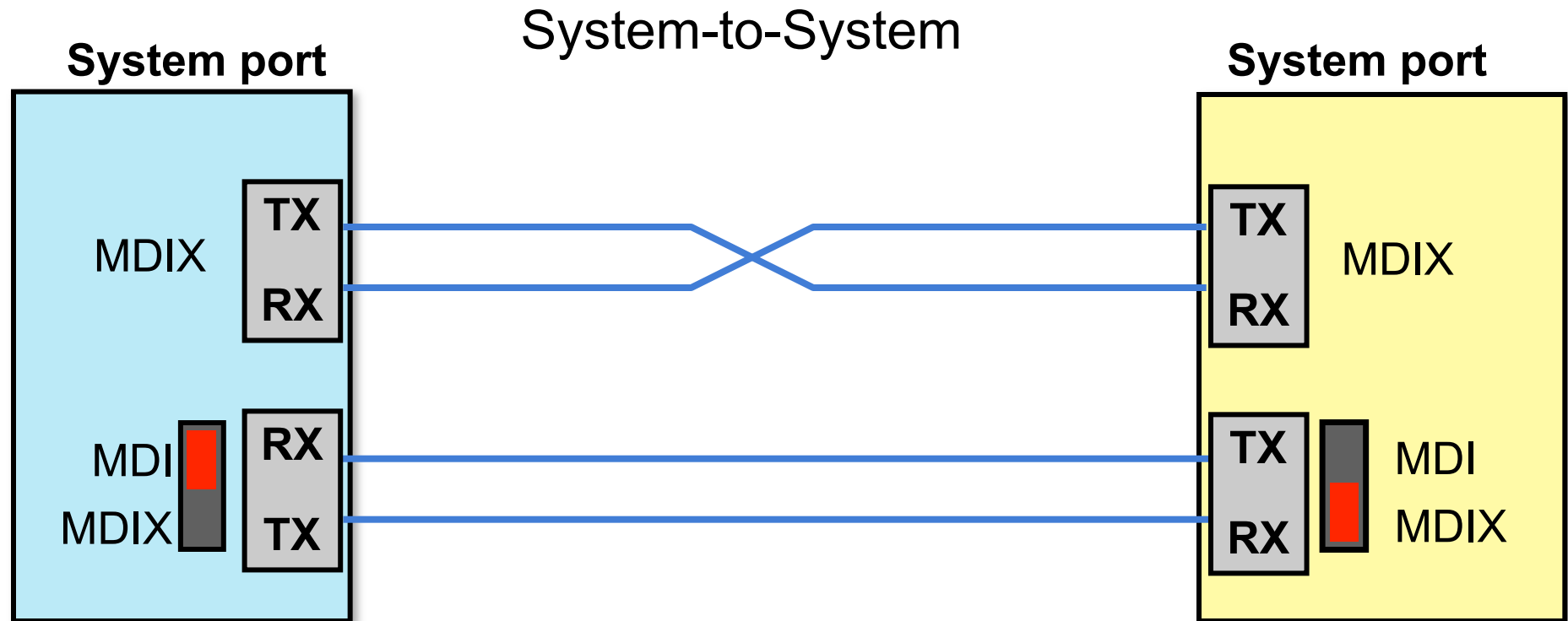
MII: Medium Independent Interface
 PCS: Physical Coding Sublayer
 PMD: Physical Media Dependent Sublayer
 LLC: Logical Link Control

LAN Verkabelung: Twisted Pair Link



Bei einer 1:1 Verkabelung müssen die Ports einer Seite getauscht werden (MDIX).

LAN Verkabelung: Twisted Pair Link

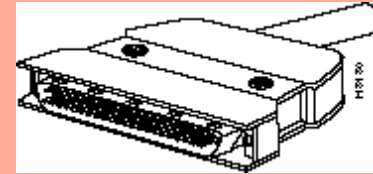


Ethernet BASE Übersicht

Variant Cable specification (min.)		Maximum Distance	
<u>Ethernet</u>			
10BASE-T	Class C, 2 x UTP, 16 MHz	100 m	HD/FD
<u>Fast Ethernet</u>			
100BASE-TX	Class D, 2 x UTP, 100 MHz	100 m	HD/FD
100BASE-T4	Class C, 4 x UTP, 100 MHz	100 m	HD
100BASE-FX	2 x 62,5/50 µm, MMF, 1310 nm	400 m	HD
		2 km	FD
<u>Gigabit Ethernet</u>			
1000BASE-T	Class D, 4 x UTP, 100MHz	100 m	HD
1000BASE-CX	STP 150 Ohm,	25 m	HD
1000BASE-SX	50 µm, MMF, 850 nm	550 m	FD
	62,5 µm, MMF, 850 nm	260 m	FD
1000BASE-LX	50 µm, MMF, 1310 nm	550 m	FD
	62,5 µm, MMF, 1310 nm	440 m	FD
	9 µm, SMF, 1310 nm	3 km	FD

100Mbit/s Media Access Control Protocol (MAC)
802.3u CSMA/CD

Media Independent
Interface (MII)



100BaseT4

100BaseTX

100BaseFX

1000MBit/s Media Access Control Protocol (MAC)
802.3z CSMA/CD

Gigabit Media Independent
Interface (GMII)
1000BaseCX

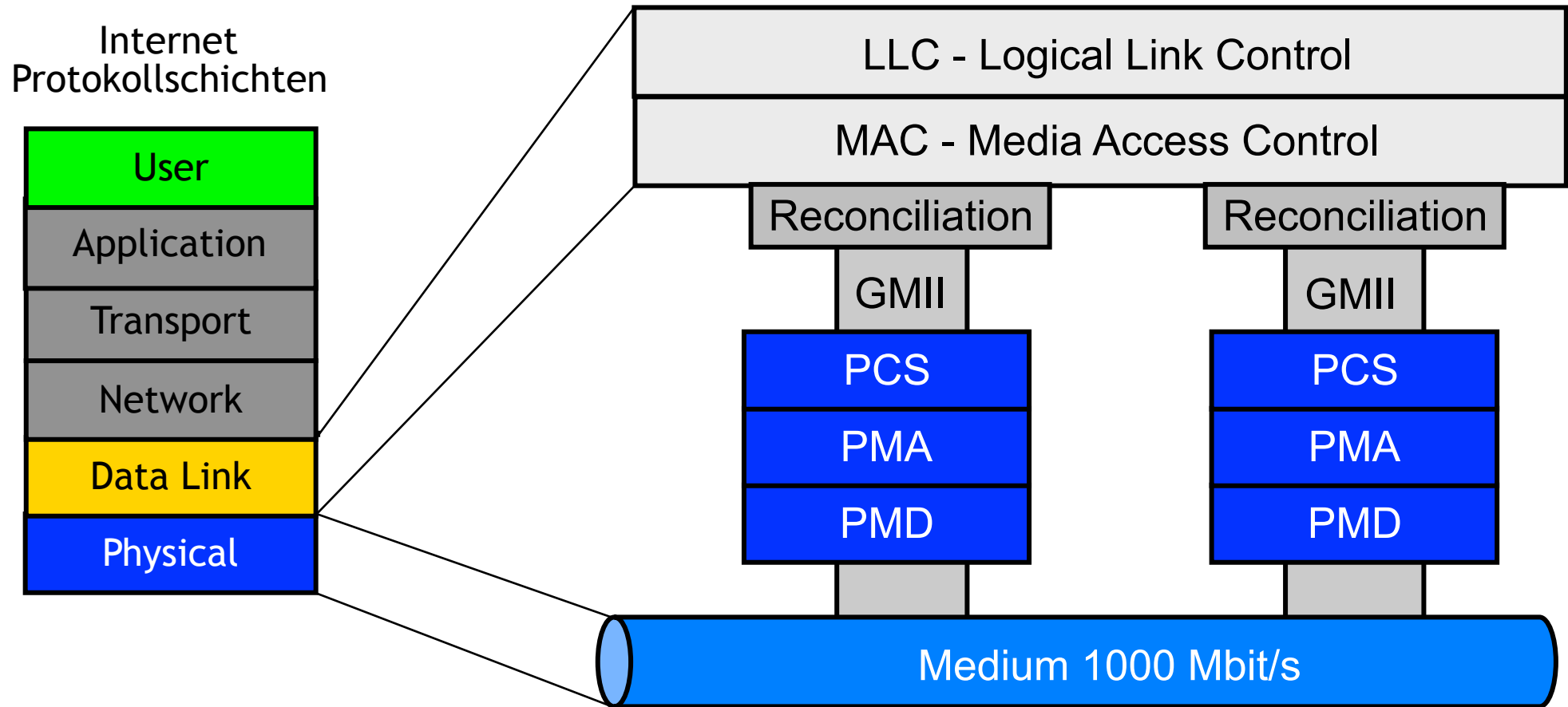
1000BASE LX

1000BASE SX

1000 BASE CX

**802.3ab
1000BaseT**

Gigabit Ethernet Architektur

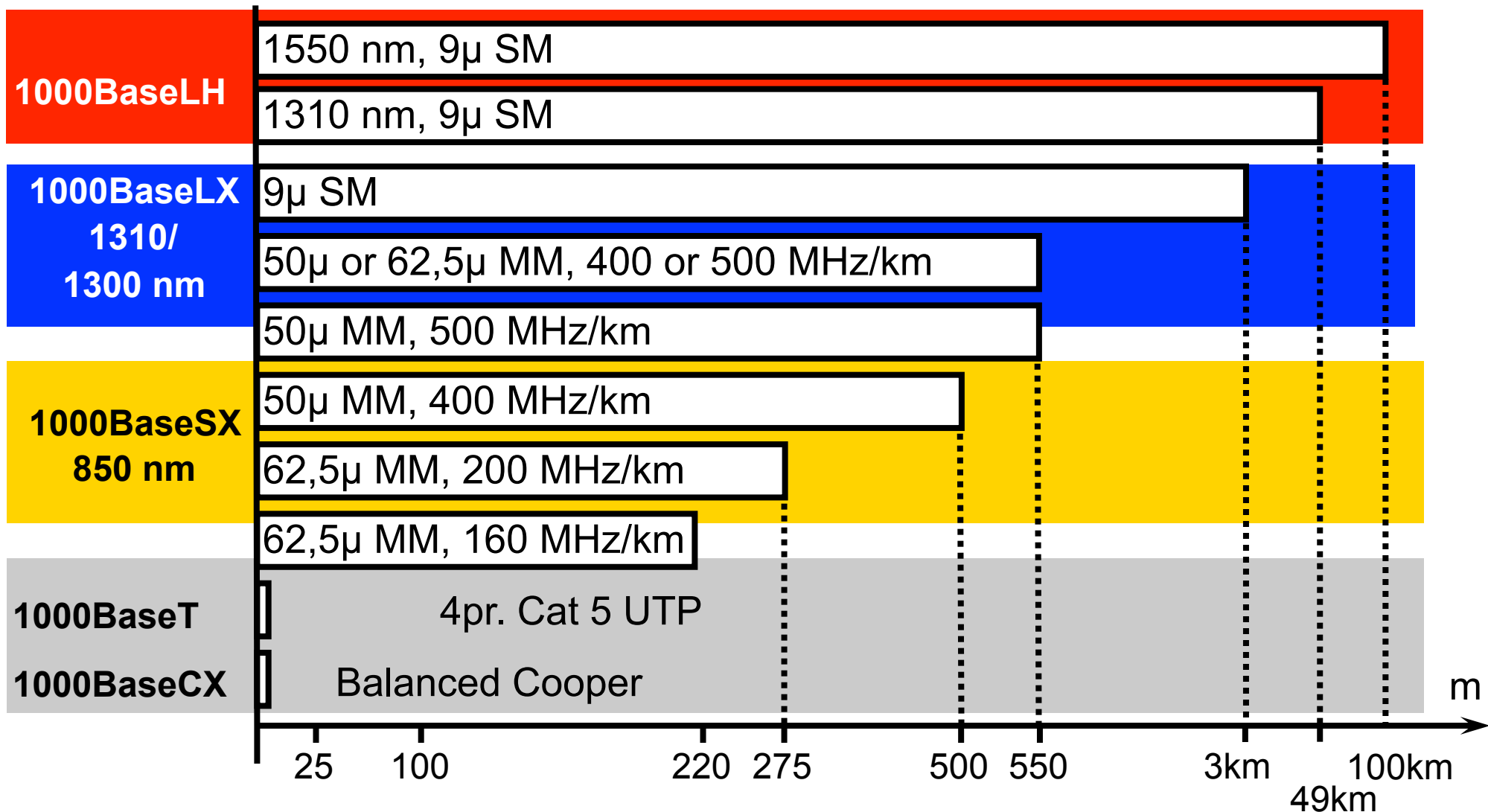


PCS: Physical Coding Sublayer

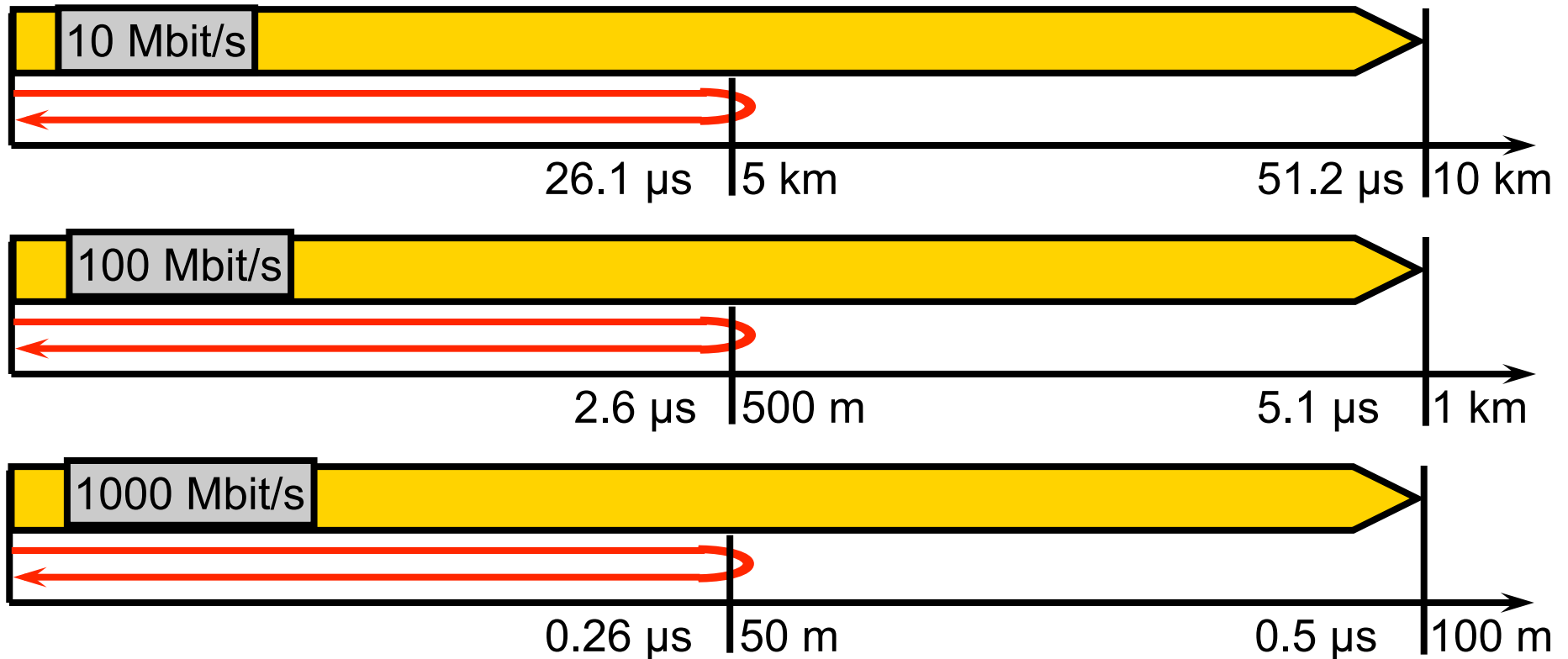
PMA: Physical Medium Attachment

PMD: Physical Medium Dependent

Medium und Übertragungsdistanz



Roundtrip Delay und Übertragungsdistanz



Bedingungen:

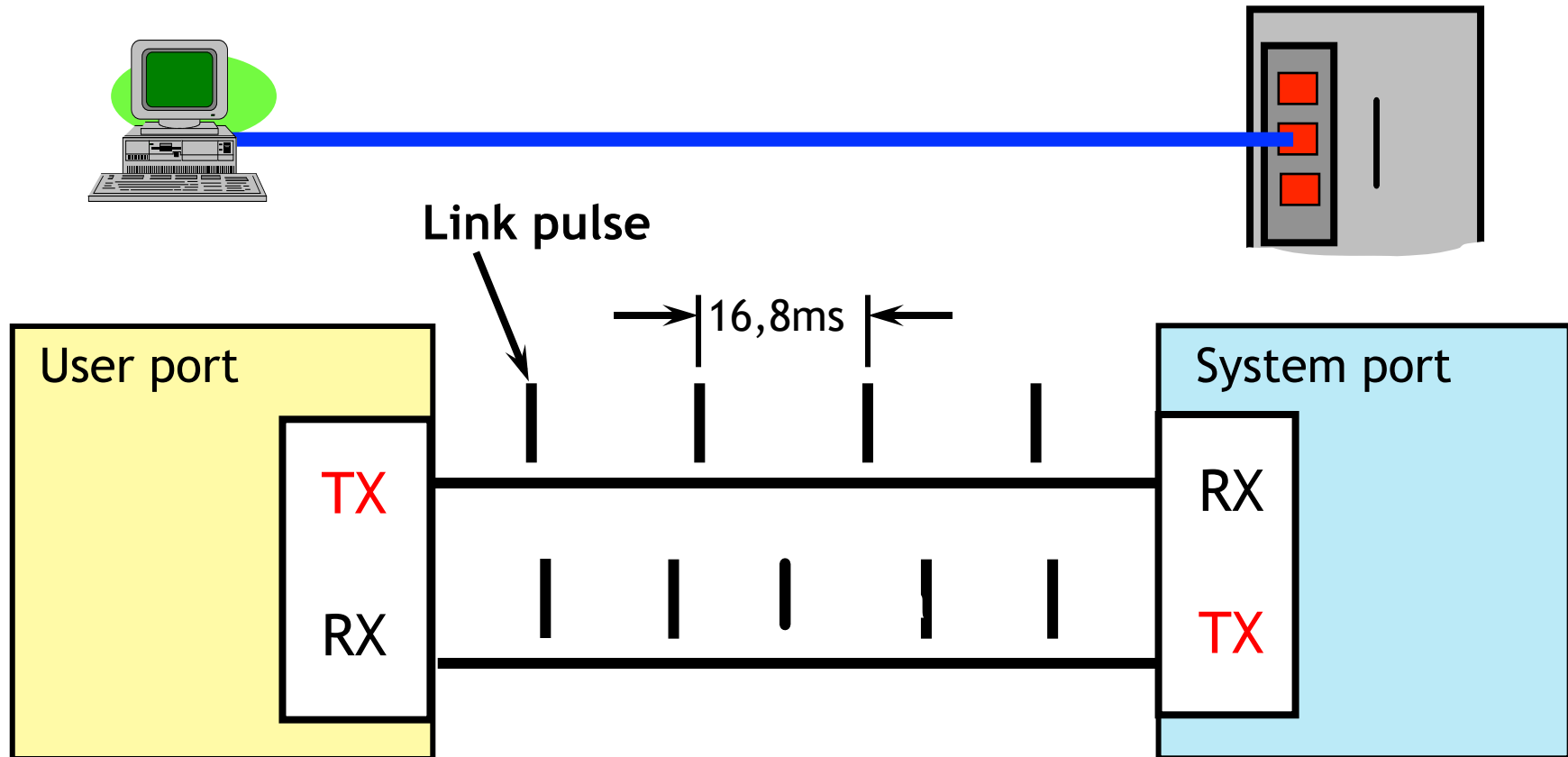
- Rahmengröße = 64 bytes = 512 bits
- Signal-Ausbreitungsgeschwindigkeit = 200 000 km/s

- Auto-Negotiation heißt die Prozedur, die zur Bestimmung einer gemeinsamen Übertragungsart (Mode) verwendet wird
- Modes: 10BASE, 100BASE (FE), 1000BASE (GE)
- Am Ende der Prozedur wird mit der Betriebsart auch die maximale Übertragungs-Datenrate festgelegt

Basisfunktionen

- Falls nur ein Port Auto-Negotiation unterstützt (nicht üblich):
 - Verwendung von 10BaseT Mode.
- Beide Ports unterstützen Auto-Negotiation.
 - Verhandlung der Betriebsart (Geschwindigkeit)

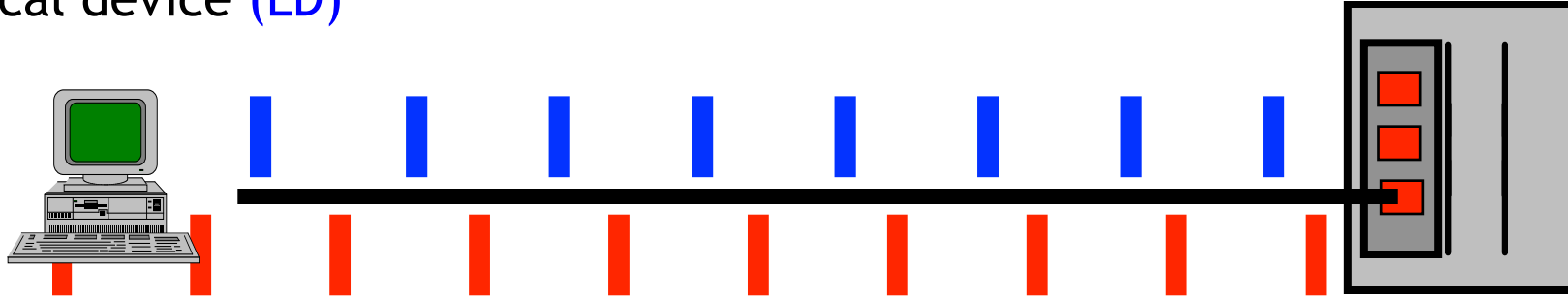
Synchronisation: Link Pulse



Auto-Negotiation : Link Handshake

Local device (LD)

Link partner (LP)

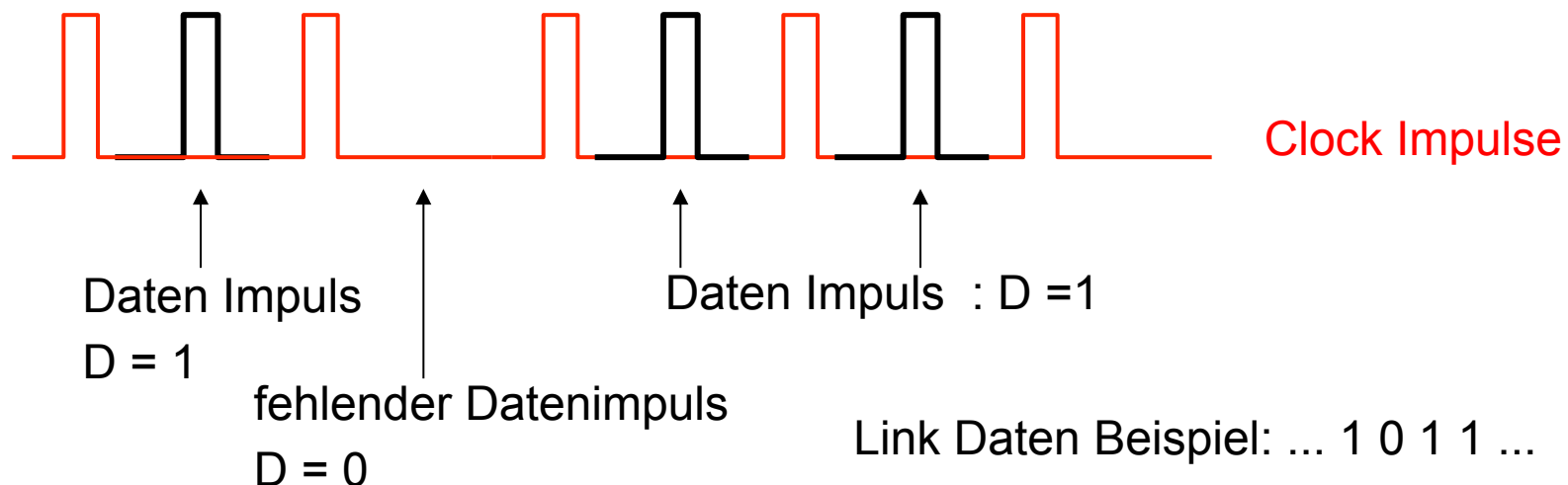


1. LCW kontinuierlich senden (LD) mit Ack=0
(Info to LP: I do not yet know about you.)
2. Empfang 3 aufeinander folgender, gleicher LCWs (LP) mit Ack=x
(LD now recognizes the LCW of LP.)
3. LCW (LD) mit Ack=1 senden
(Info to LP: I received your LCW.)
4. Empfang 3 aufeinander folgender, gleicher LCWs (LP) mit Ack=1
(Info from LP to LD: I received your LCW.)
5. Senden weiterer 6-8 LCWs (LD) mit Ack=1
(To be certain that the handshake is complete.)

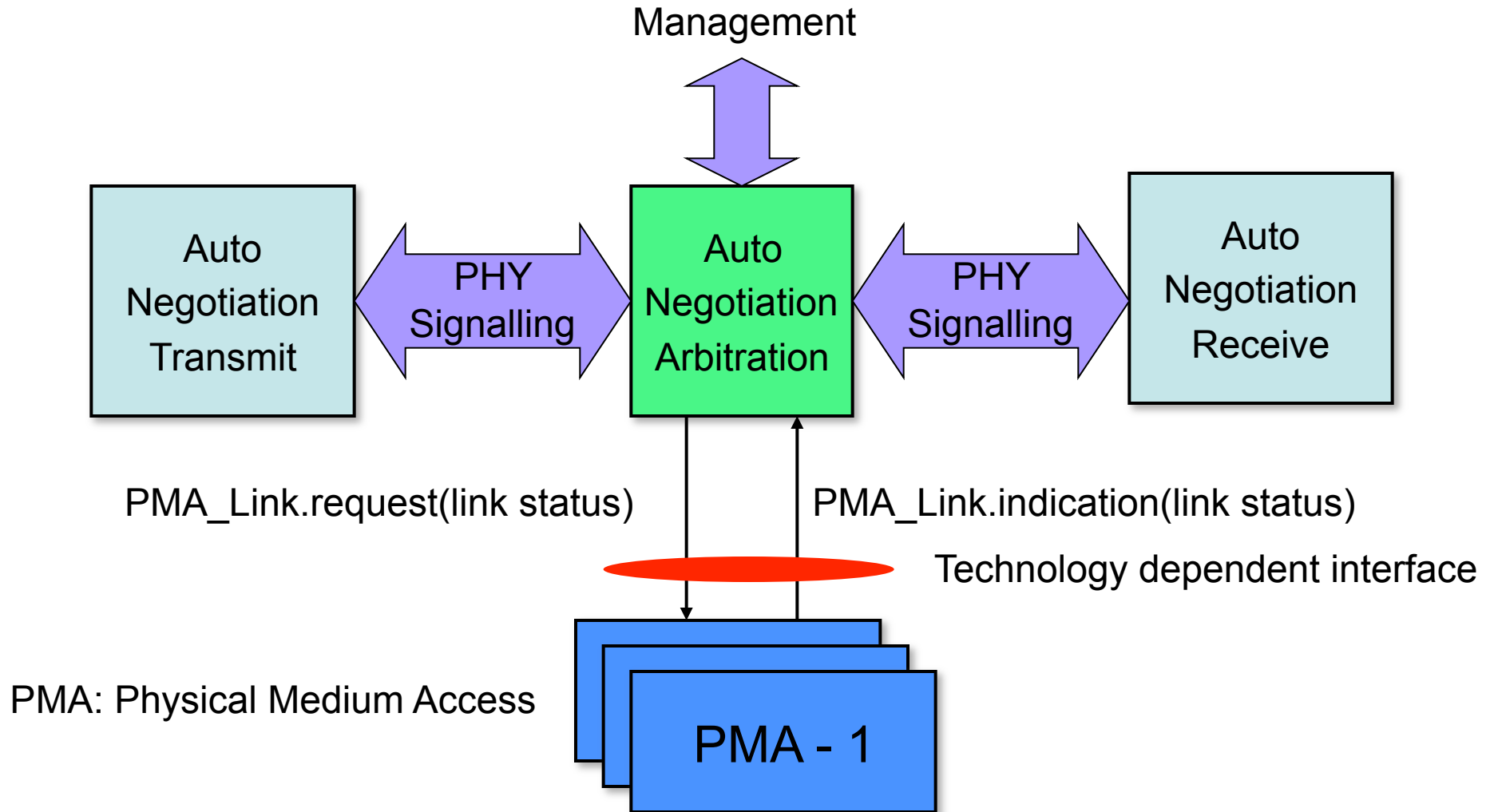
LCW: Link Control Word

Auto Negotiation : Signalisierung

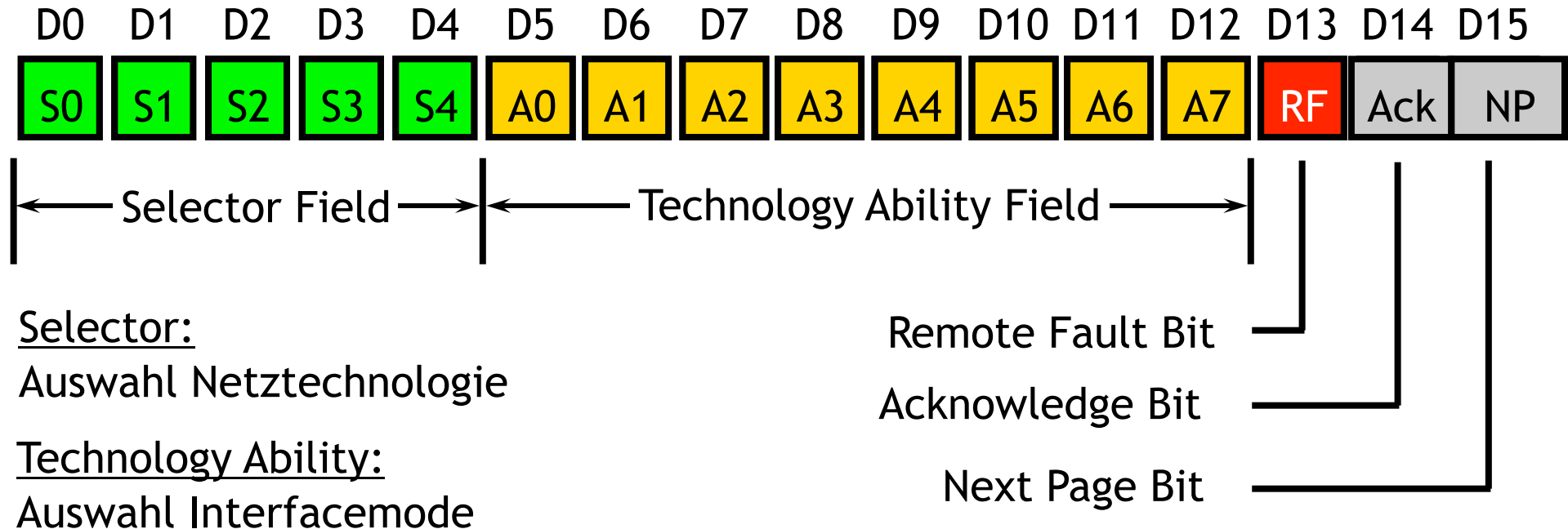
- PHY-Layer Primitive: PMA_Link.Request
 Funktion: Link Control, Auto-negotiation.
- Der Link Control Parameter kann die Werte: SCAN_FOR_CARRIER, DISABLE, oder ENABLE einnehmen
- Der Fast Link Pulse (FLP) Burst besteht aus einer Gruppe 17 – 33 10BASE-T kompatiblen Link Integrity Test Pulsen.
- Jeder FLP Burst kodiert 16 Datenbits mittels alternierender Takt- und Daten-Impulsfolge.



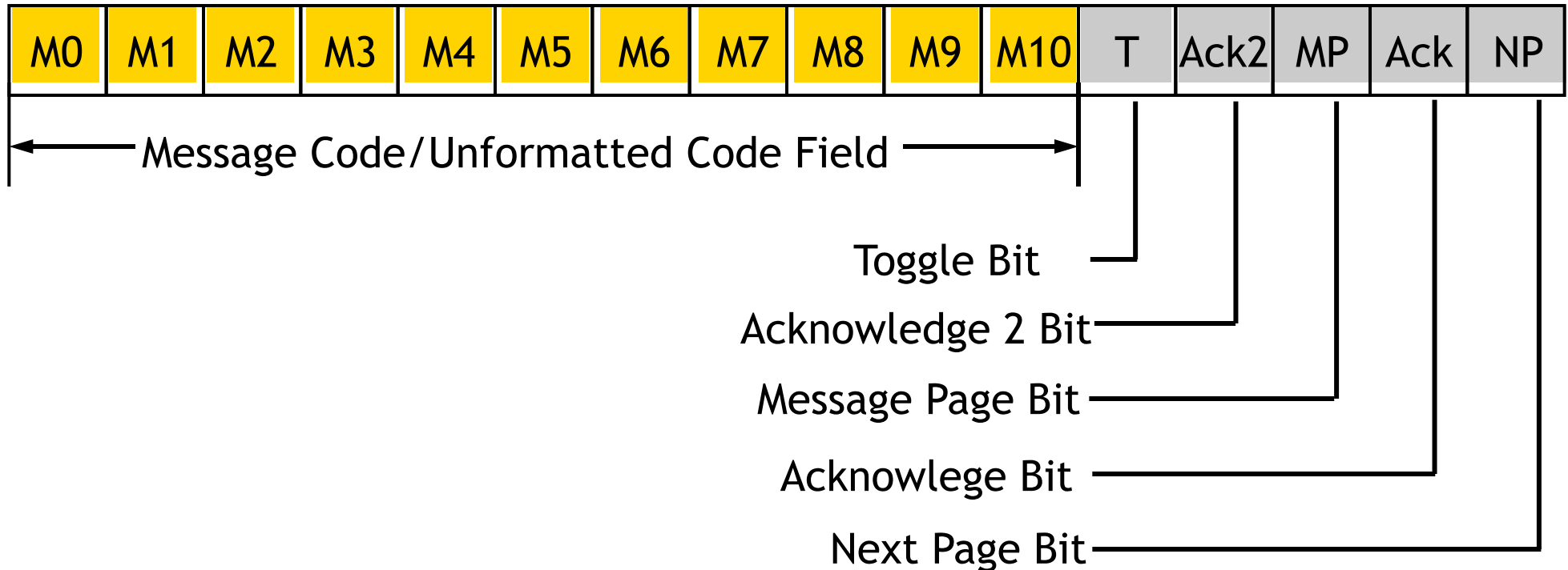
Arbitration Funktion



Base Link Codeword Format



Next Page Link Codeword Format



- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Schicht-1 Funktionen

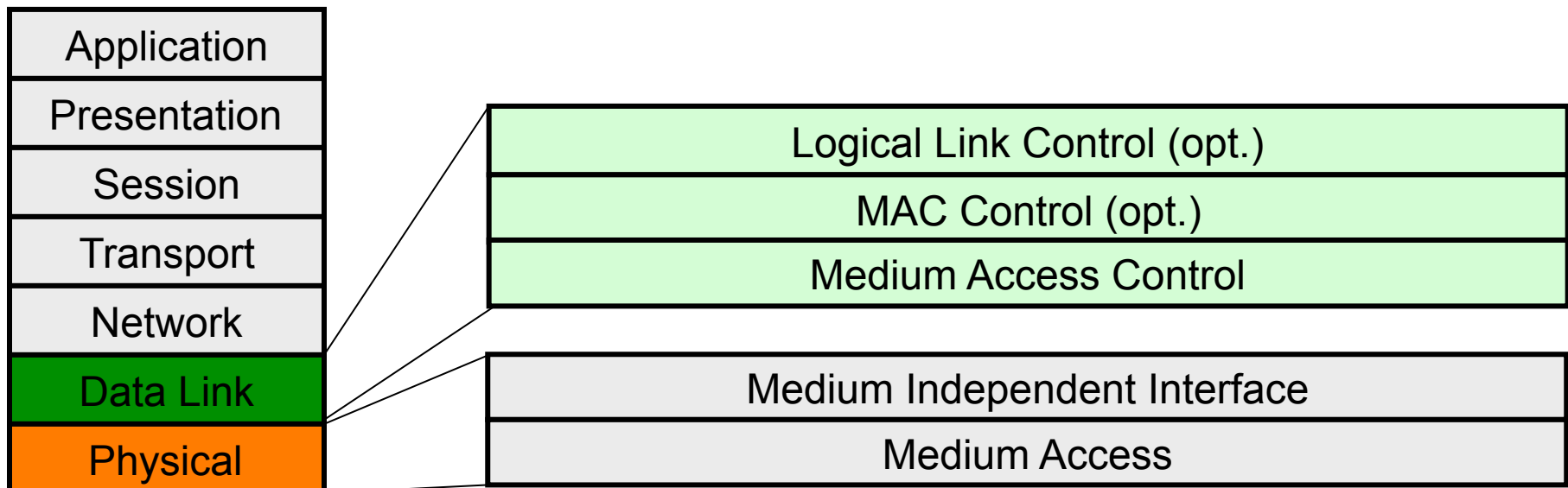
- Medium Access

Medium Independent Interface
Medium Interface

Schicht-2 Funktionen

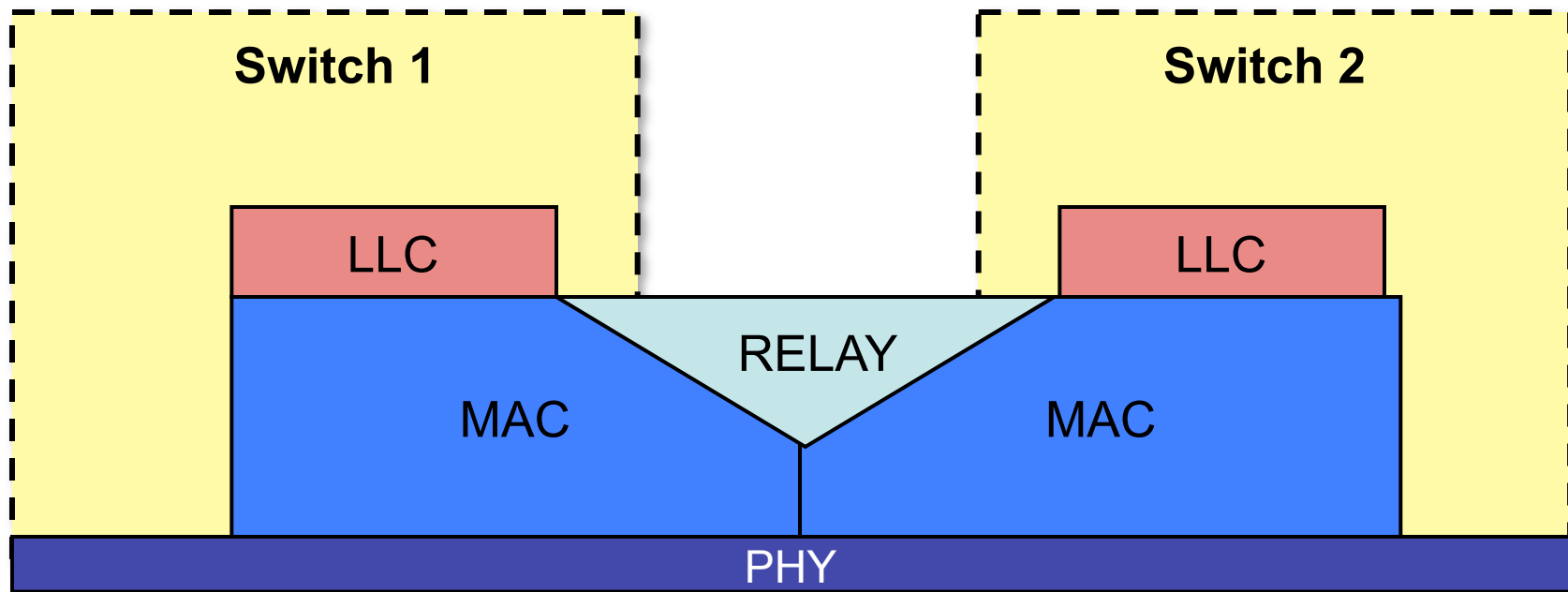
- Zugang zum Übertragungsmedium
- Protokollsteuerung
- Link Verbindungssteuerung

Mediaum Access Control
MAC Control
Logical Link Control

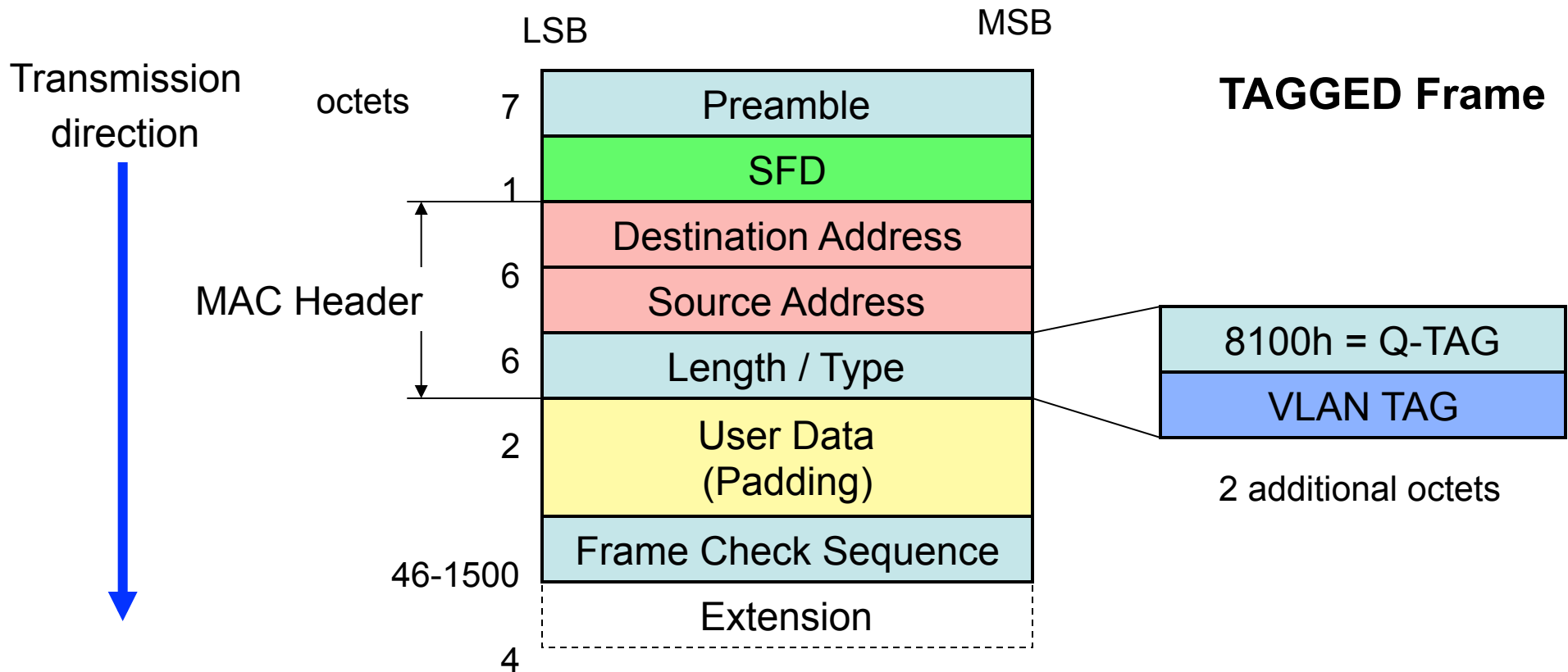


Layer-2 Bridge/Switch

Rahmen übertragen : Eingangsport -> Ausgangsport
Fehlerhafte Rahmen beseitigen
Rahmen zwischenspeichern und filtern
Durchführung von Management Funktionen
Durchführung von Quality of Service (priority, traffic class) Aufgaben



MAC Rahmen



SFD: Start Frame Delimiter

Aufgabe

- Aktivieren Sie Ihren Raspberry PI
- Laden Sie die GUI
- Verbinden Sie sich mit dem lokalen Kurs-WLAN
- Laden Sie das Trace-Programm Wireshark
im shell-Fenster: `sudo wireshark`
- Aktivieren Sie einen Wireshark trace auf der WLAN0 – Schnittstelle
- Analysieren Sie die Ethernet Schicht

MAC Adressen Format

Beispiele:

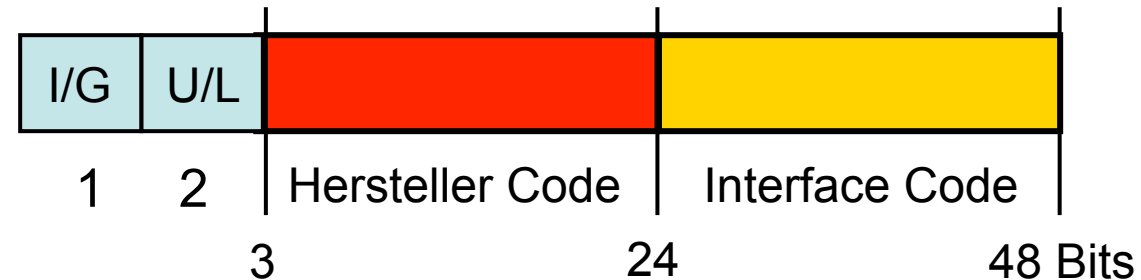
Unicast: 00-01-68-50-23-45

Broadcast: FF-FF-FF-FF-FF-FF

Multicast: **01-80**-C2-00-00-00

↑
Multicast

↑
Bridge Management

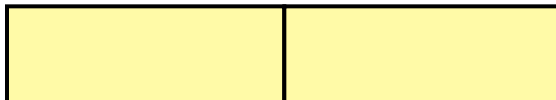


I/G: 0 = Individuelle Adresse;
 1 = Gruppenadresse (Broadcast = FFh)

U/L: 0 = Globale Adresse;
 1 = Lokale Adresse

Type / Length Field:

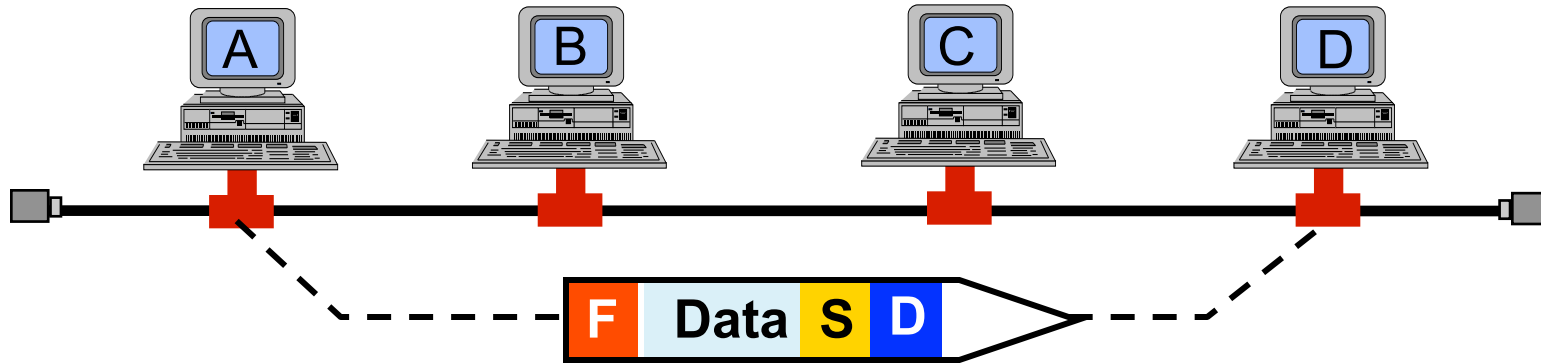
2 Octets



Beispiele: 0800 (2048): IP
 0806 (2054): ARP

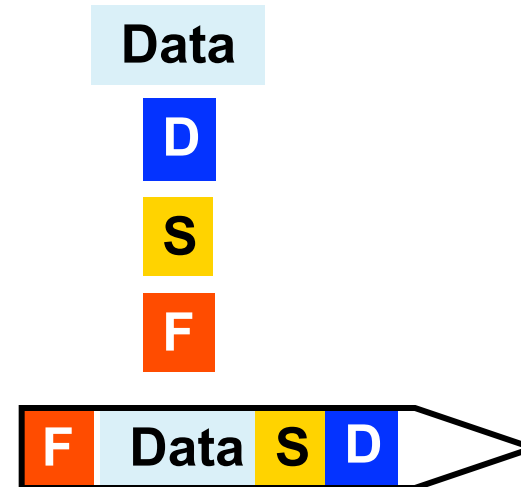
Falls Paket > = 1536 (0600h) TYPE - Interpretation : Protokoll - ID

MAC Adressierungsmethode

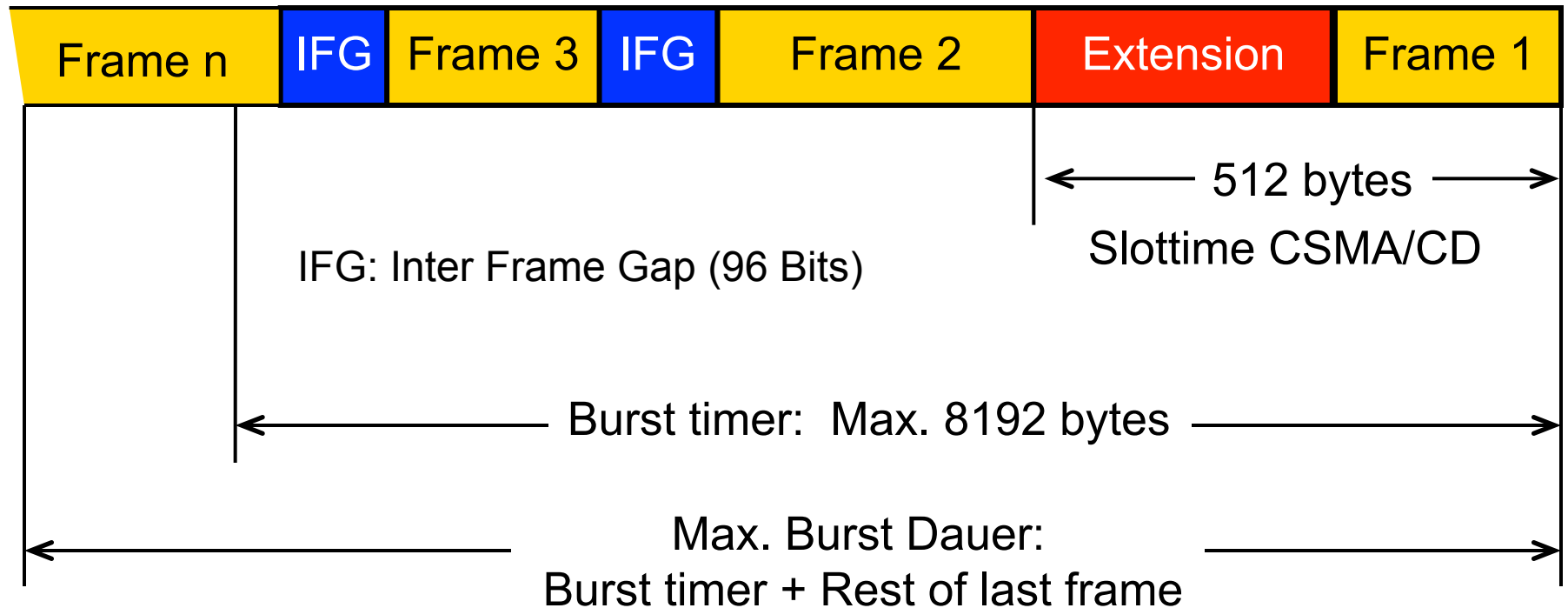


Nachricht (höhere Schichten):

- + Dest. address
- + Source address
- + Error checking
- = Frame (packet)



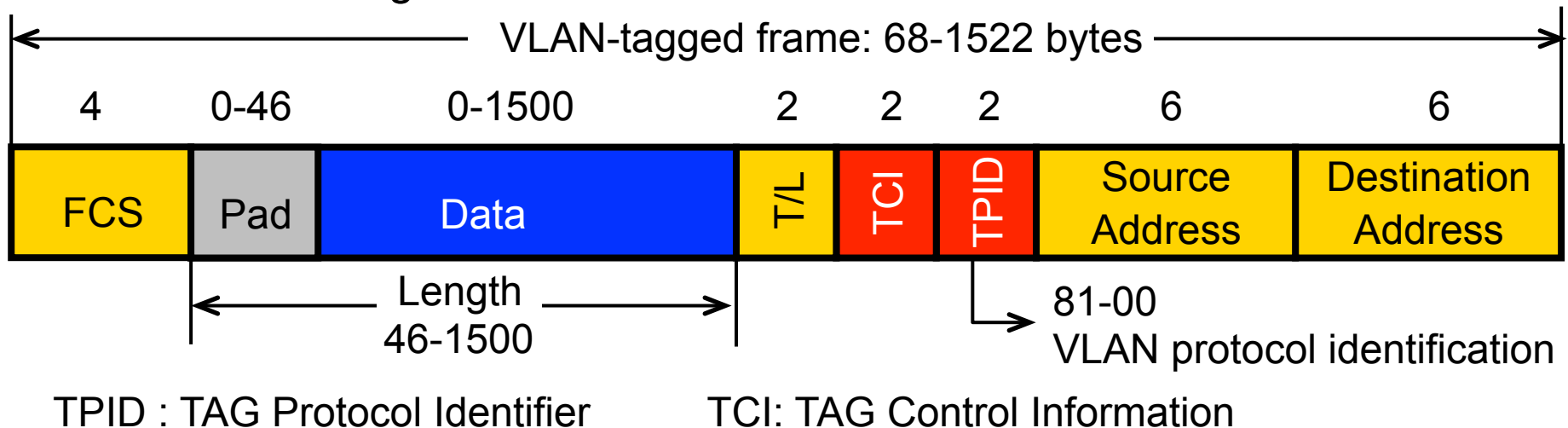
Frame Bursting



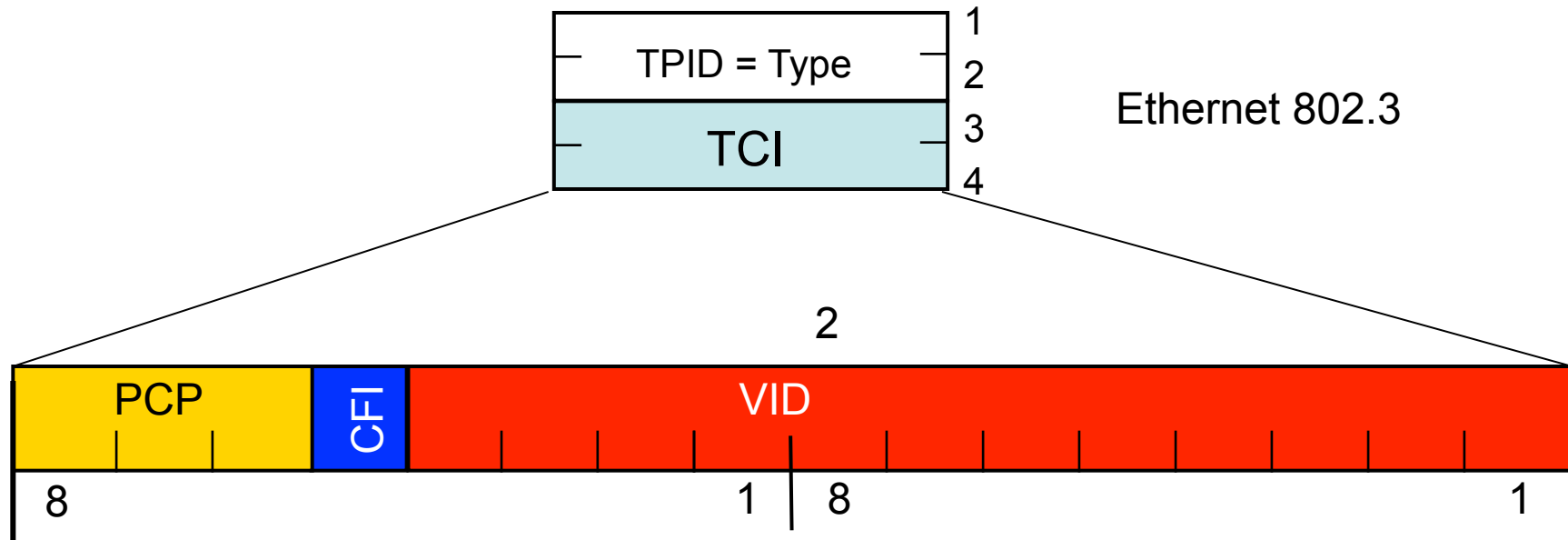
- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Virtual Local Area Network (VLAN)

- VLANs gruppieren Ethernet Hosts zu einem gemeinsamen LAN
- VLANs ermöglichen die Trennung der Ethernet Dienste
- Durch VLANs werden logische und physikalische Strukturen getrennt
- VLAN forwarding ermöglicht die Implementierung von Ethernet-basierten QoS Diensten
- Der Ethernet Header besitzt zusätzlich 2 Bytes für die VLAN Adressierung



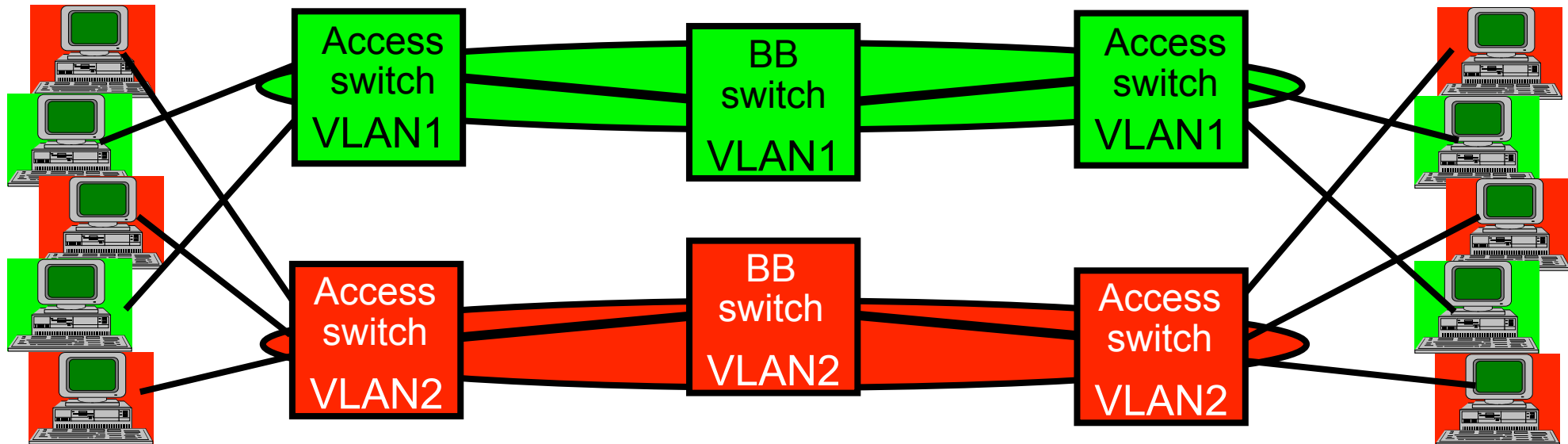
VLAN Tag Control Information (TCI)



CFI: Canonical format identifier
VID: VLAN identifier
TPID: TAG protocol ID
PCP: Priority Code Point
TCI: TAG control information

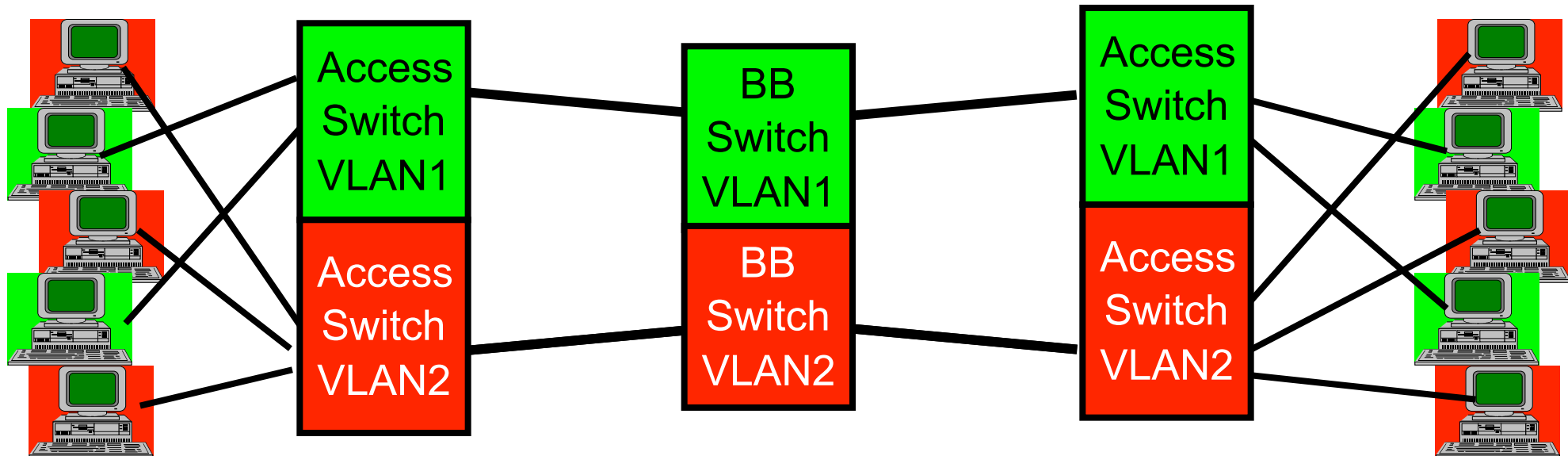
Virtual LAN Prinzipien (1)

- Virtual LAN Standard: IEEE 802.1Q
- VLAN Definition auf Port-Ebene
- Jedes VLAN kann als unabhängiges LAN betrachtet werden

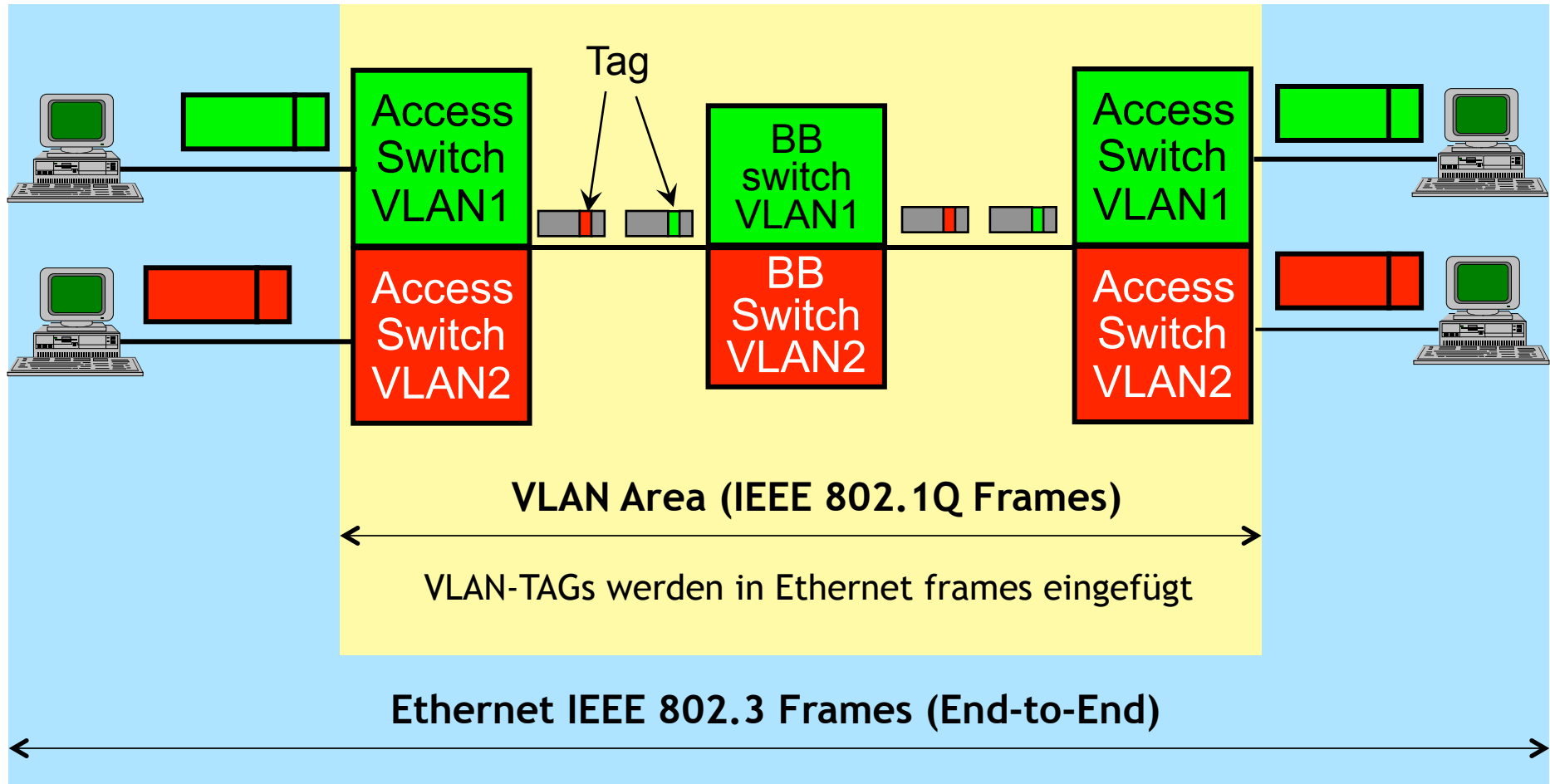


Virtual LAN Principles (2)

- Eine Netz-Infrastruktur für beide LANs



Virtual LAN Principles (3)



Ethernet Frame with VLAN Tag

IEEE 802.3/Ethernet DIX V2 Header

Frame Length : 68

Destination Address : 00-80-16-00-80-C0,

Source Address : 00-80-16-00-00-00,

802.1q Tag Type ID : 0x8100

Frame Checksum : Good,

Frame Check Sequence : 01 4B 34 07

IEEE 802.1q - Virtual Bridged LAN

Tag Control Information : 0x2800

1.... = Priority = 1

...0 = RIF Field is Not Present

.... 1000 0000 0000 = VLAN ID = 2048

Frame Format : Ethernet DIX V2

Ethertype : 0x800 (IP)

IP - Internet Protocol

Version : 4,

Header length : 20

Type of Service : 0x00

VLAN Arten (1)

Schicht-1 VLAN:

- LAN Switch Port abhängig
- unabhängig vom Schicht-2 Protokoll

Schicht-2 VLAN:

- Abhängig von der MAC-Adresse
- unabhängig vom Schicht-3 Protokoll

Schicht-3 VLAN:

- Abhängig von der IP-Adresse
- Definiert ein logisches Subnetz

Anwendungsschicht VLAN:

- Anwendungs-spezifisch z.B.VoIP

VLAN Arten (2)

Port-VLAN

Port	VLAN
1	1
2	1
3	2
4	1

Schicht-2 VLAN

MAC Address	VLAN
1212354145121	1
2389234873743	2
3045834758445	2
5483573475843	1

Protokoll-VLAN

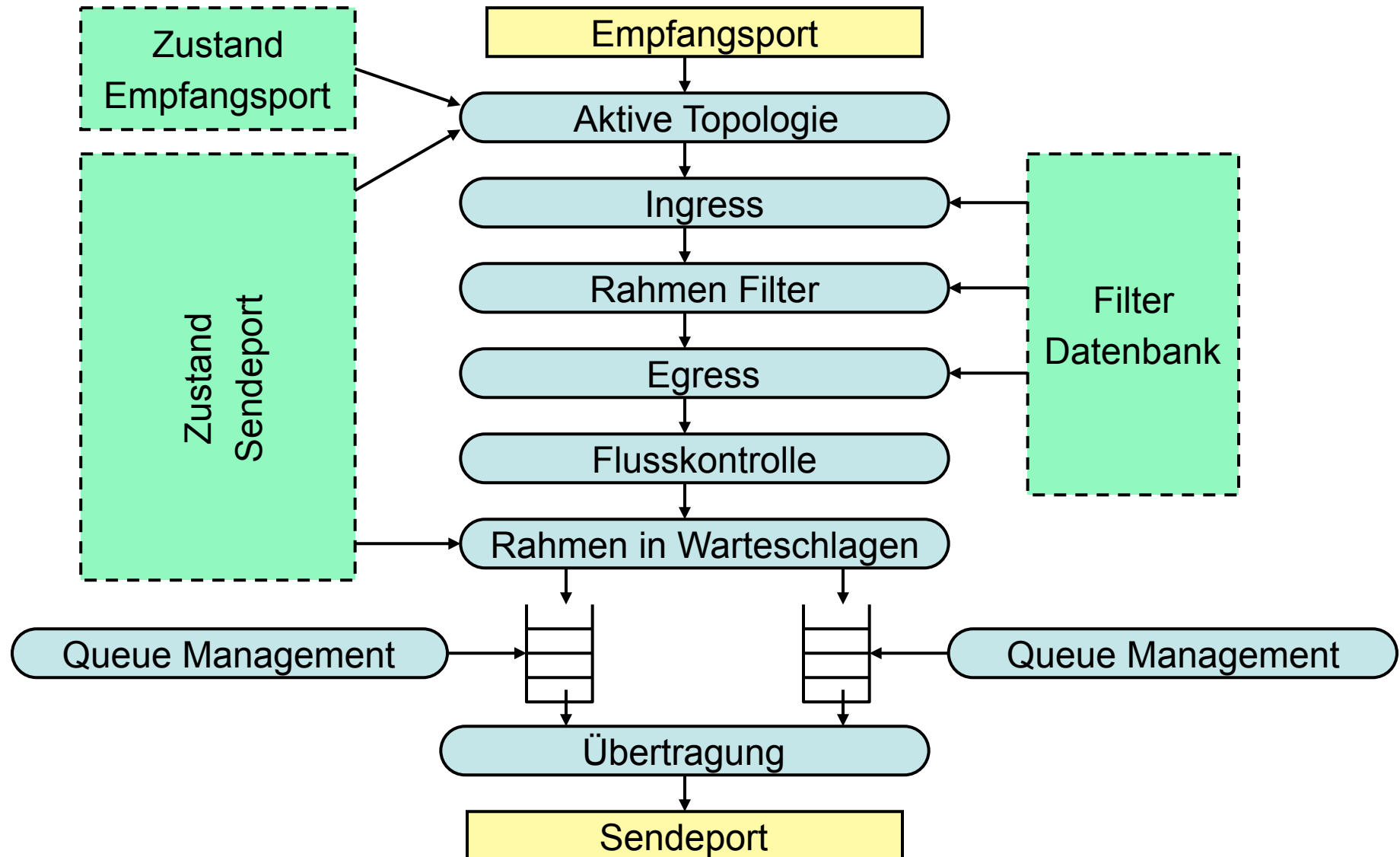
Protocol	VLAN
IP	1
IPX	2

Schicht-3 VLAN

IP Subnet	VLAN
23.2.24	1
26.21.35	2

802.1Q unterstützt Paketfilter für höhere Protokollschichten
unterschiedliche Anwendungen können dadurch
mit spezifischen QoS – Anforderungen transportiert werden

Forwarding Prozess



IEEE 802.1D/p

- Spezifiziert die dienstabhängige Verteilung und Priorisierung der LAN-Bandbreite
- 8 Prioritäts-Levels (0 – 7)
- Priorität wird durch die p-Bits im VLAN-Tag spezifiziert
- Möglichkeiten für das Management von :
 - Latenzzeit
 - Durchsatz

Prioritätsklassen

Network Control:

garantierte Zustellung der Rahmen mit höchster Priorität

Internetwork Control:

getrennte administrative Domains in großen Netzen

Sprache:

Verzögerung ≤ 10 ms, max Jitter nur durch die LAN Infrastruktur vorgegeben

Video:

Verzögerung ≤ 100 ms als primäre QoS Anforderung.

Kritische Anwendung:

garantierte min. Datenrate als primäre QoS Anforderung

Excellent Effort:

best-effort Service-Typ für Prime-users.

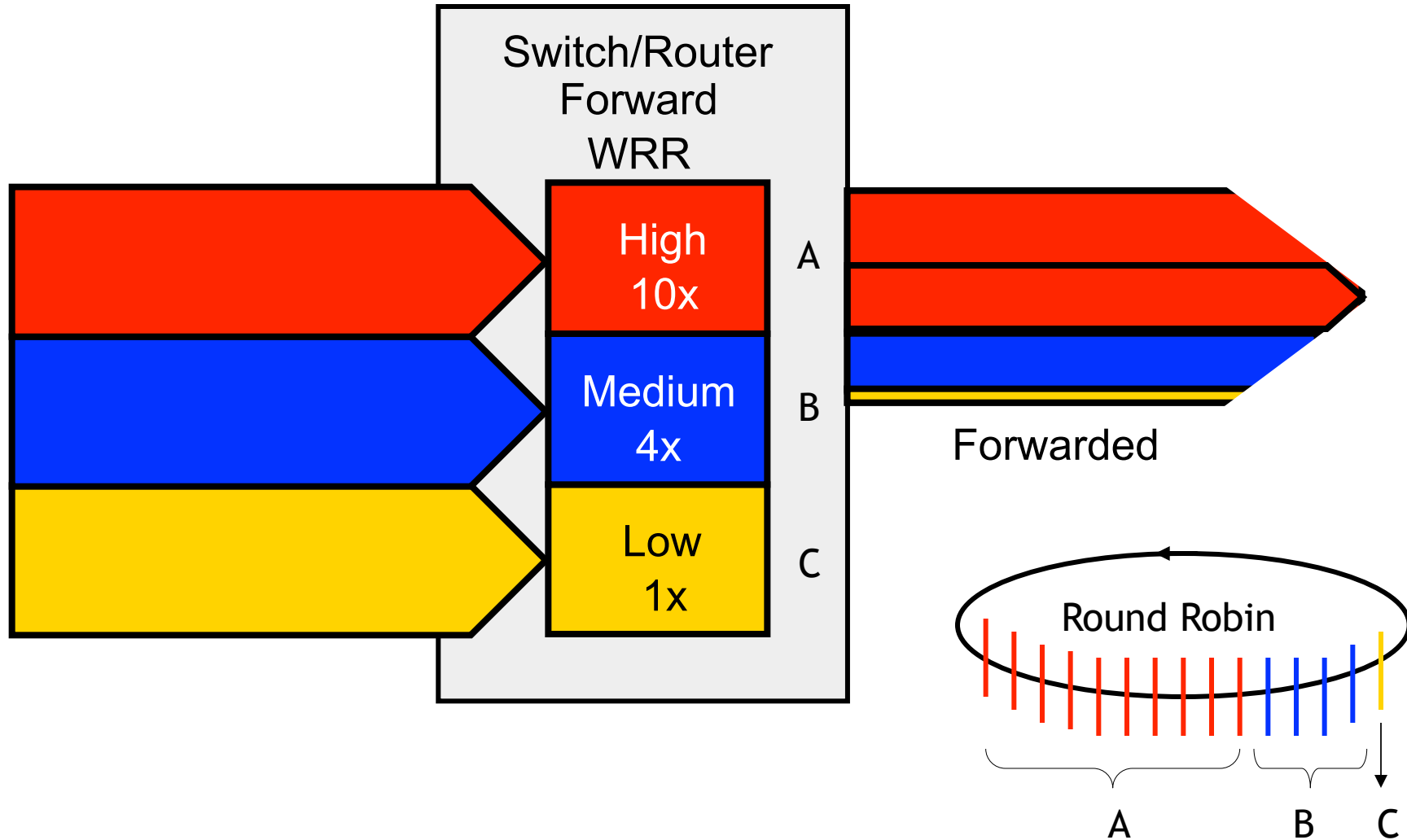
Best Effort:

Standard Verkehrsart für unpriorisierte Anwendungen

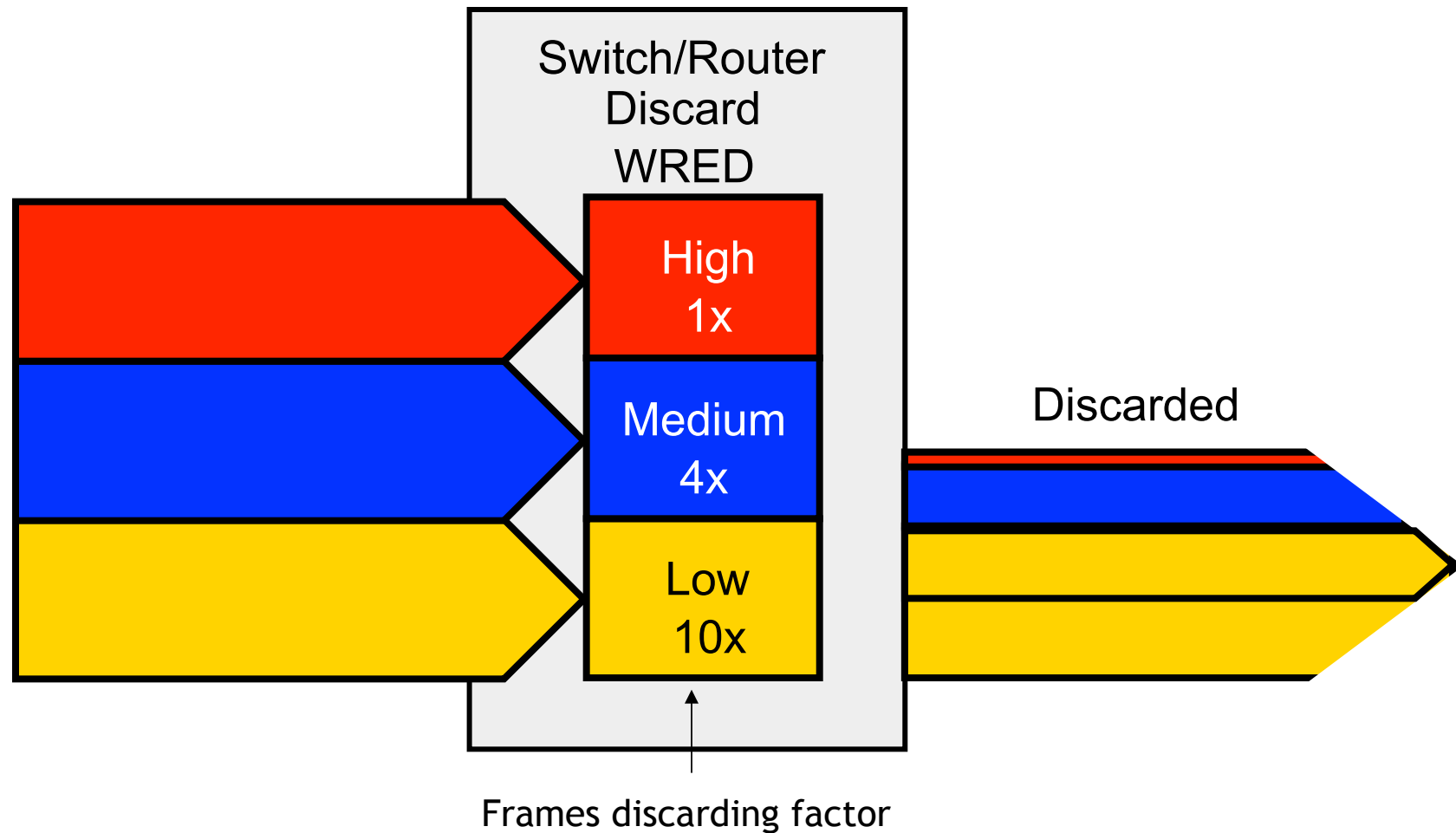
Background:

für Massendaten-Anwendungen ohne Auswirkungen auf die Netzgüte

Priorisierung: Weighted Round Robin (WRR)



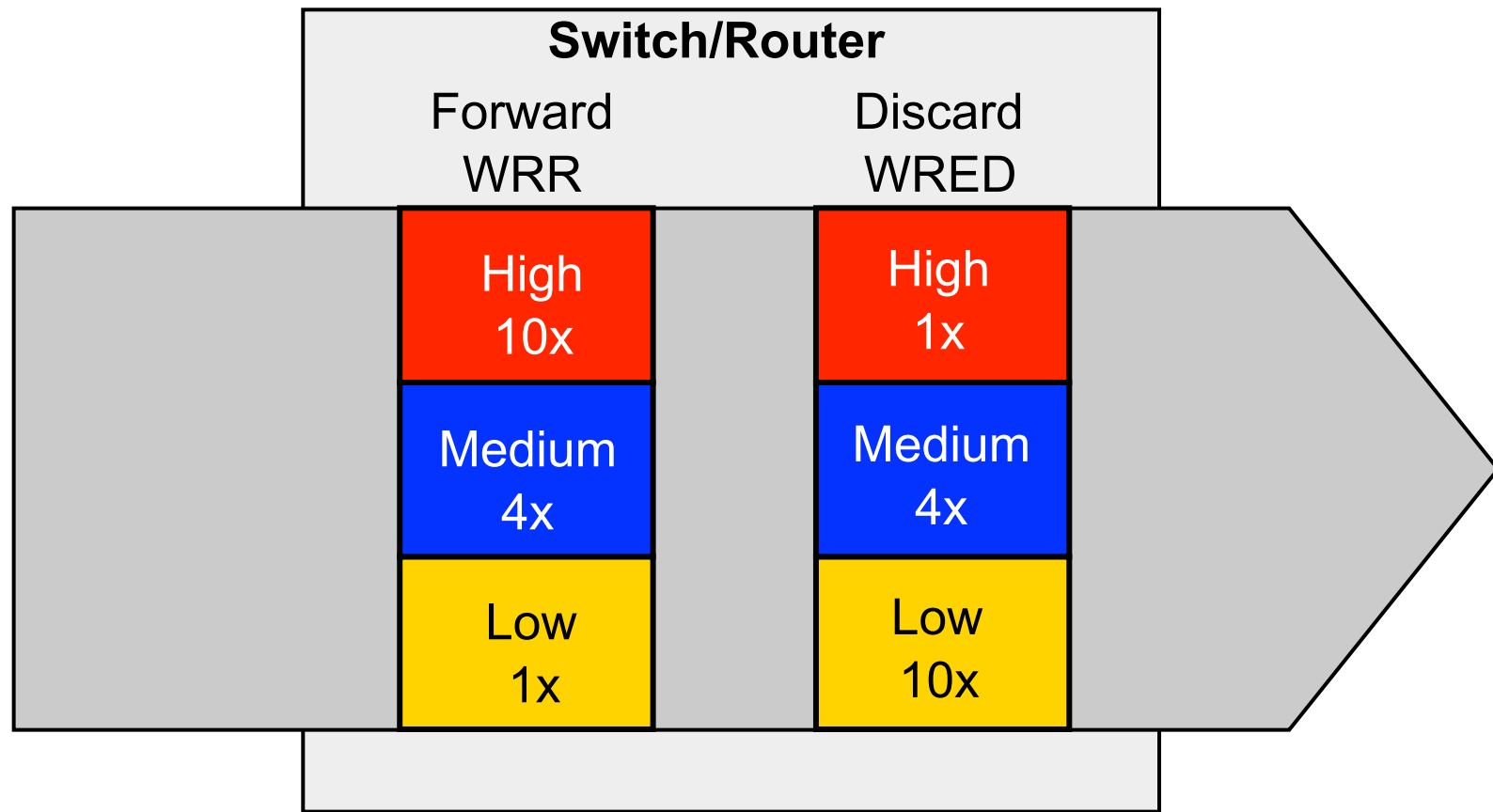
Weighted Random Early Discard



Scheduling Methoden: WRR und WED

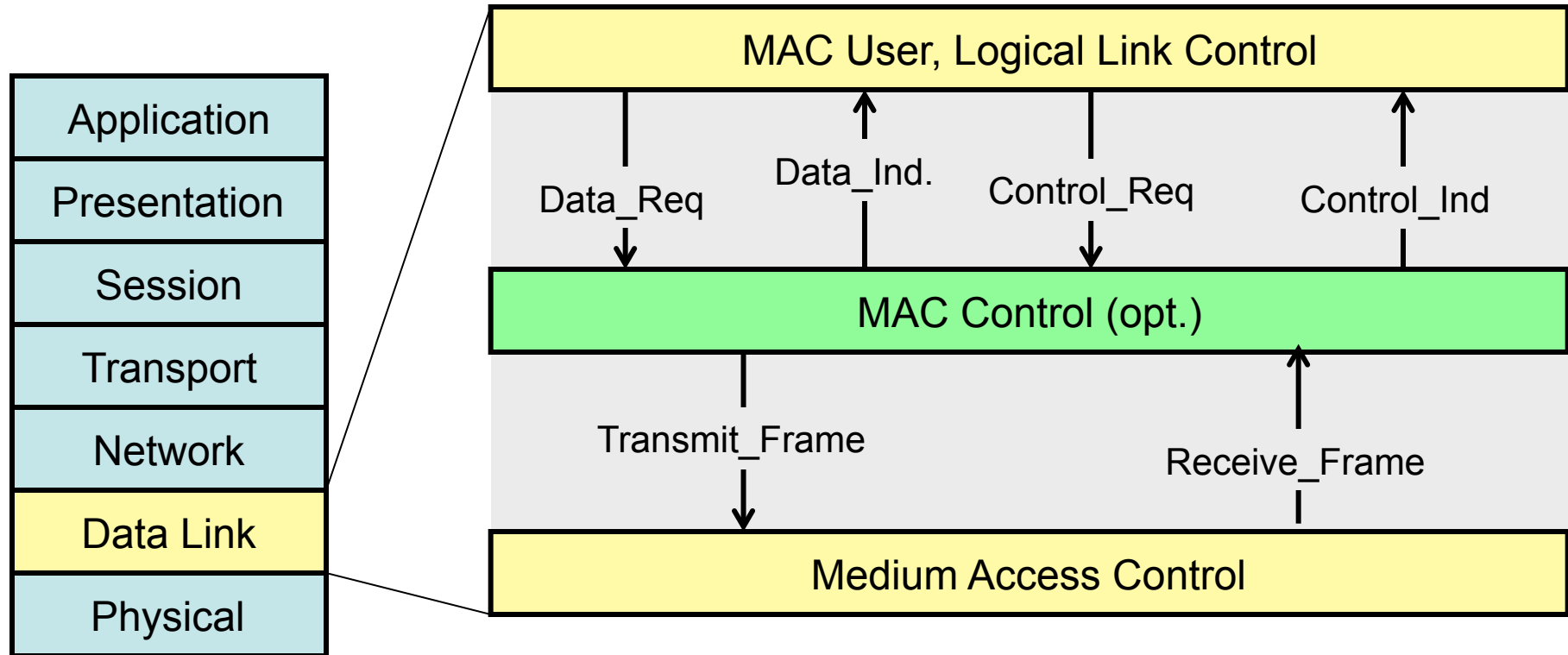
WRR: Weighted Round Robin

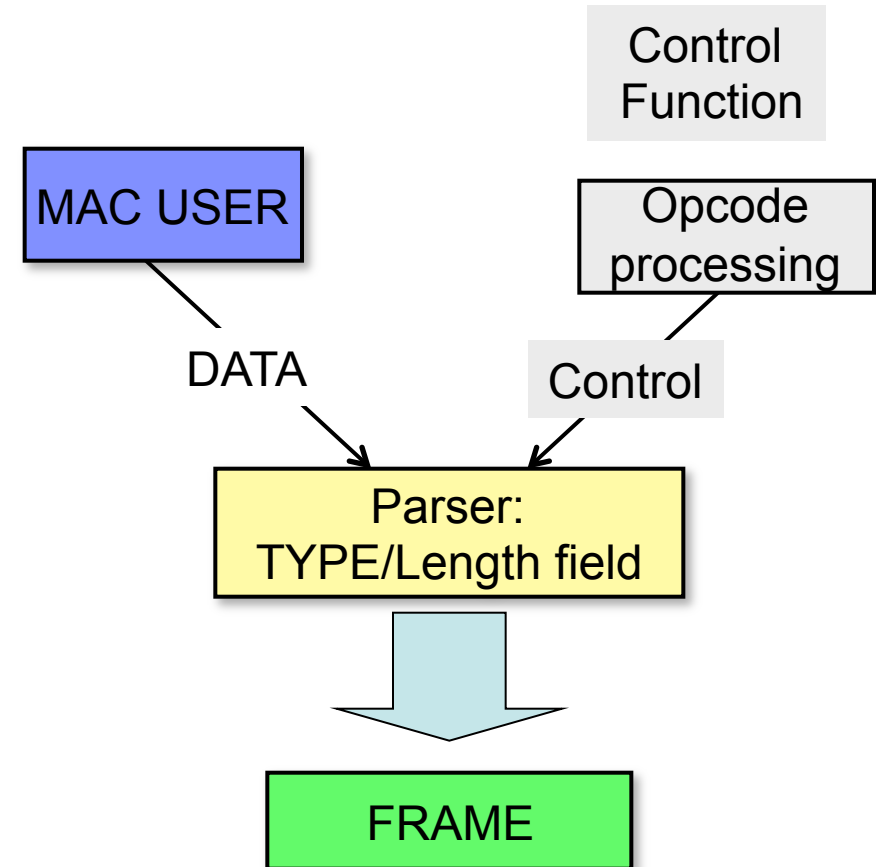
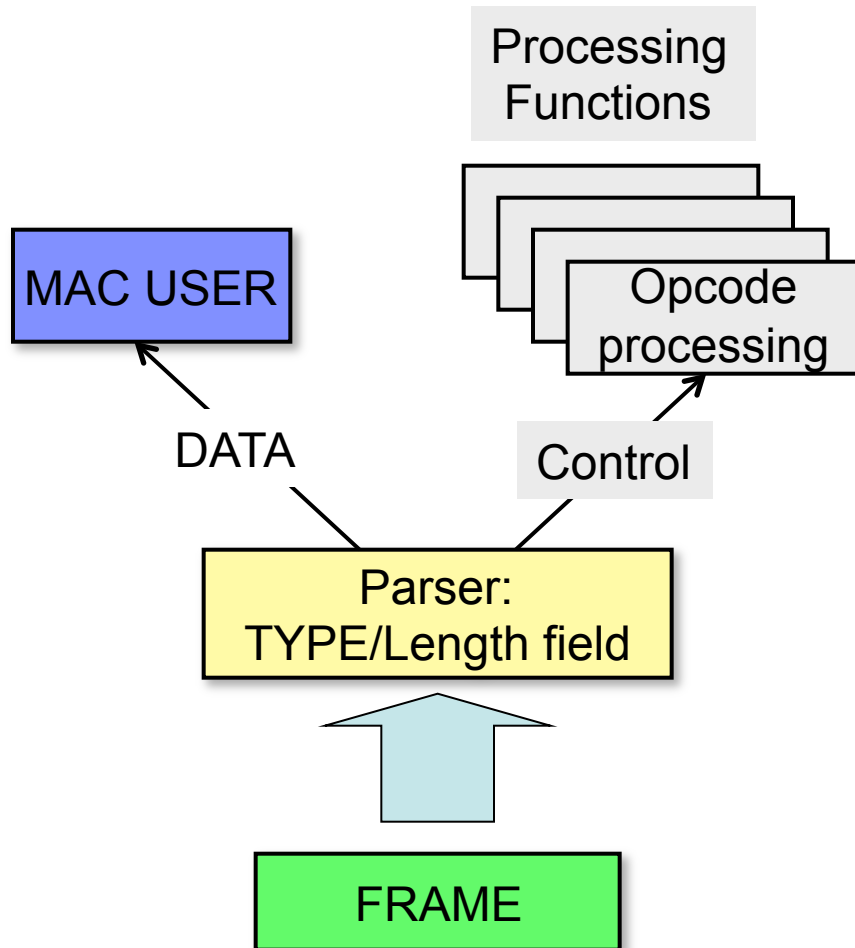
WED: Weighted Early Discard



- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

MAC Management Sublayer





Data Encapsulation (Senden und Empfangen)

- Rahmenbildung
frame boundary delimitation, frame synchronization
- Adressierung
source address und destination address
- Fehler Erkennung
Physical Medium Transmission Errors mittels FCS Berechnung

Media Access Management

- Medium Belegung
collision avoidance
- Bewerbung um das Medium
contention resolution, collision handling

Slot Time

Min. Übertragungszeit für einen Rahmen. **Berechnung:** $L_{min} * \text{Übertragungsrate}$
 $L_{min} = 512$. Für 10Mbit/s : Slot time = $512 * 10\text{Mbit/s} = 51.2 \mu\text{s}$ (1000Mbit/s: $0.512 \mu\text{s}$)

Interframe Gap

Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Rahmen. Das Interframe Gap dauert 96 Bits. Bei 10 Mbit/s beträgt das Interframe Gap $9.6 \mu\text{s}$ (100Mbit/s: $0.96 \mu\text{s}$)

Roundtrip Delay

Beträgt die doppelte Signalverzögerungszeit zwischen Sender und Empfänger.
Regel: Roundtrip Delay < Slot Time

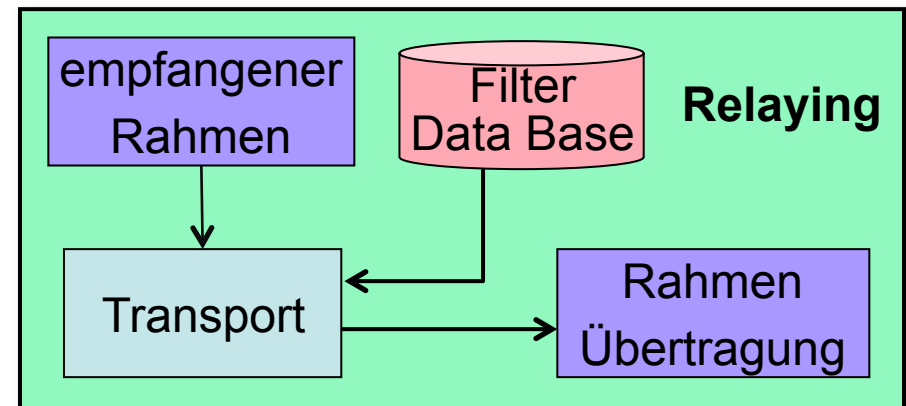
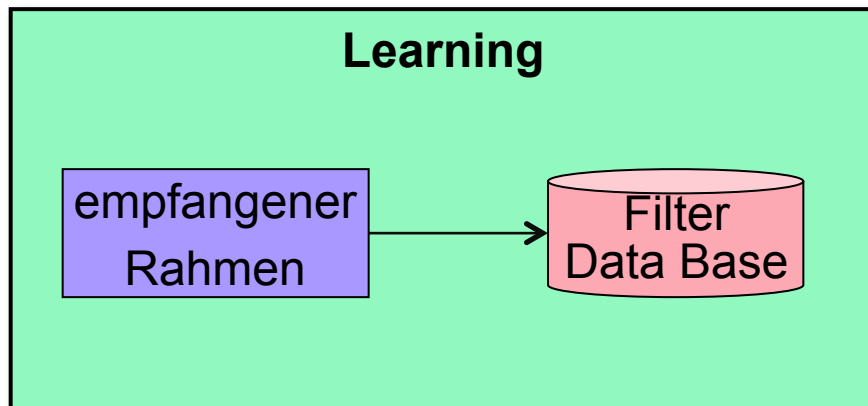
Backoff Time

Wartezeit nach einer Kollisionserkennung. Backoff time = $N * \text{Slot Time}$. N ist eine Zufallszahl zwischen 1 und 1023. Maximalwert: $52377.6 \mu\text{s}$.

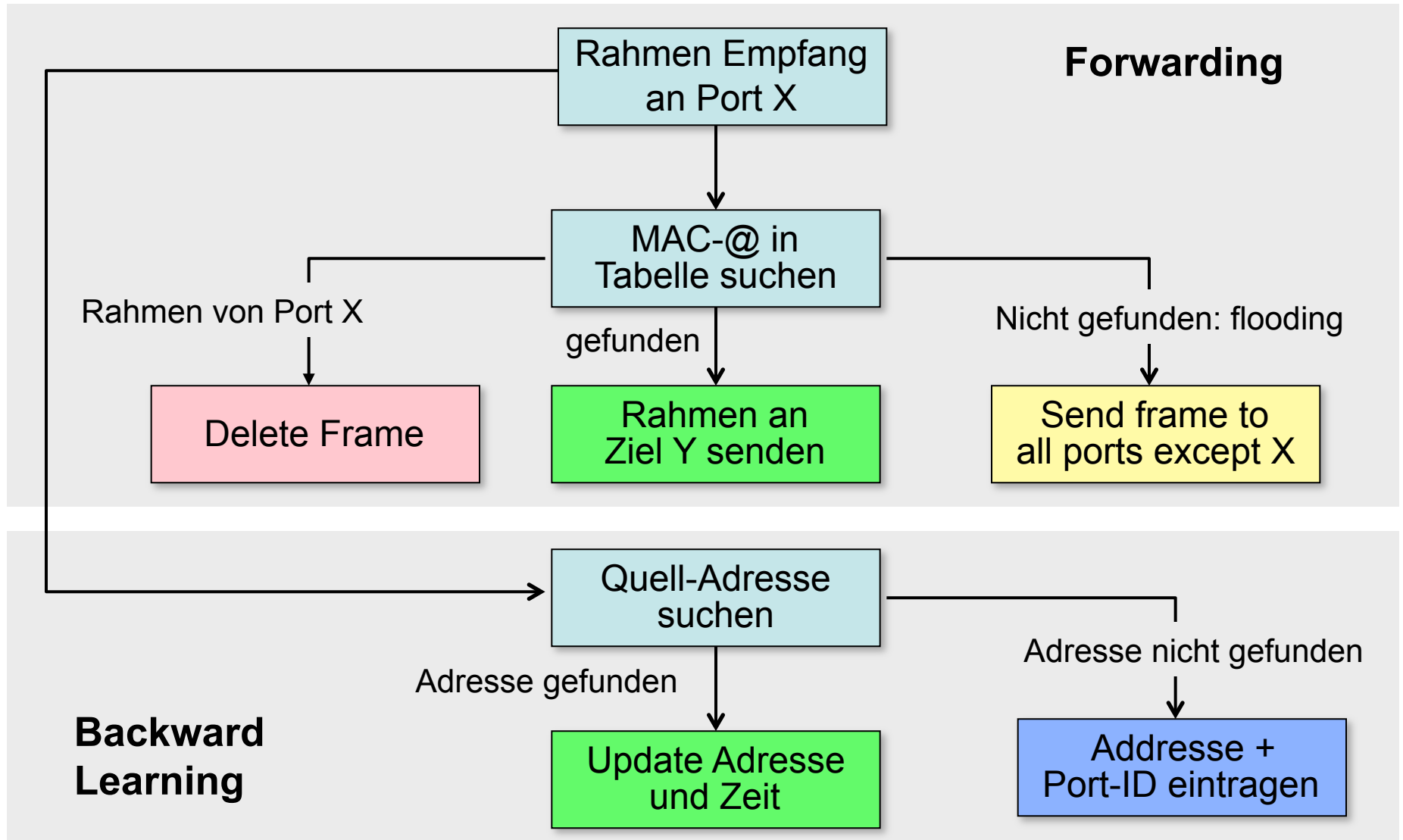
Frame Bursting

Zusammenfassung mehrerer Rahmen zu einem Burst mit einer max. Dauer von $65.536 \mu\text{s}$.

- Daten Filter ermöglichen die Kontrolle über spezielle Quell- und Zieladressen in bestimmten Netzsegmenten.
- Diese Funktion erlaubt den Aufbau von Verwaltungsgrenzen über welche bestimmte MAC-Adressen nicht weitergegeben werden
- Filter-Regeln und Filter-Entscheidungen werden bezüglich der MAC-Adressen durchgeführt

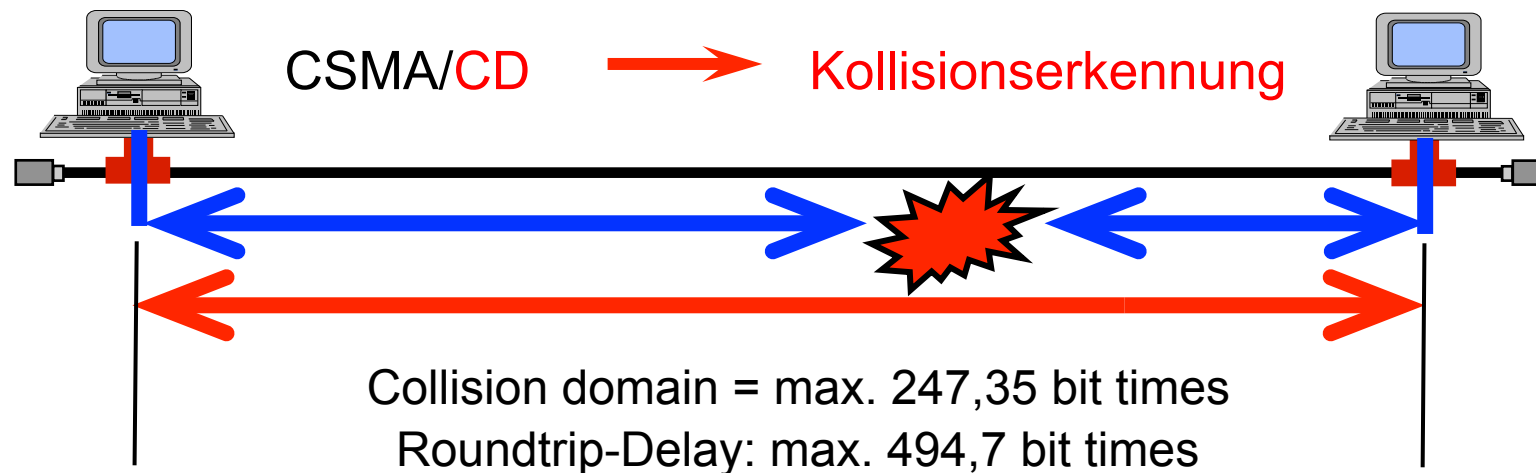


Rahmen Übertragung : Frame Forwarding

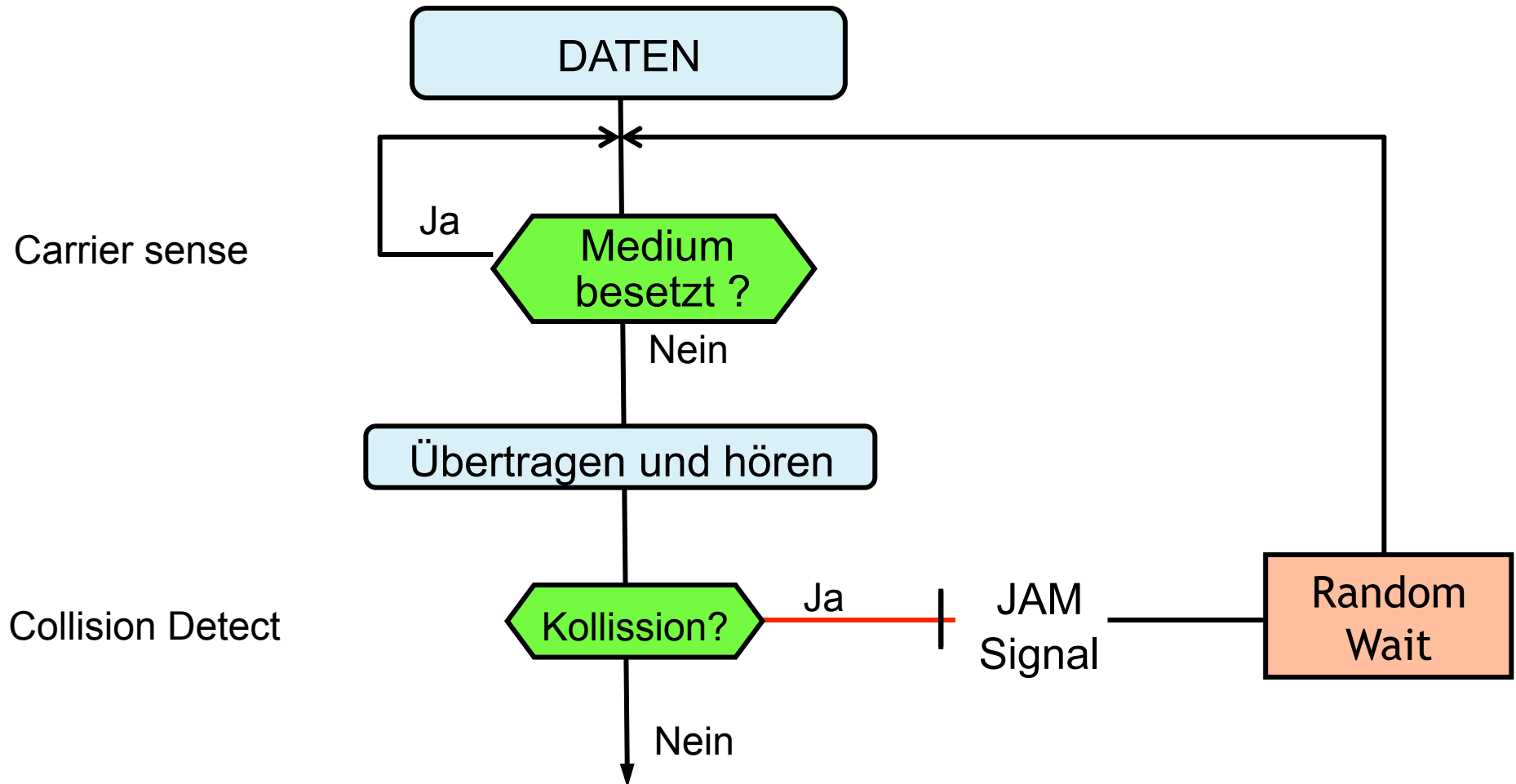


Kollisionen

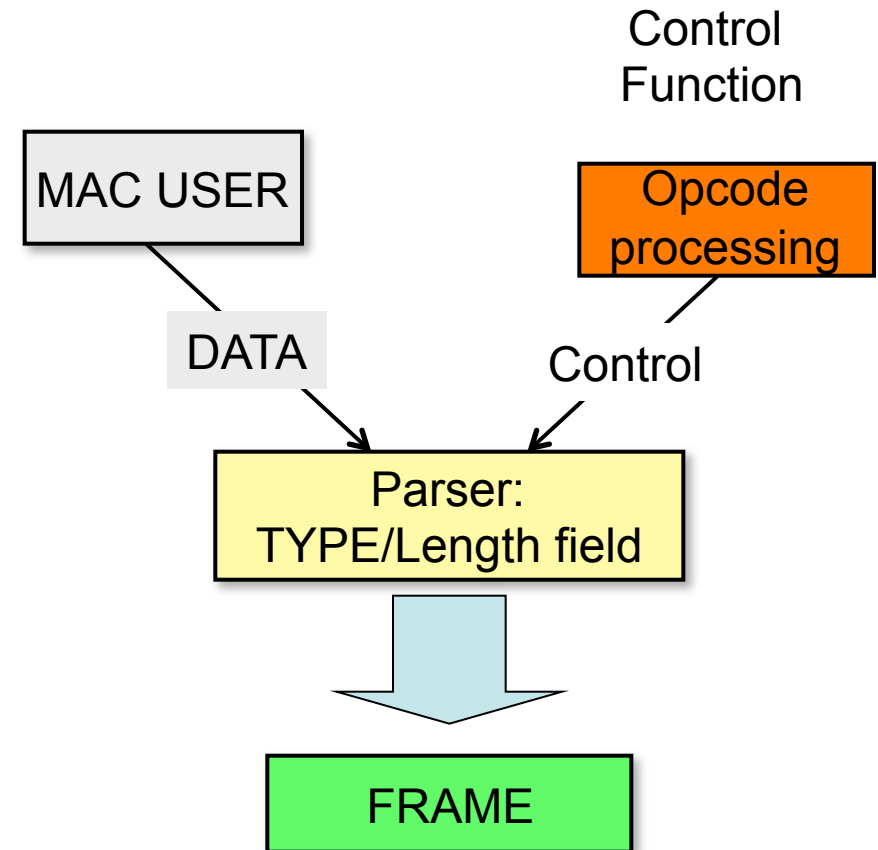
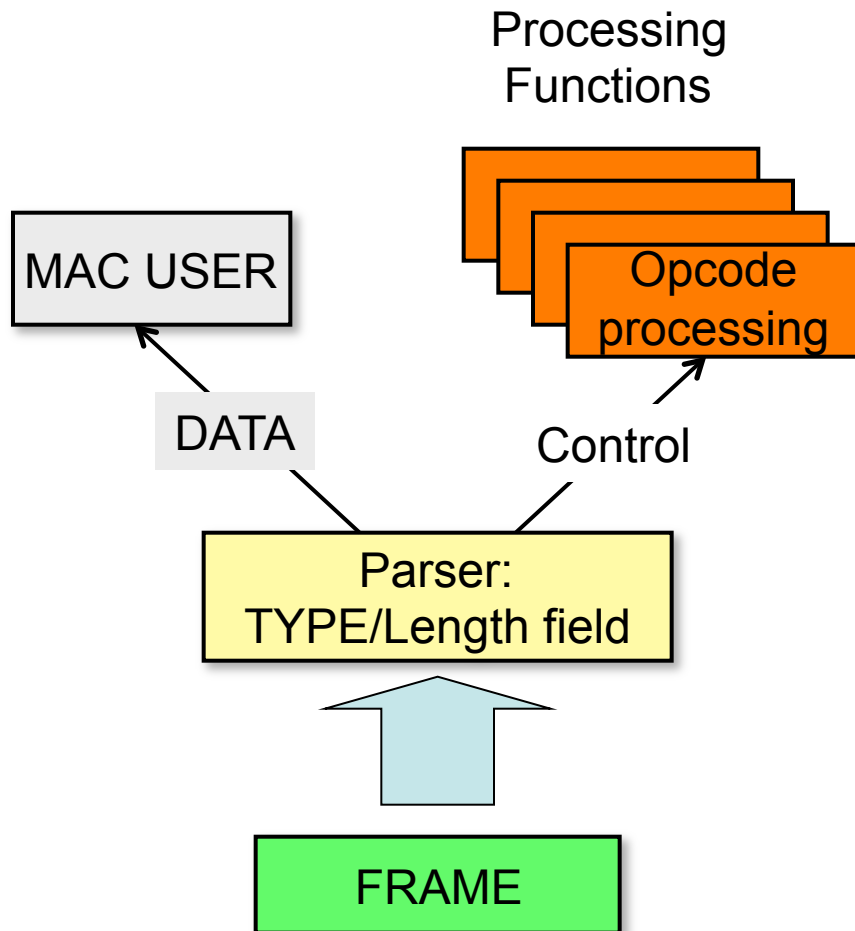
- Moderne Ethernet LANs vermeiden Kollisionen durch Punkt-zu-Punkt Topologie
- Eine Collision Domain ist ein Netzsegment in dem Datenkollisionen auftreten können, wenn zwei Stationen gleichzeitig den Bus belegen.
- Zur Vermeidung von Kollisionen dient CSMA-Zugangsmethode, bei der the Medium-Zustand überwacht wird.



CSMA/CD Prozedur



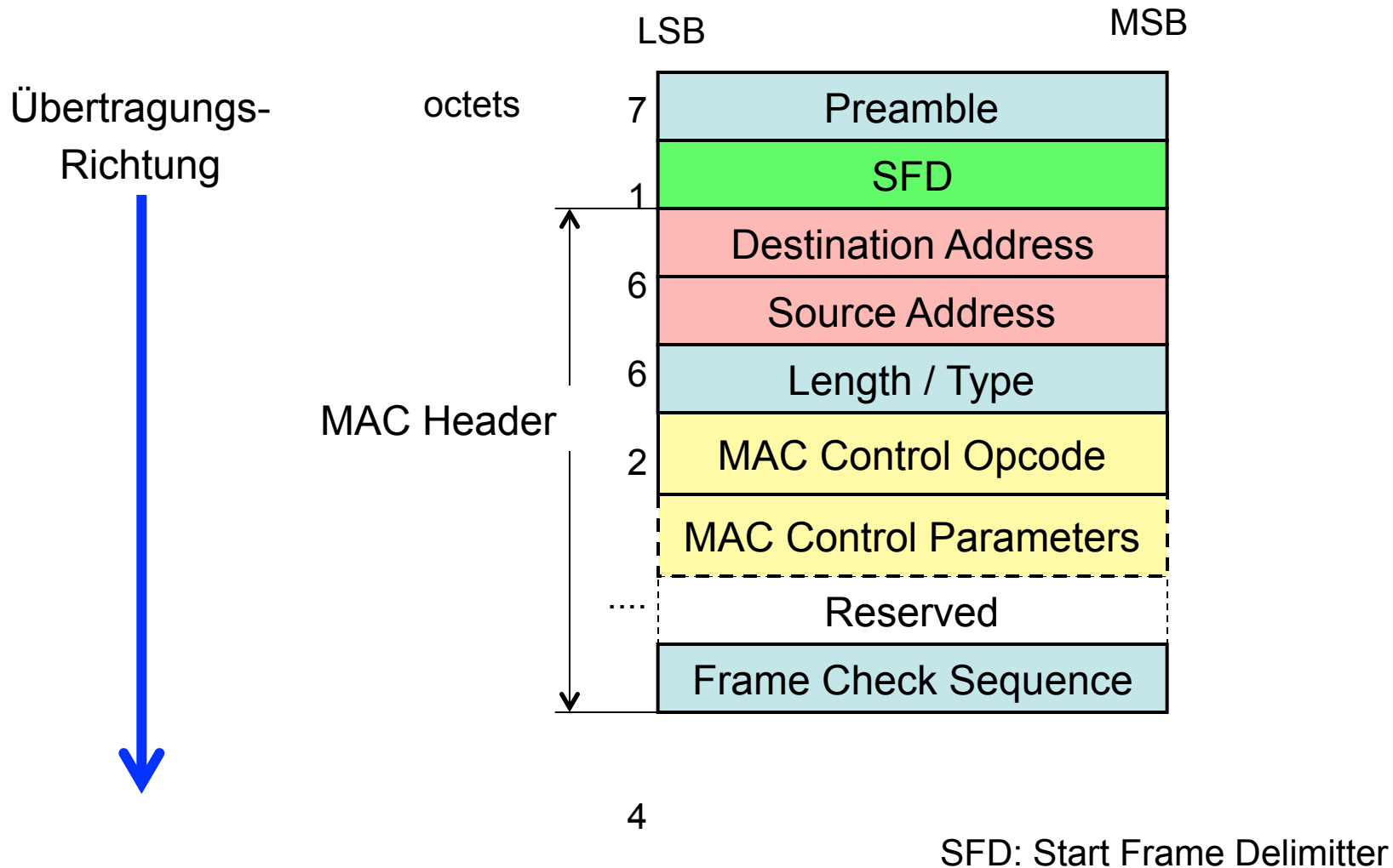
MAC-Schicht : Management Operationen



MAC Control Operations

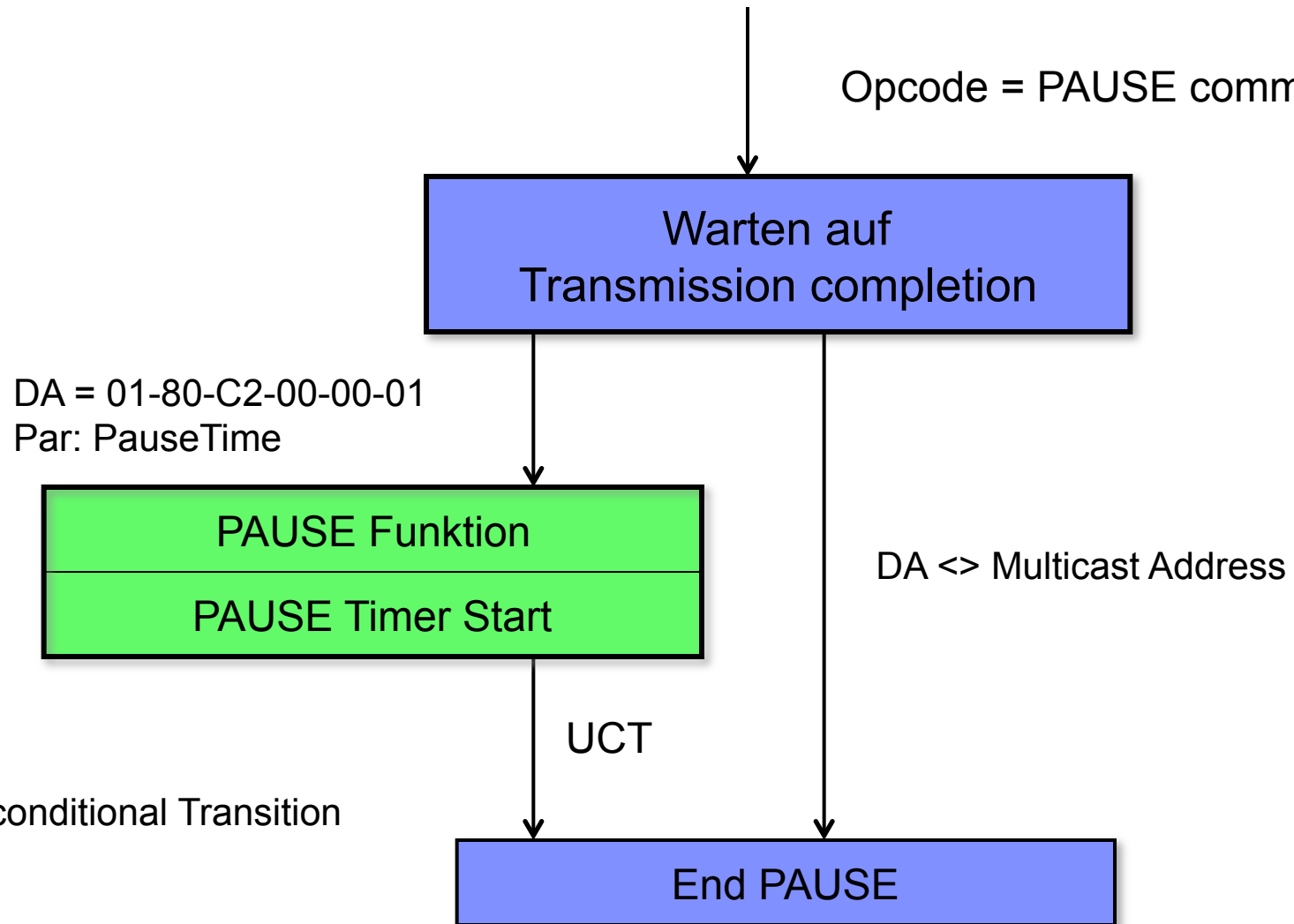
Code	Function Name	Comment
00 00	Reserved	
00 01	PAUSE	Flow Control: stop transmission
00 02	GATE	Flow Control: start transmission
00 03	REPORT	Pending transmission requests
00 04	REGISTER_REQ	Flow Control: registration request
00 05	REGISTER	Flow Control: registration
00 06	REGISTER_ACK	Flow Control: registration acknowledged
00 07-FF FF	Reserved	

MAC Control Frame

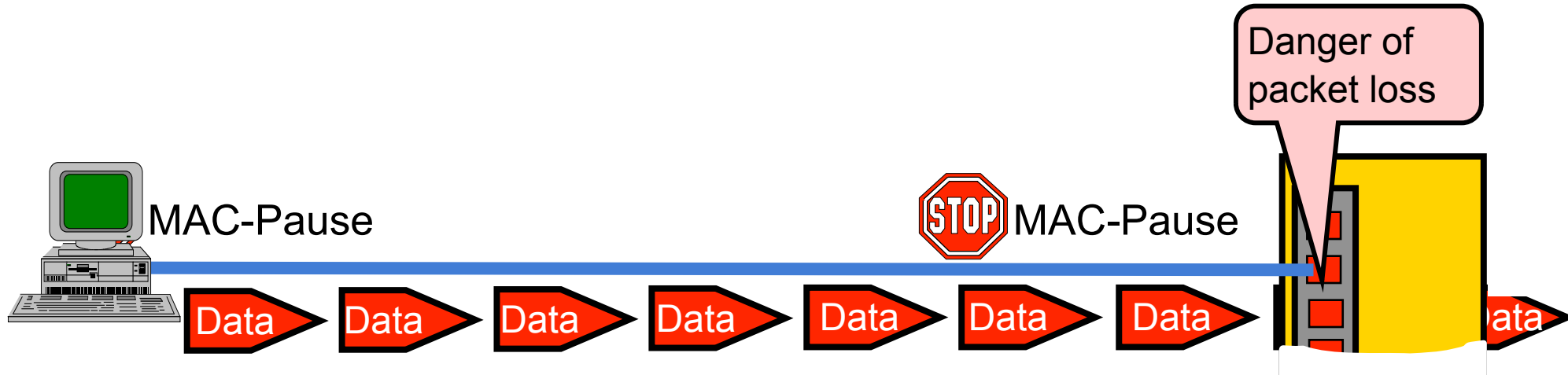


PAUSE Operation

Opcode = PAUSE command



Full Duplex Flusskontrolle



Pause time: 00 to FF ← (points to Control field)

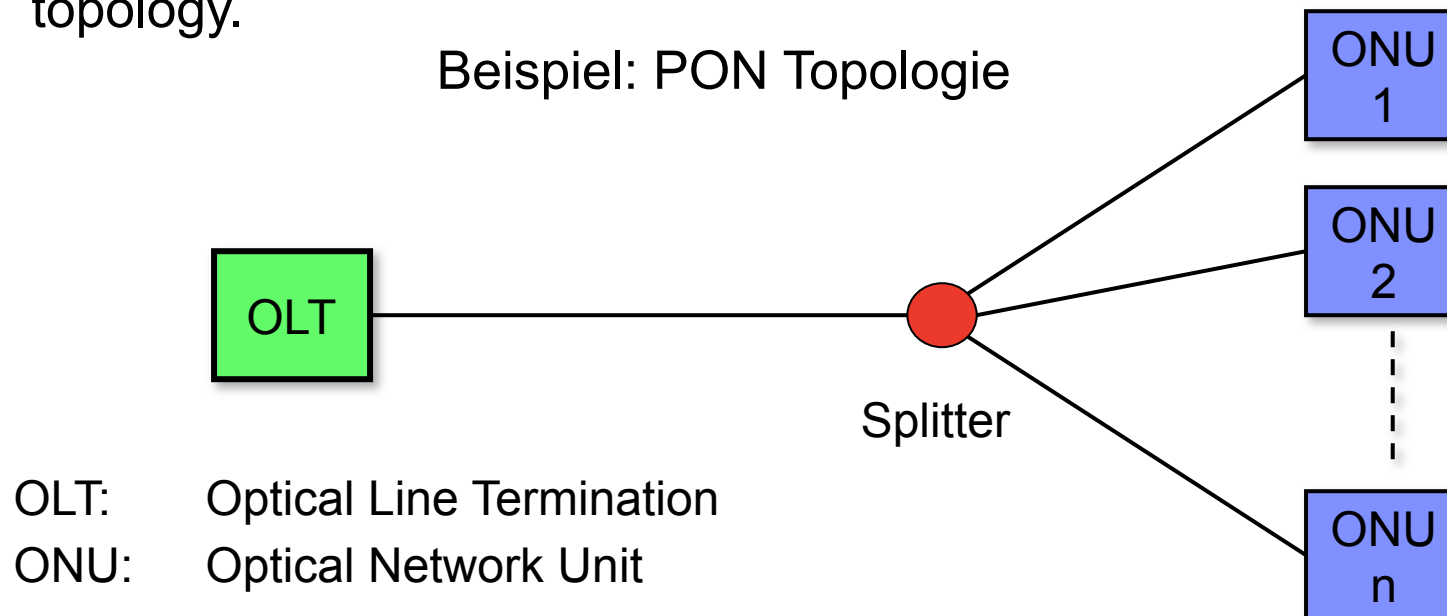
Pause Rahmen 00-01 ← (points to Control field)

88-08 MAC Control Rahmen ← (points to OpCode field)

01-80-C2-00-00-01 ← (points to DA field)

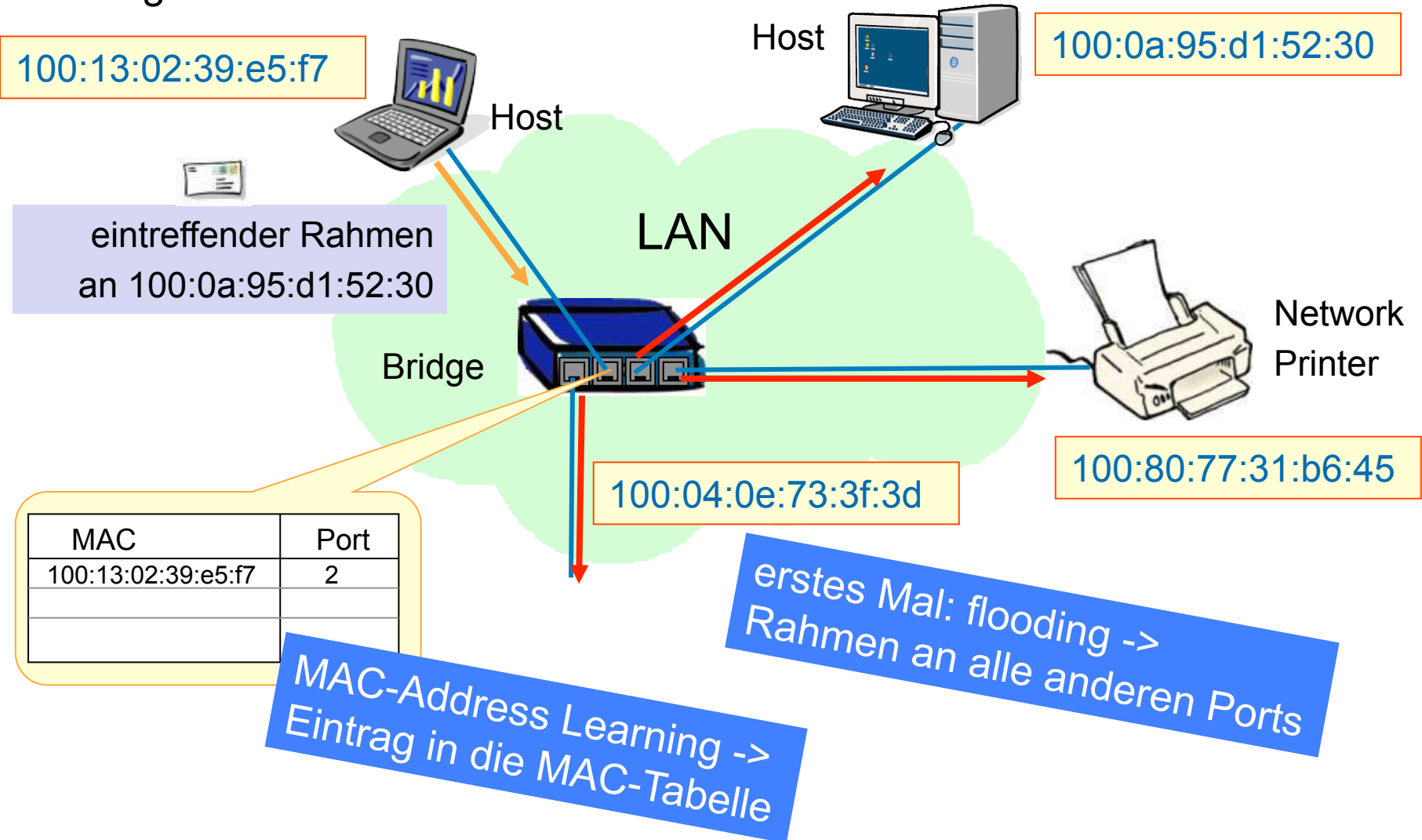
Multipoint MAC Control

- Multipoint MAC Control deals with mechanism and control protocols required in order to reconcile the P2MP topology into the Ethernet framework.
- When combined with the Ethernet protocol, such a network is referred to as Ethernet passive optical network (EPON).
- P2MP is an asymmetrical medium based on a tree (or tree-and-branch) topology.



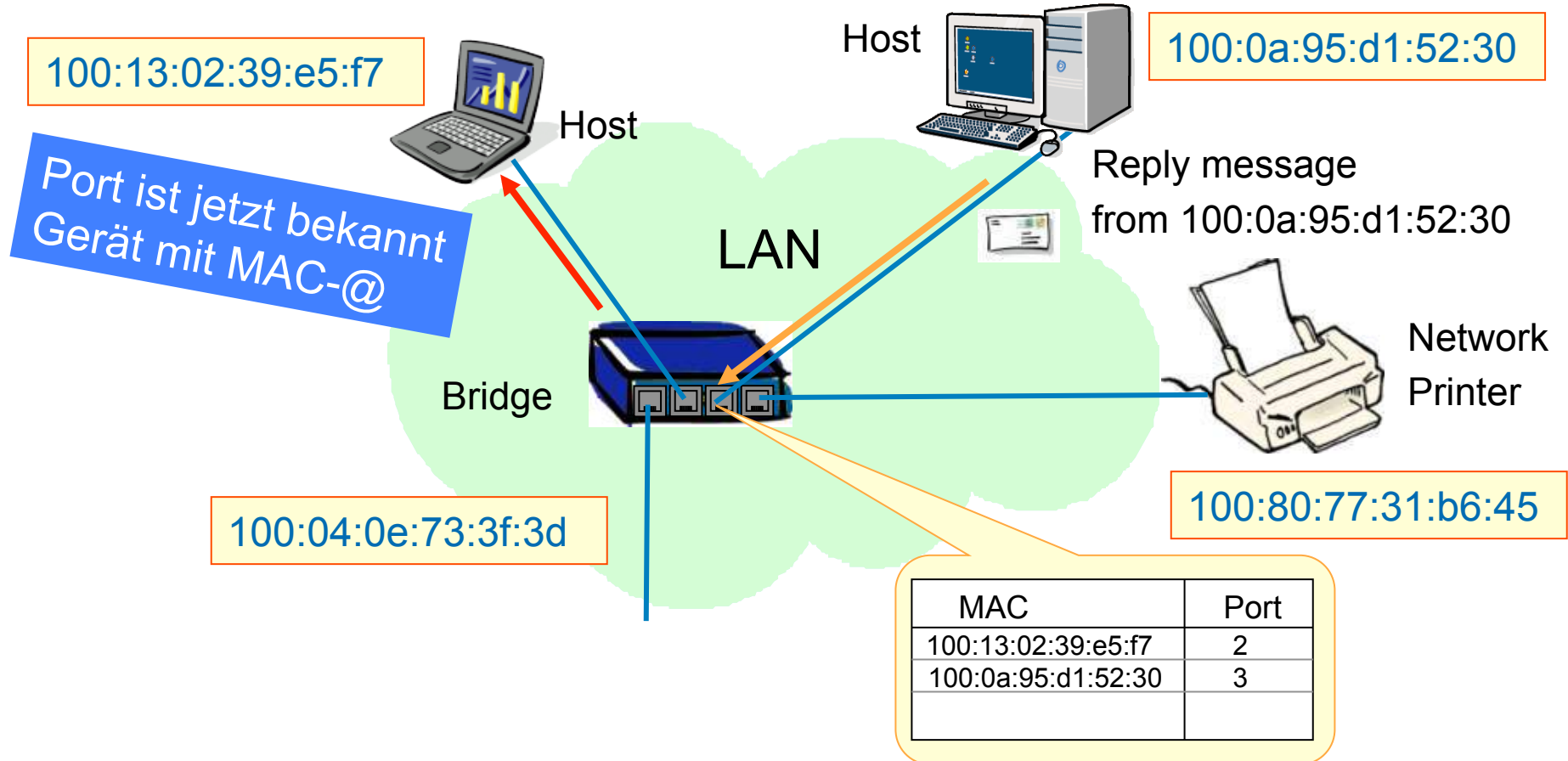
MAC-Prozedur: Paketweiterleitung (1)

1. Anfrage



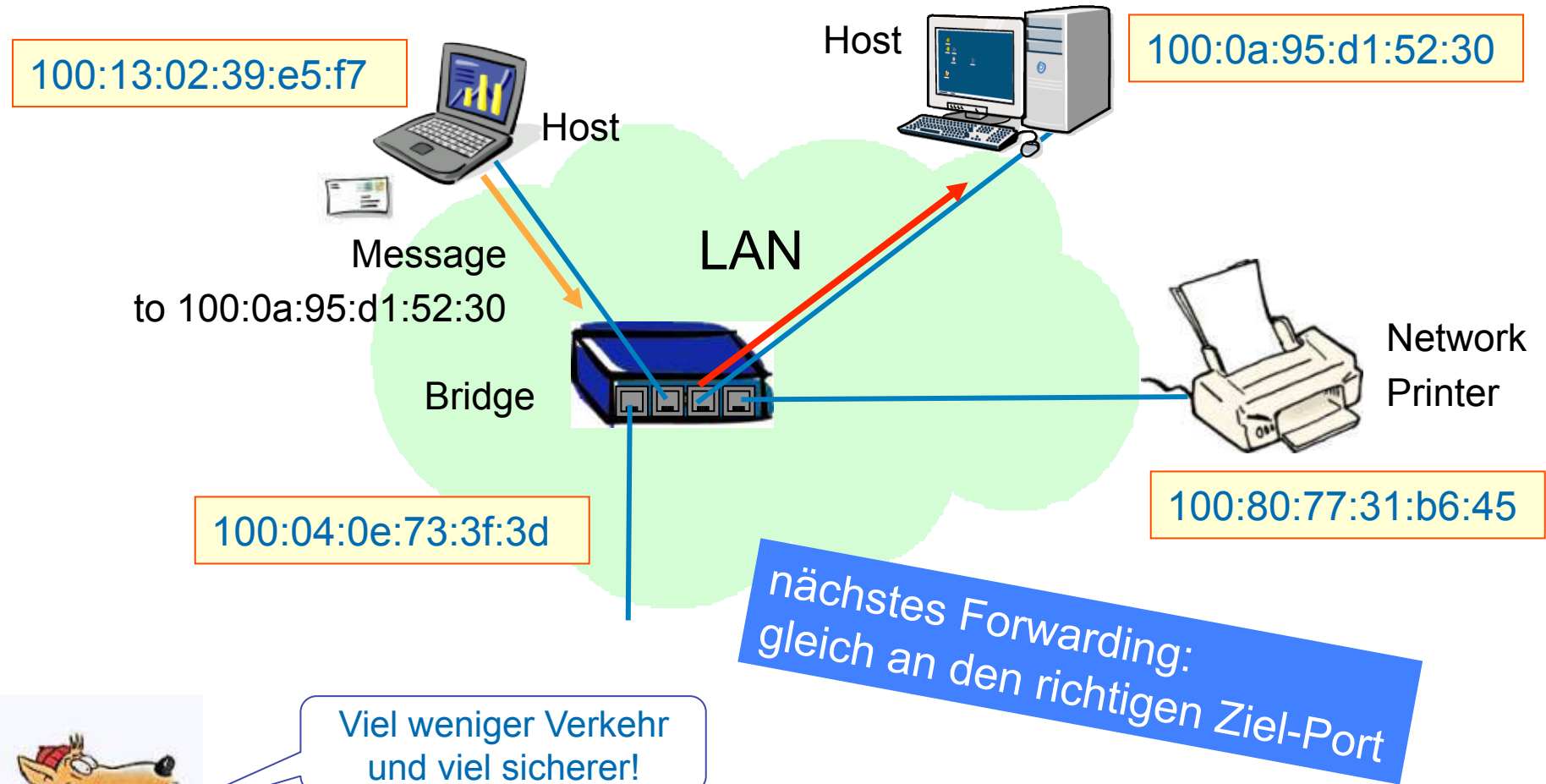
MAC-Prozedur: Paketweiterleitung (2)

2. Antwort



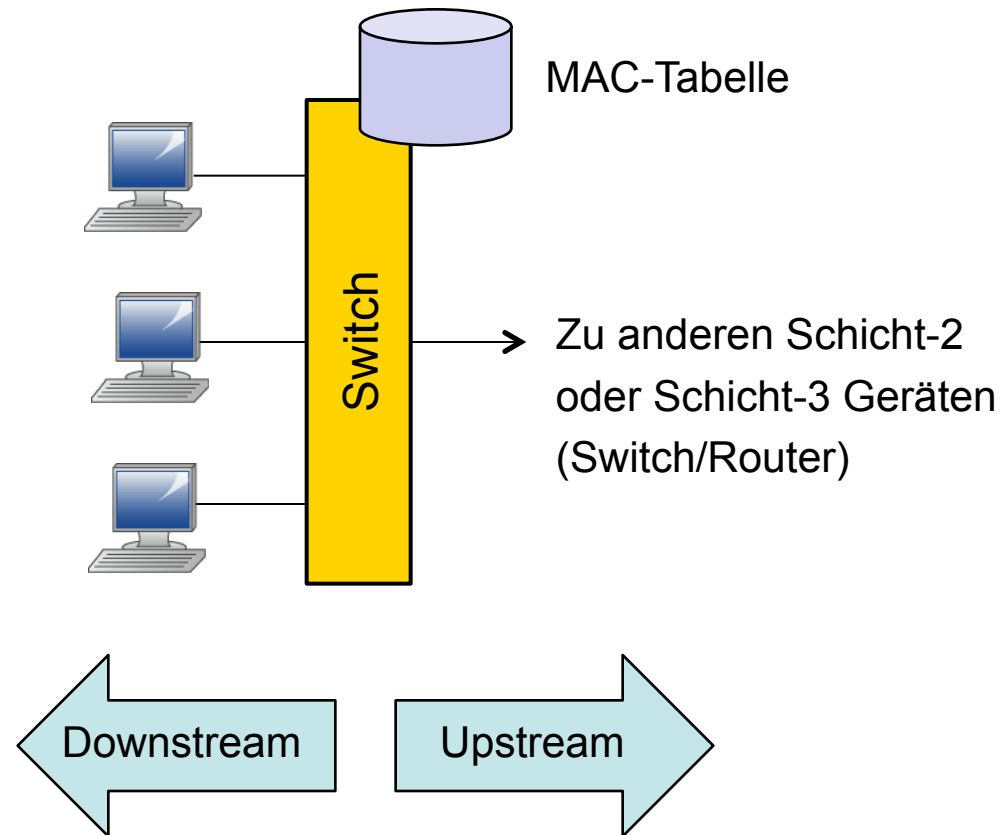
MAC-Prozedur: Paketweiterleitung (3)

3. nachfolgende Pakete



Schicht-2 Netzelement : Switch

- Die **MAC-Tabelle** enthält die Schicht-2 Adressen (MAC-Adressen) der angeschlossenen Geräte und deren Port-Nummer.
- **Paketzustellung**
Packet Forwarding durch die Switch Software mit dieser Tabelle.
- Lebensdauer der MAC-Tabellen-Einträge ca. 300 sek.
- Eintrag wird gelöscht, wenn kein Paket übertragen wird.



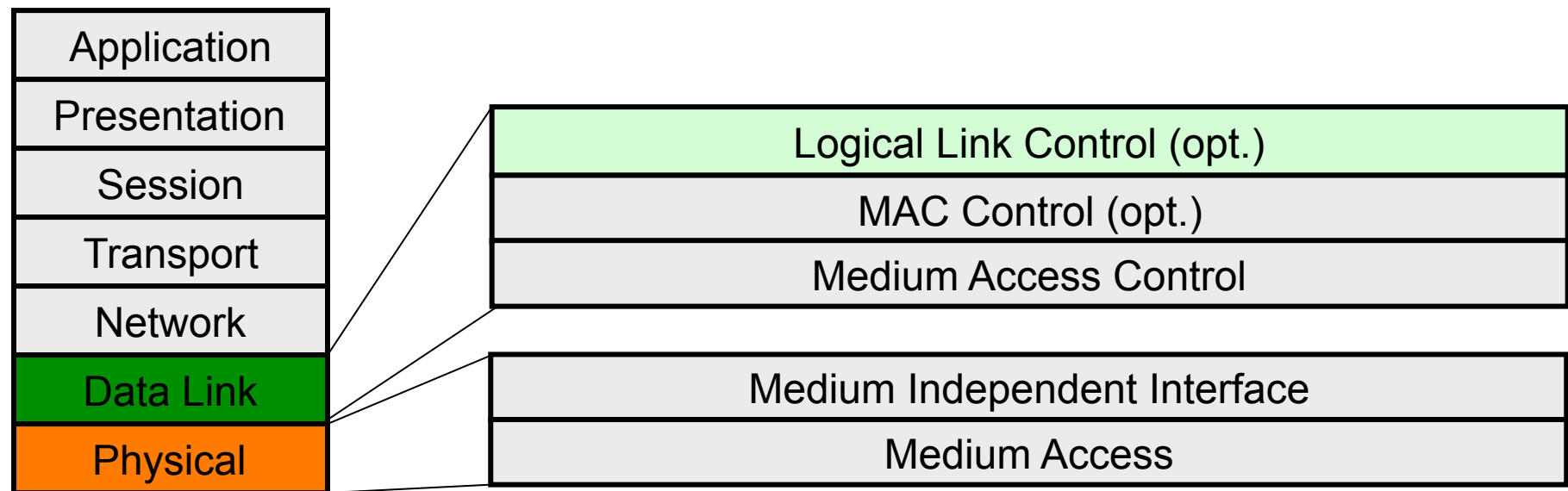
- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle

Schicht-2 Funktion

■ Link Verbindungssteuerung

Logical Link Control

LLC bildet die Schnittstelle zur Netz-Schicht (Schicht-3) wie z.B. das Internet Protokoll (IP)



- Logical Link Control stellt der übergeordneten Schicht Dienste zur Verfügung, die durch **Service Access Point Addresses (SAP)** aktiviert werden.
- Ein SAP adressiert Prozeduren für spezifische Dienste der Protokollschicht
- SAPs werden z.B. für Signalisierung, Management und Datentransfer verwendet.
- LLC Dienste werden durch **LLC Dienstprimitive aktiviert**

LLC Service-Arten:

Verbindungslos - unquittiert

Verbindungsorientiert

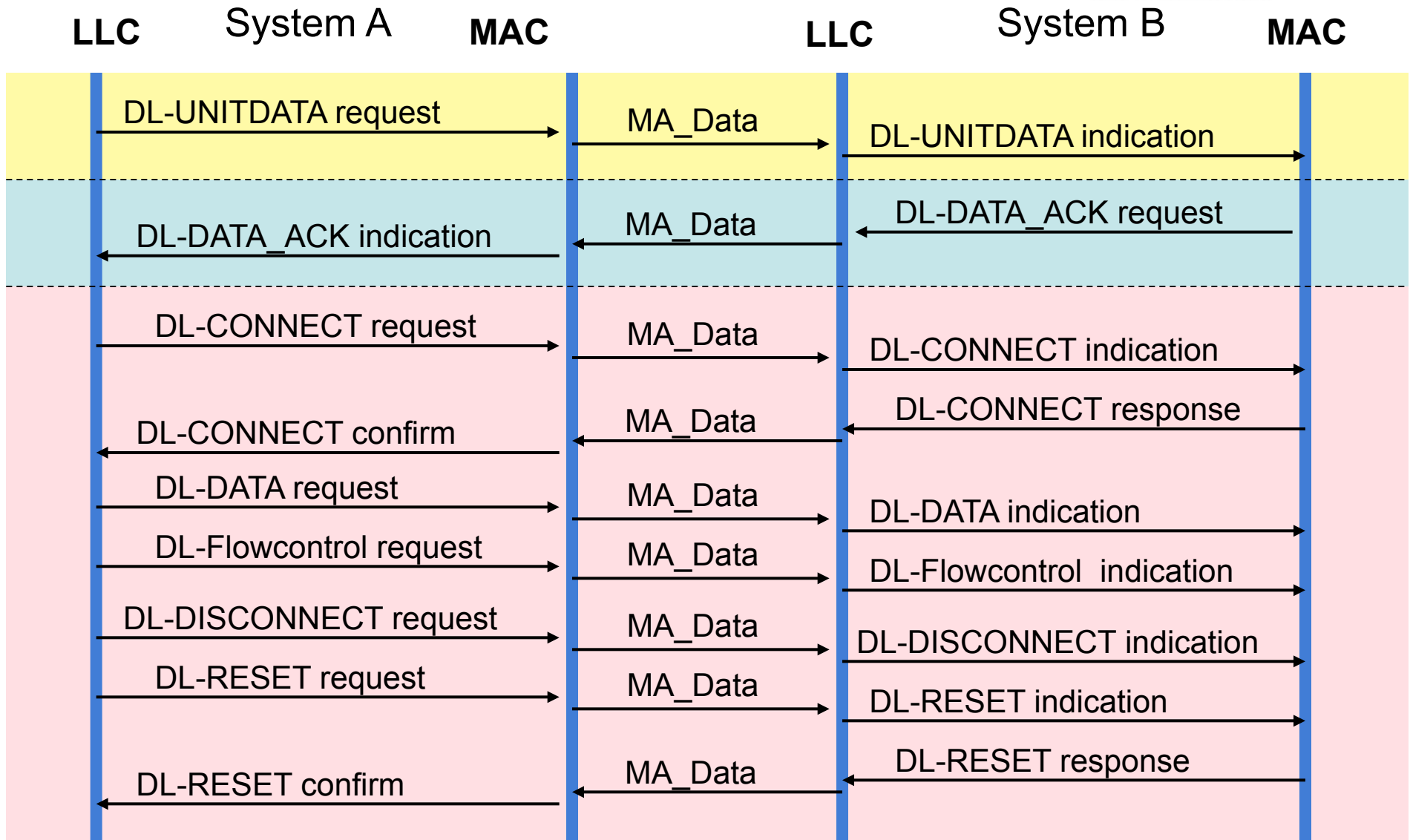
Verbindungslos - quittiert

Type-1 Operationen

Type-2 Operationen

Type-3 Operationen

LLC Nachrichtenablauf



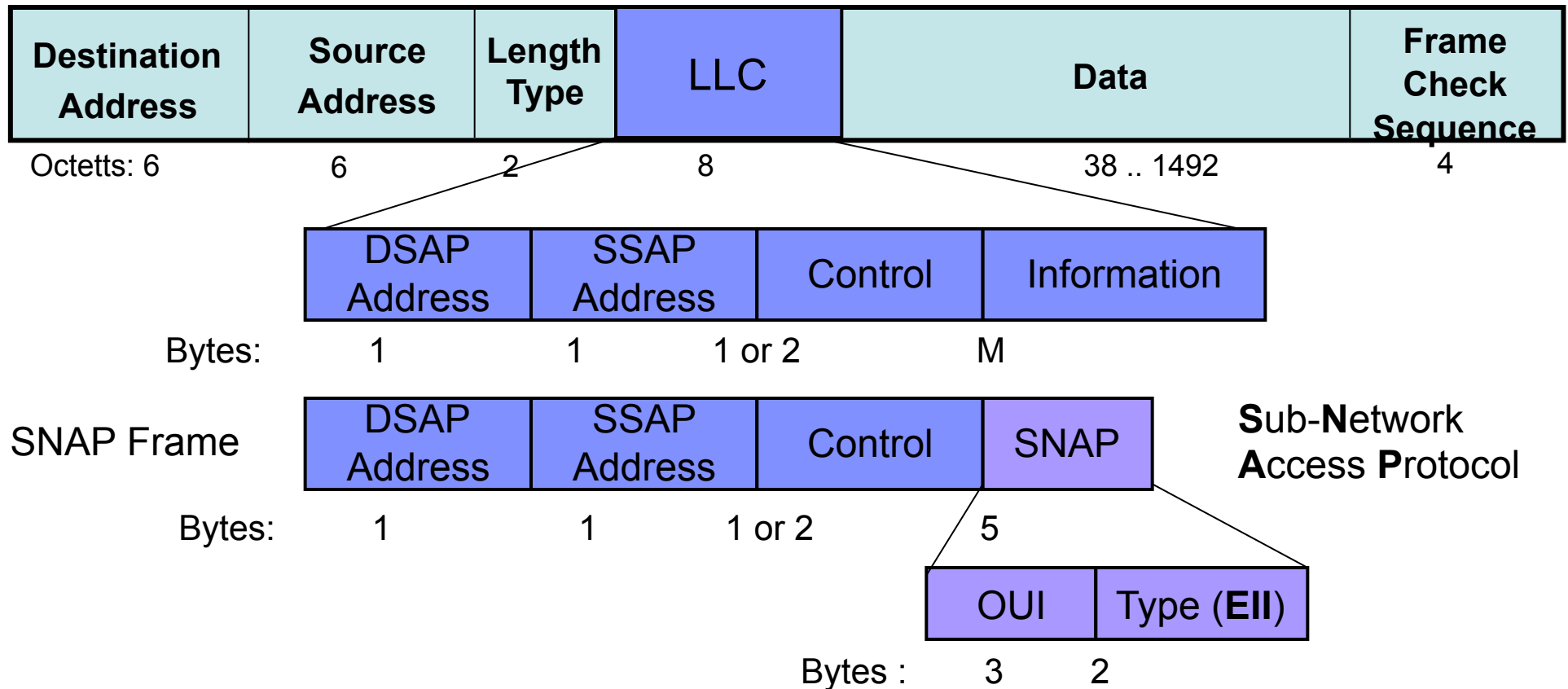
Symbol	Name	C/R
I	Information	C/R
RR	Receive Ready	C/R
RNR	Receive not Ready	C/R
REJ	Reject	C/R
FRMR	Frame Reject	R
UI	Unnumbered Information	C
UA	Unnumbered Ack	R
DISC	Disconnect	C
DM	Disconnect Mode	R
SABME	Set Asynchronous Balaced Mode extended	C

HDLC Messages

Symbol	Name	C/R
XID	Exchange Identification	C/R
TEST	Test message	C/R
AC0	Acknowledged CL Information Seq. 0	C/R
AC1	Acknowledged CL Information Seq. 1	C/R

non-HDLC Messages

LLC Rahmenformat



DSAP: Destination Service Access Point Address

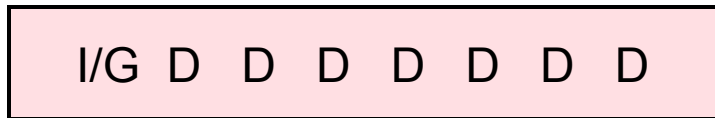
SSAP: Source Service Access Point Address

Control: Command/Response function (16 bit format includes numbering)

Information: Protocol Parameter field

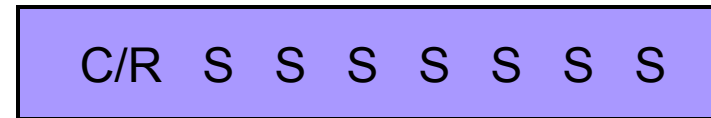
LLC Adresse und Control Format

DSAP



I/G = 0: individual DSAP
 I/G = 1: Group DSAP

SSAP



C/R = 0: Command
 C/R = 1: Response

Example:

DSAP = 1 1 1 1 1 1 1 1 (FFh) : Global DSAP Address

Control field formats:

0	N(S) 7 bits			P/F	N(R) 7 bits		
1 0	S S	X X X X		P/F	N(R) 7 bits		
1 1	M M	P/F	M M M				

I-Format

S-Format

U-Format

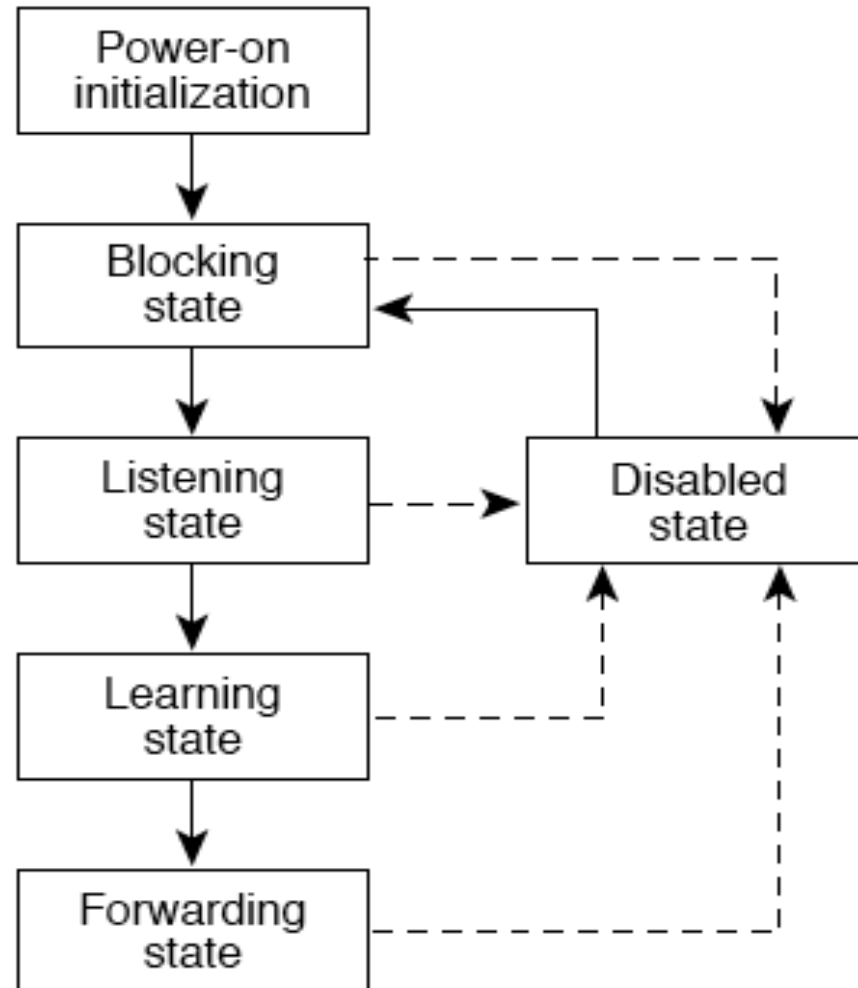
- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle
 - Spanning Tree Protocol – STP , RSTP
 - Link Aggregation Control Protocol - LACP

- Das Spanning Tree Protocol (STP) ist durch IEEE 802.1D spezifiziert
- STP wird durch das Rapid STP ersetzt
- RSTP kommuniziert mit STP
- RSTP ist wie STP ein Link Management Protokoll
- RSTP wird für die Ermittlung redundanter Links verwendet.
- Redundante Links führen zu ungewünschten Transport-Schleifen in lokalen Netzen.
- In einem Ethernet LAN kann zwischen zwei Stationen nur ein aktiver Pfad bestehen.
- RSTP definiert eine hierarchische Kommunikationsverbindung, das alle beteiligten Schicht-2 Netzelemente (Switches) einschließt
- RSTP blockiert alle redundanten Pfade

- Alle RSTP Switche sammeln mit Hilfe des Rapid Spanning Tree Protokolls Information über die existierenden Verbindungsleitungen
- Man nennt diese Nachrichten: Bridge Protocol Data Units (BPDUs)
- Die RSTP-Procedur liefert:
 - Die Festlegung eines eindeutigen **Root Switches** als Ausgangspunkt für eine Spanning-Tree Netztopologie.
 - Die Festlegung eines **Designated Switches** für jedes LAN Segment.
 - Die Identifizierung von Schleifen (loops) im LAN-Netz und und Blockierung der redundanten Switch Ports

STP Port-Zustände

Jeder Port besitzt ein Status Register, das den aktuellen Port-Zustand enthält



Spanning Tree Adressen

- Multicast address:

01-80-C2-00-00-00

- Bridge ID (BID):

Priority

MAC-Adresse

2 bytes

6 Bytes

- Port ID:

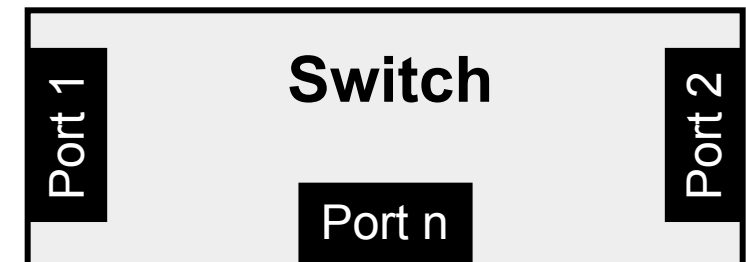
Port 1; Port 2; Port n

Spanning Tree Prozedur

1. Jeder Switch erhält eine relative Prioritätszahl.
 Die **BID = Prioritätszahl + MAC-Adresse**
 definieren die Bridge-Priorität
2. Die Bridge mit der niedrigsten BID wird die **Root Bridge**
3. Jede Bridge bestimmt einen **Root Port = niedrigste Path Cost + geringste Entfernung**
 zur Root Bridge.
 Path Cost = 1000/line Kapazität in Mbit/s

00-00-

00-80-16-30-03-7E



- **Listening.**

Aufnahme von RSTP-Nachrichten (BPDUs) und Ermitteln der Netzkonfiguration

- **Learning.**

In diesem Zustand wird die Tabelle der angeschlossenen Geräte (MAC table) aufgebaut, die Ethernet-Rahmen aber noch nicht weitergeleitet.

- **Forwarding.**

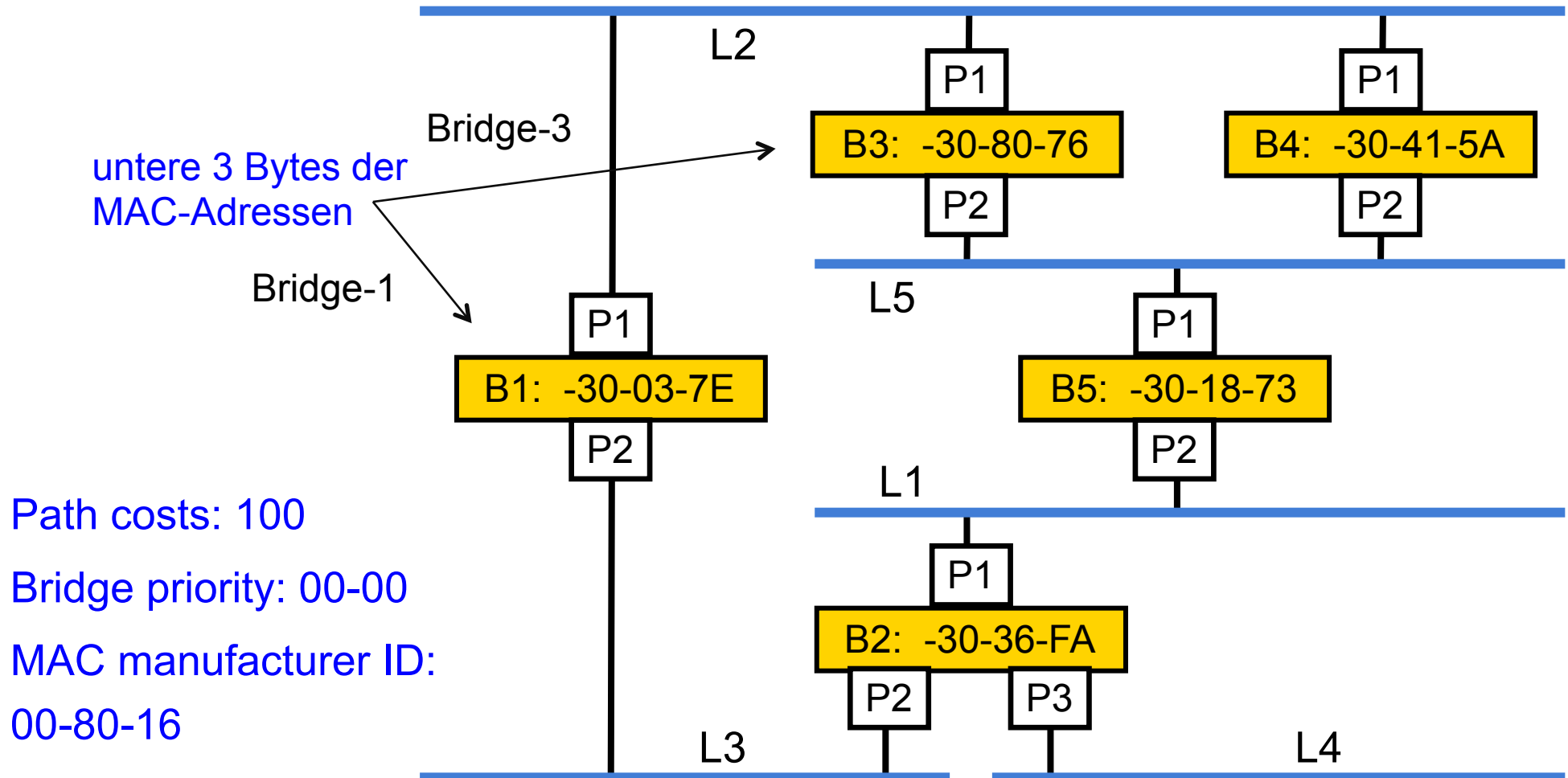
Normalbetrieb des Bridge-Ports. Im Normalbetrieb leitet der Port LAN-Pakete weiter oder er befindet sich im blockierten Zustand.

- **Blocking.**

In diesem Zustand sendet/empfängt der Port nur BPDUs. Andere LAN-Pakete werden nicht bearbeitet.

Bei der Inbetriebnahme eines RSTP-Switches befinden sich alle Ports in diesem Zustand

Root Bridge und Root Port (Beispiel)

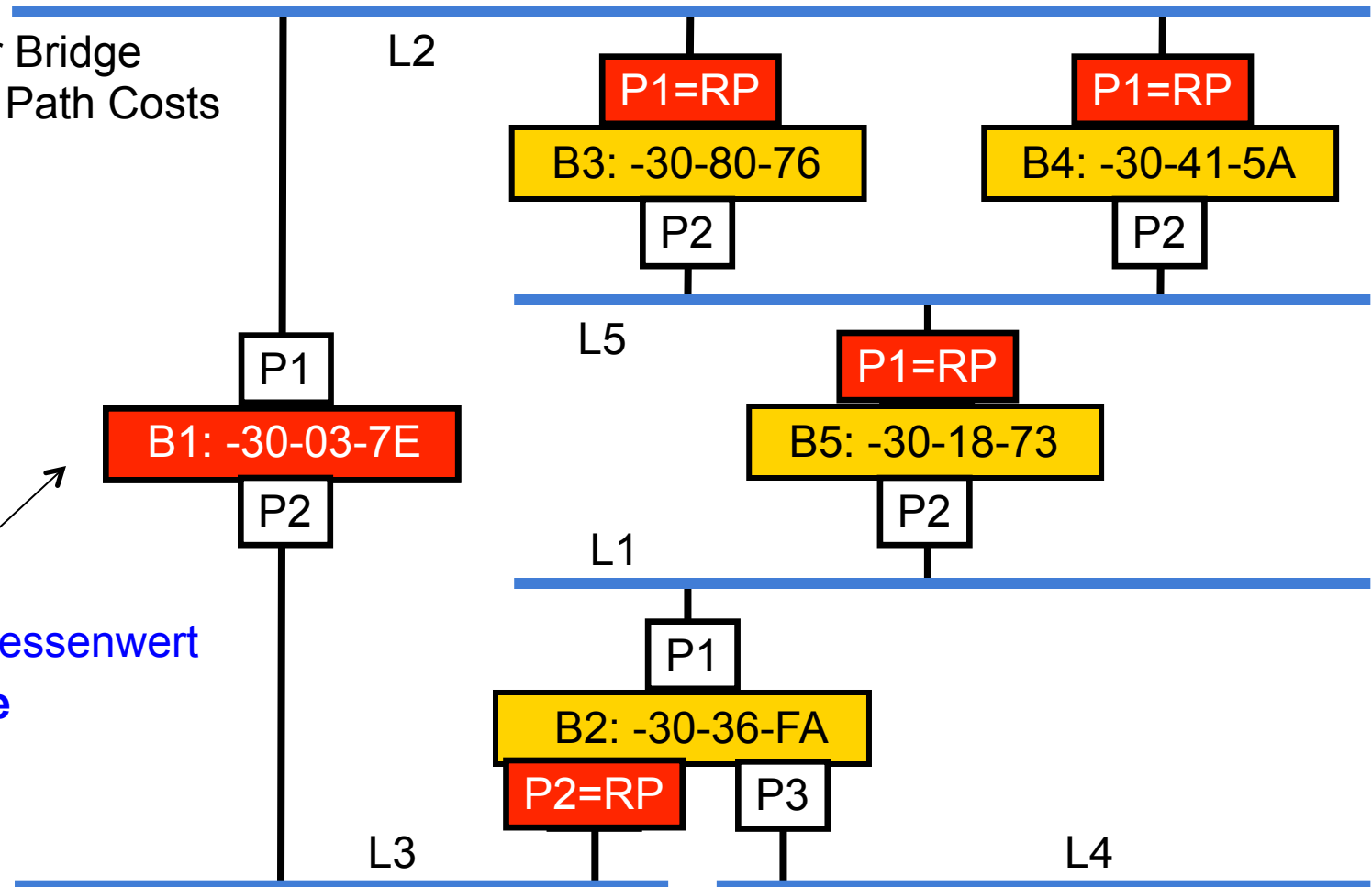


Root Bridge und Root Port Festlegung

Der Root Port in jeder Bridge besitzt die geringsten Path Costs zur Root Bridge.

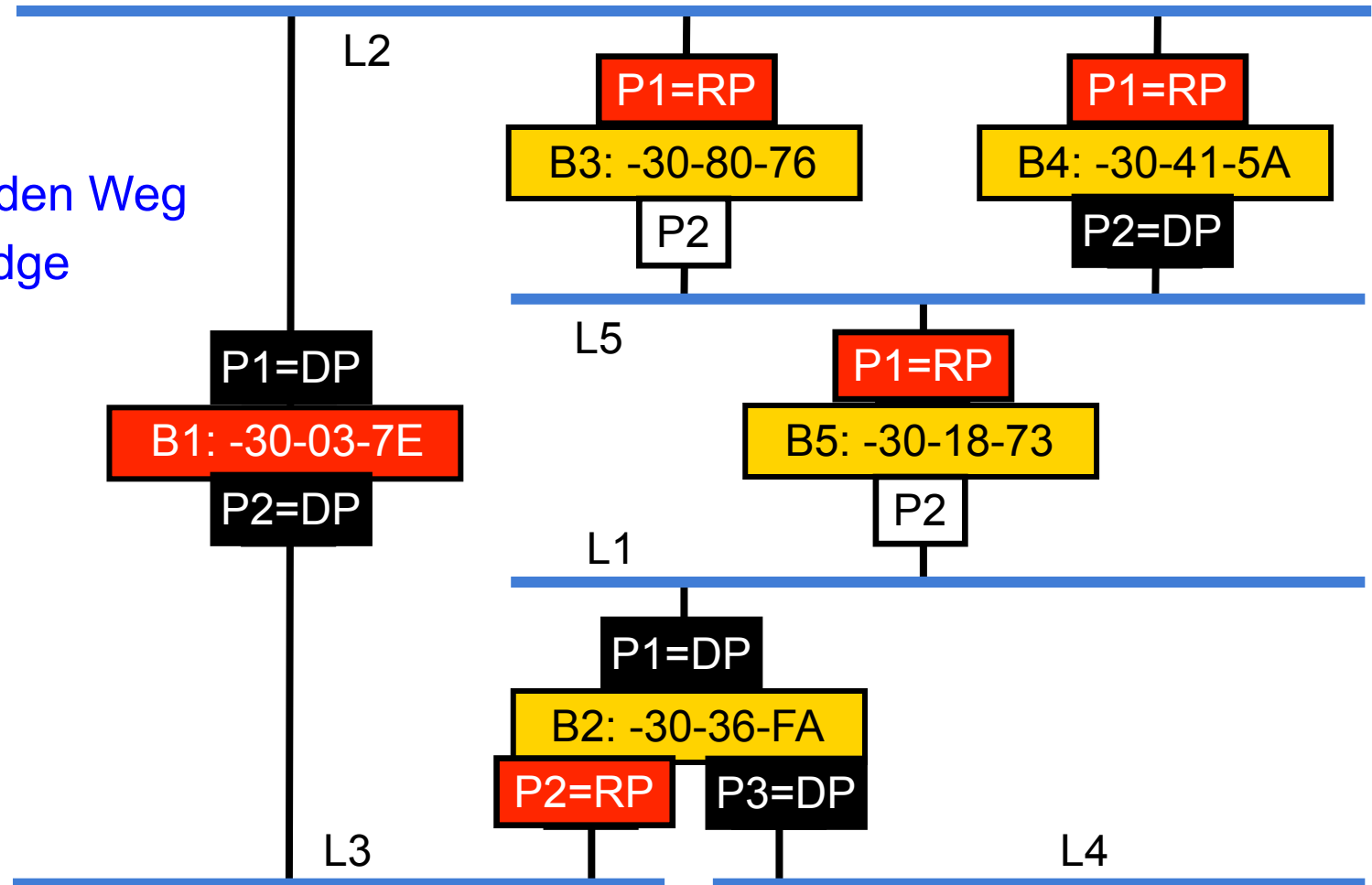
Falls es mehrere Ports mit den selben Path Costs zur Root Bridge gibt entscheidet die Port-Id.

Niedrigster Adressenwert
-> **Root Bridge**



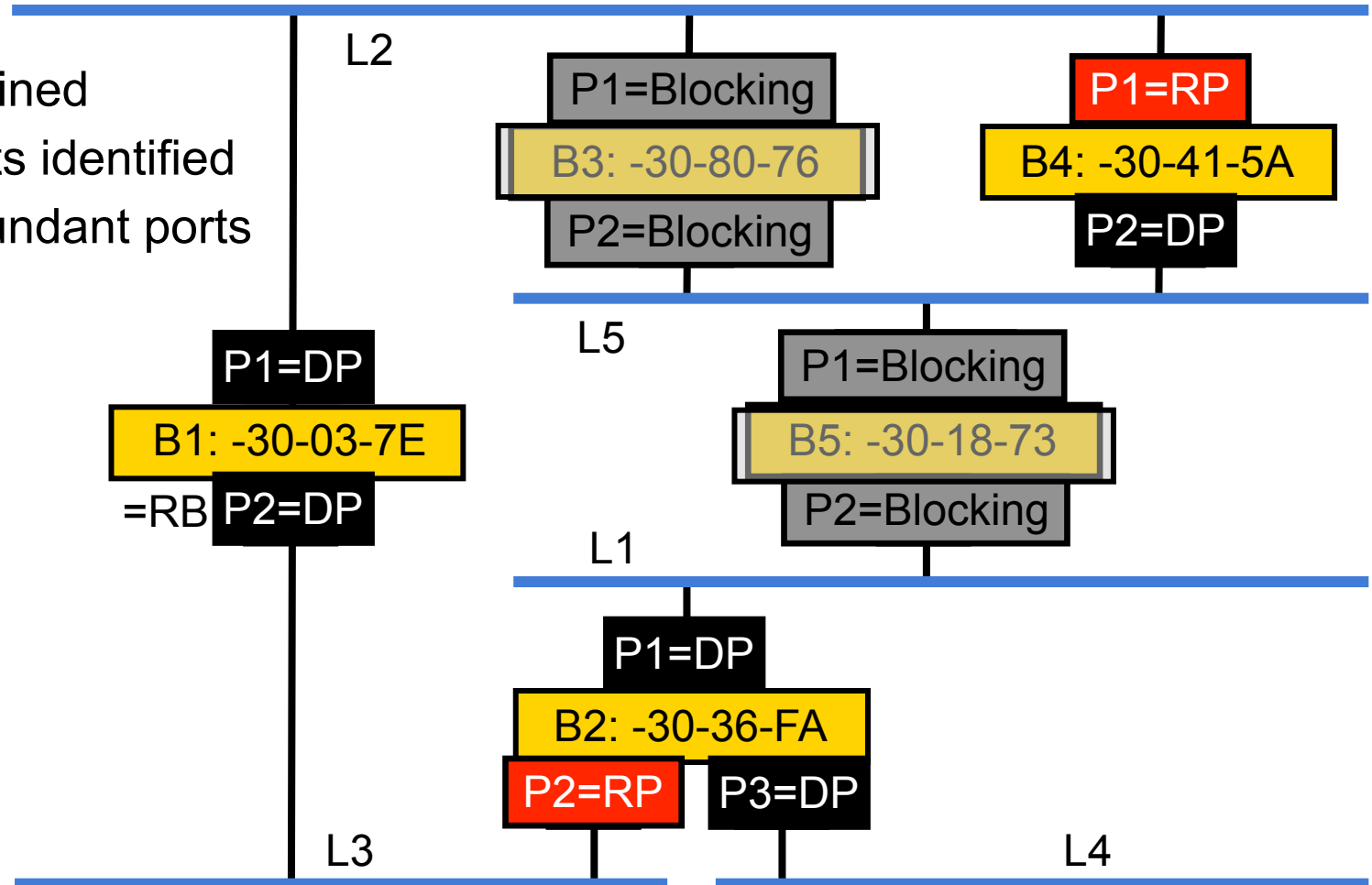
Designated Bridge Port Festlegung

DP markiert den Weg
zur Root bridge



Ergebnis der Spanning Tree Prozedur

1. Root Bridge defined
2. Designated ports identified
3. Blocking of redundant ports



Bridge Protocol Data Unit (BPDU)

PID	V	T	F	Root ID	Root Path Cost	Sender BID	PortID	M-Age	Max-A	Hello	FD
-----	---	---	---	---------	----------------	------------	--------	-------	-------	-------	----

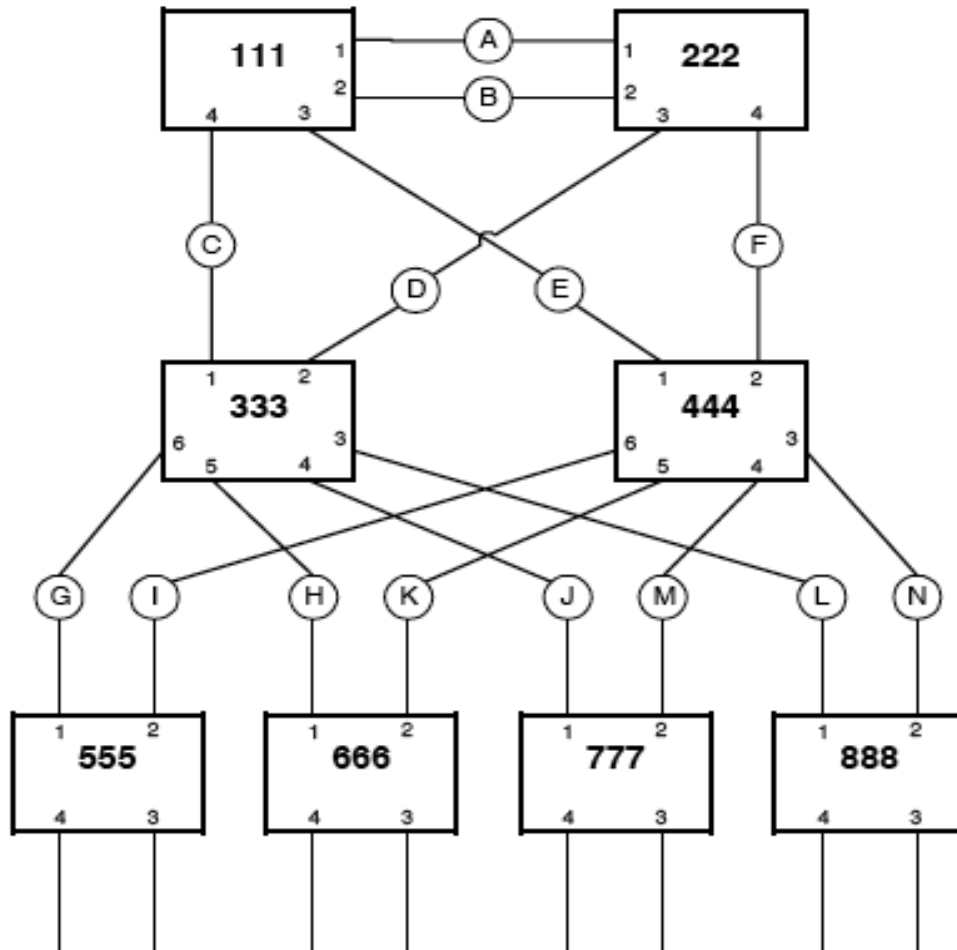
Field Name	Length (Bytes)
Protocol ID (PID)	2
Version (V)	1
Type (T)	1
Flags (F)	1
Root ID	8
Root Path Cost	4
Sender BID	8
Port ID	2
Message Age (M-Age)	2
Max-Age (Max-A)	2
Hello	2
Forward Delay	2

- Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) Bridges tauschen Informationen (BPDUs) aus zur Ermittlung der **Root Bridge** und der **kürzesten Entfernung** (shortest path) von jedem LAN und allen anderen Bridges.
- Diese Information heißt: *Spanning Tree Priority Vector*.

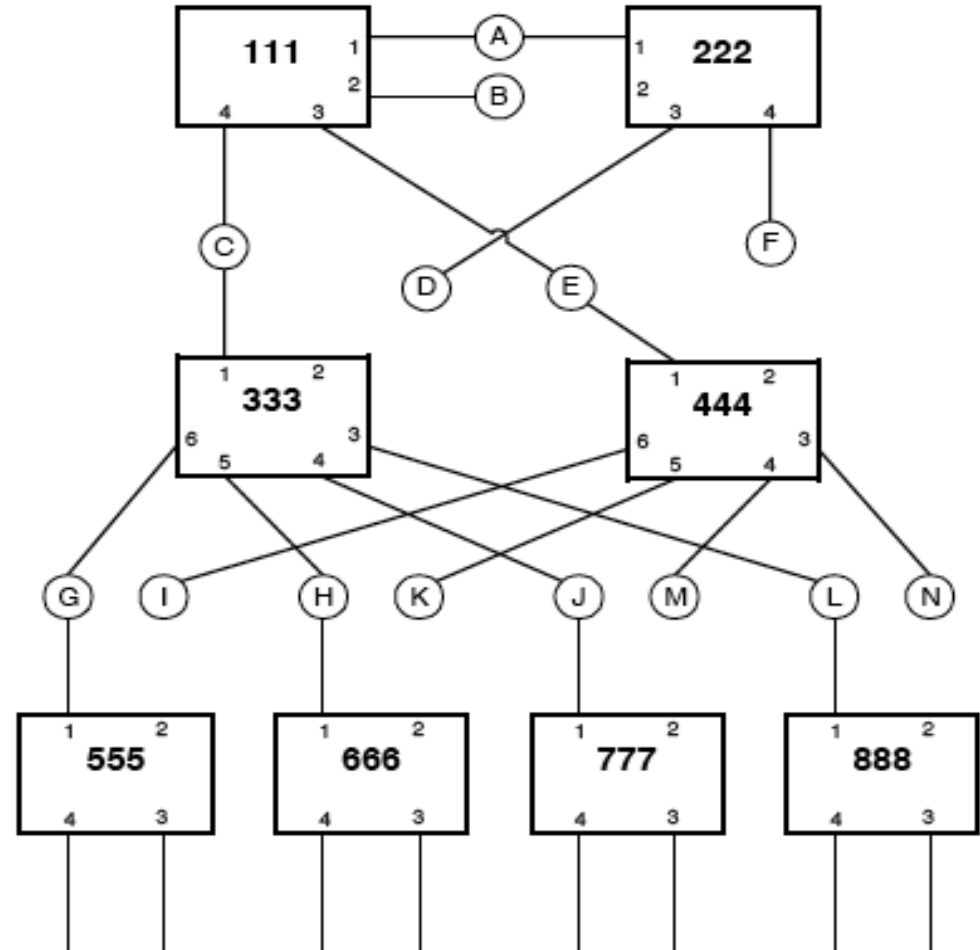
Priority Vector Komponenten

Root Bridge Identifier, Root Path Cost zur Root Bridge von der sendenden Bridge	Netz
Bridge Identifier der sendenden Bridge Port Identifier von dem Port über den die Nachricht übertragen wurde	Lokal
Port Identifier von dem Port über den die Nachricht empfangen wurde	internal

Bridge Configuration Example



Physikalische Topology



Active Topologie

Priority Vector Berechnung

port priority vector = {RootBridgeID : RootPathCost : DesignatedBridgeID :
DesignatedPortID : BridgePortID}

message priority vector = {RD : RPCD : D : PD : PB}

root path priority vector = {RD : RPCD + PPCPB : D : PD : PB }

Bedingungen für den Message Priority Vector als Ersatz für den Port Priority Vector:

A	((RD < RootBridgeID))
B	((RD == RootBridgeID) && (RPCD < RootPathCost))
C	((RD == RootBridgeID) && (RPCD == RootPathCost) && (D < DesignatedBridgeID))
D	((RD == RootBridgeID) && (RPCD == RootPathCost) && (D == DesignatedBridgeID) && (PD < DesignatedPortID))
E	((D == DesignatedBridgeID.BridgeAddress) && (PD == DesignatedPortID.PortNumber))

- Ethernet Übersicht und Protokolle
- Ethernet Schicht-1
- Ethernet Link Schicht
- Medium Access Control
- Logical Link Control – LLC
- Ergänzende LAN Protokolle
 - Spanning Tree Protocol – STP , RSTP
 - Link Aggregation Control Protocol - LACP

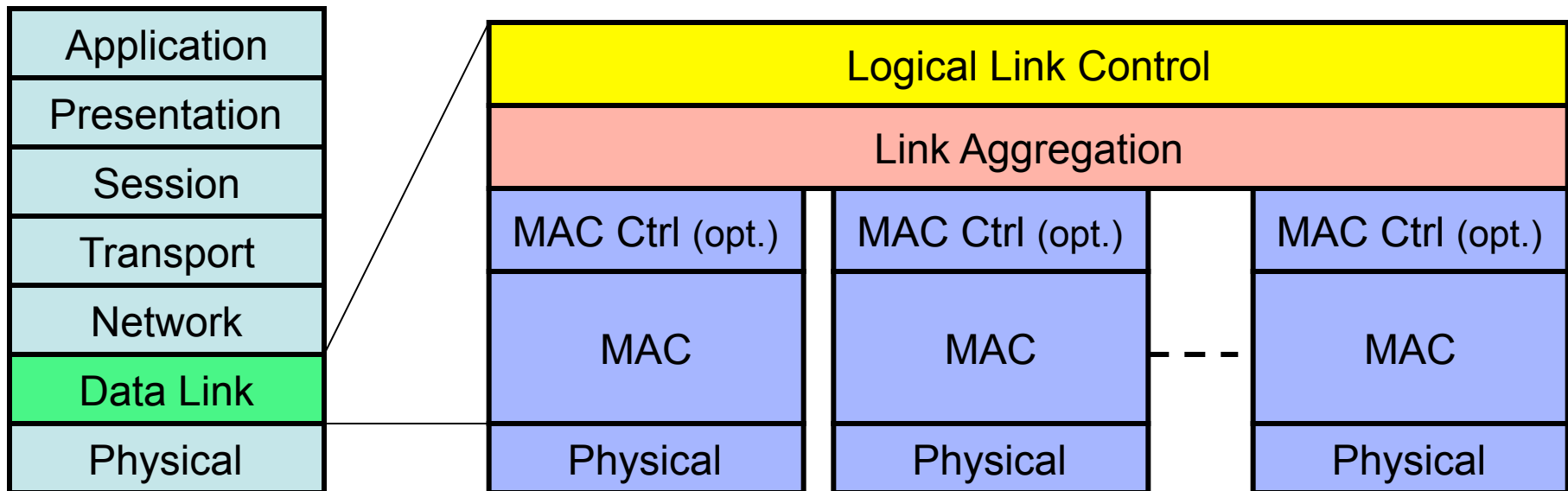
Definition

- Das Link Aggregation Control Protocol LACP unterstützt die Gruppierung von physikalischen Links zu einer logischen Einheit. Diese Link-Gruppe wird wie ein physikalischer Link behandelt

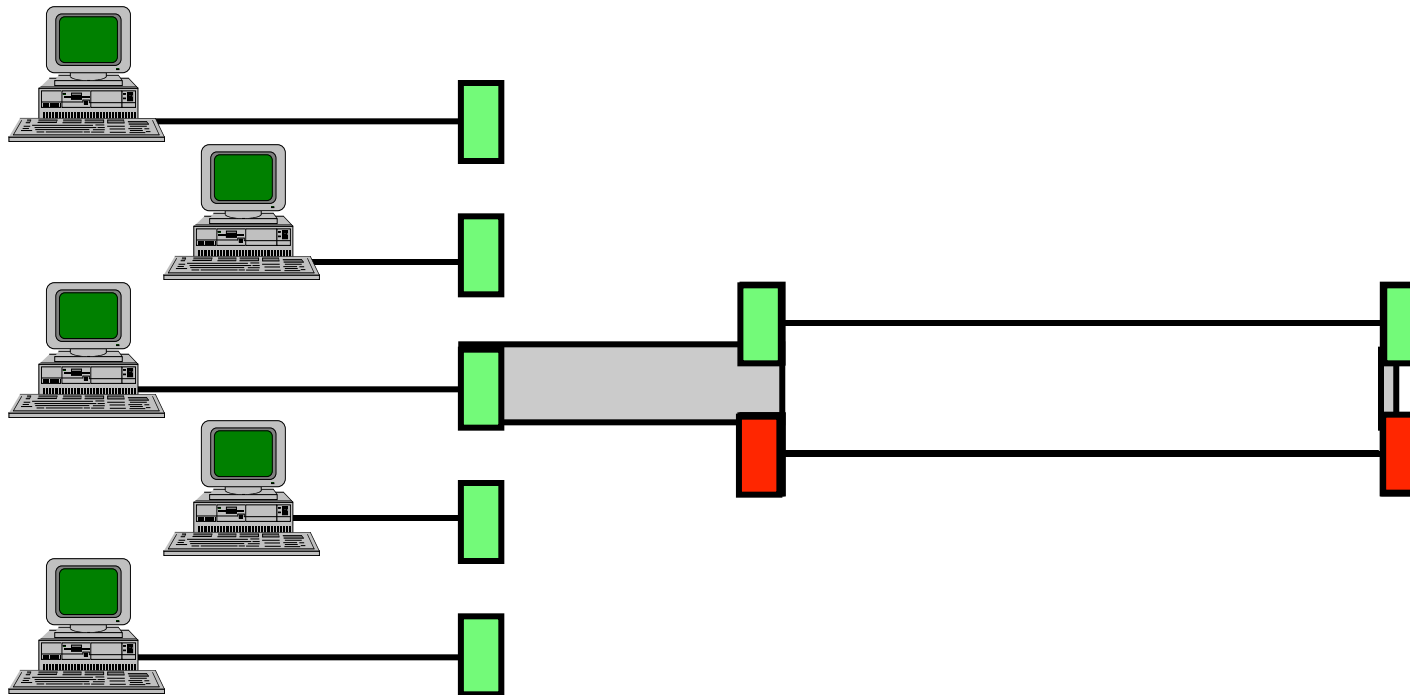
Eigenschaften:

- **Erhöhung der Datenrate:**
Die Kapazität mehrerer Ports addiert sich zu einem logischen Link
- **Load sharing:**
Schicht-2 Verkehr wird über mehrere Links verteilt
- Keine Änderung im IEEE 802.3 Rahmenaufbau
- **Netzmanagement:**
Link Aggregation Objecte sind im Standard Netzmanagement definiert
- Link Aggregation ist nur für **Punkt-zu-Punkt Verbindungen** im Full-duplex Mode verfügbar

Link Aggregation umfasst einen optionalen Sublayer zwischen der MAC User und der MAC- oder optionalen MAC Control - Schicht

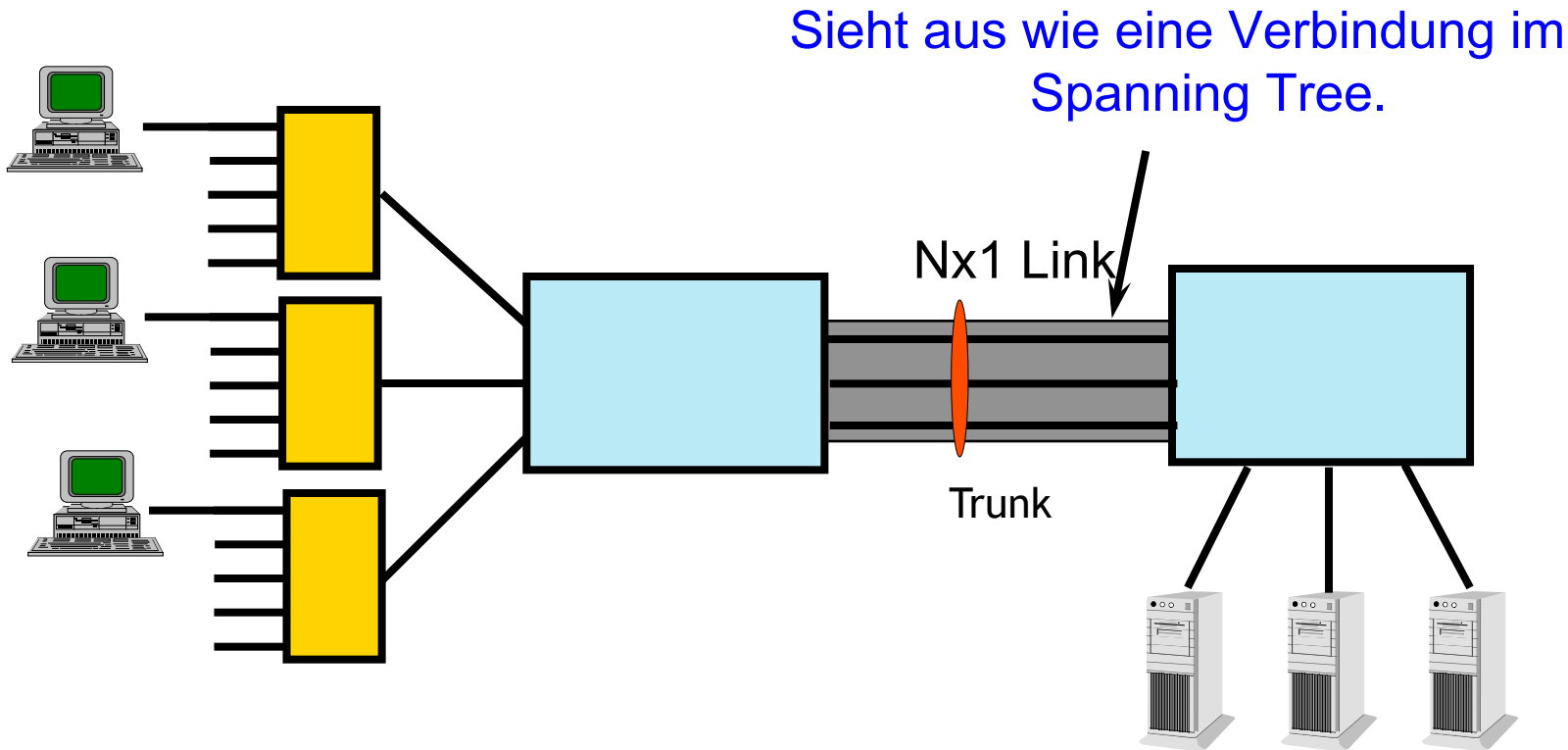


STP: Nachteile



- **Redundanz:** hohe Umschaltzeit aus dem Blockierungszustand
- **Lastverteilung:** ungeeignet
- **Skalierbarkeit:** 10M/100M/1G; nicht $n \times 100M$

Link Aggregation (IEEE 802.3-Clause 43)



Aggregator:

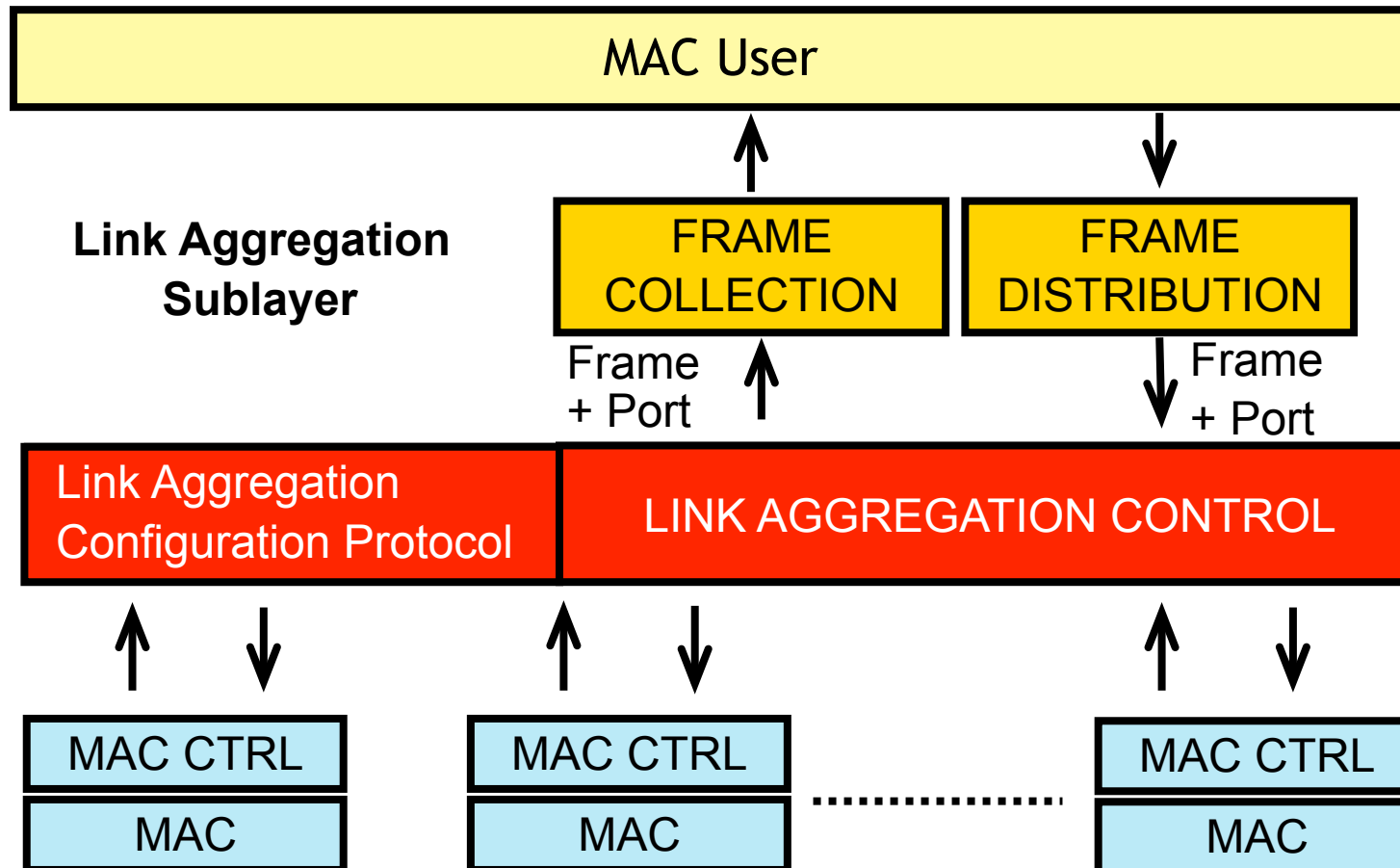
- verbindet einen oder mehrere Hardware-Ports in einem System.
- **verteilt** Rahmen vom MAC Client an die Ports
- **sammelt** empfangene Rahmen aus den Ports an den MAC Client

System:

- kann mehrere Aggregatoren für mehrere MAC Clients enthalten
- ein Port gehört zu einer bestimmten Zeit einem bestimmten Aggregator
- Ein MAC Client wird zu einer bestimmten Zeit von einem bestimmten Aggregator bedient

Link Aggregation Control Function (LAC):

- Die Port-Aggregation wird durch die Link Aggregation Control Function realisiert.

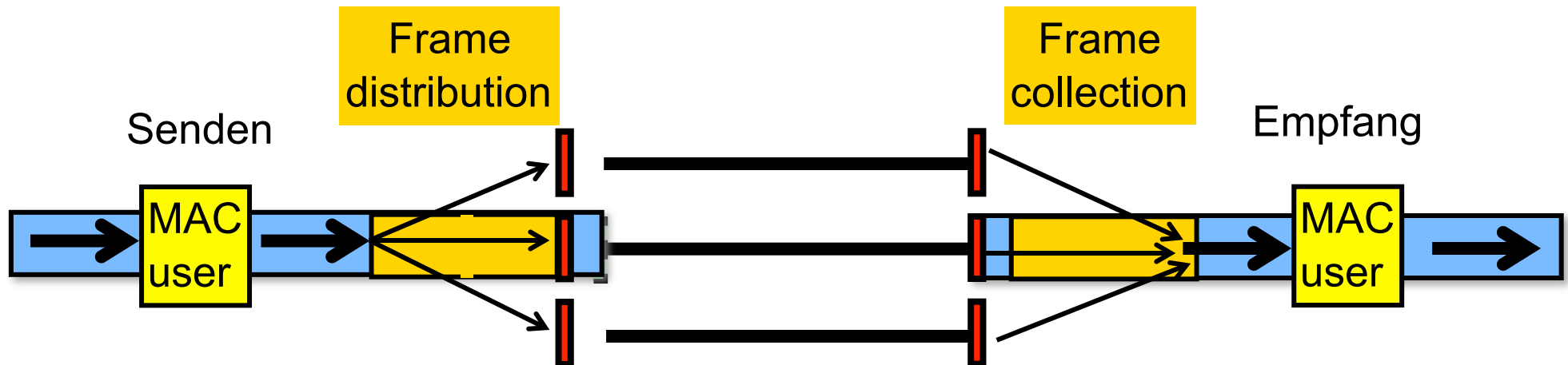


Frame Distribution

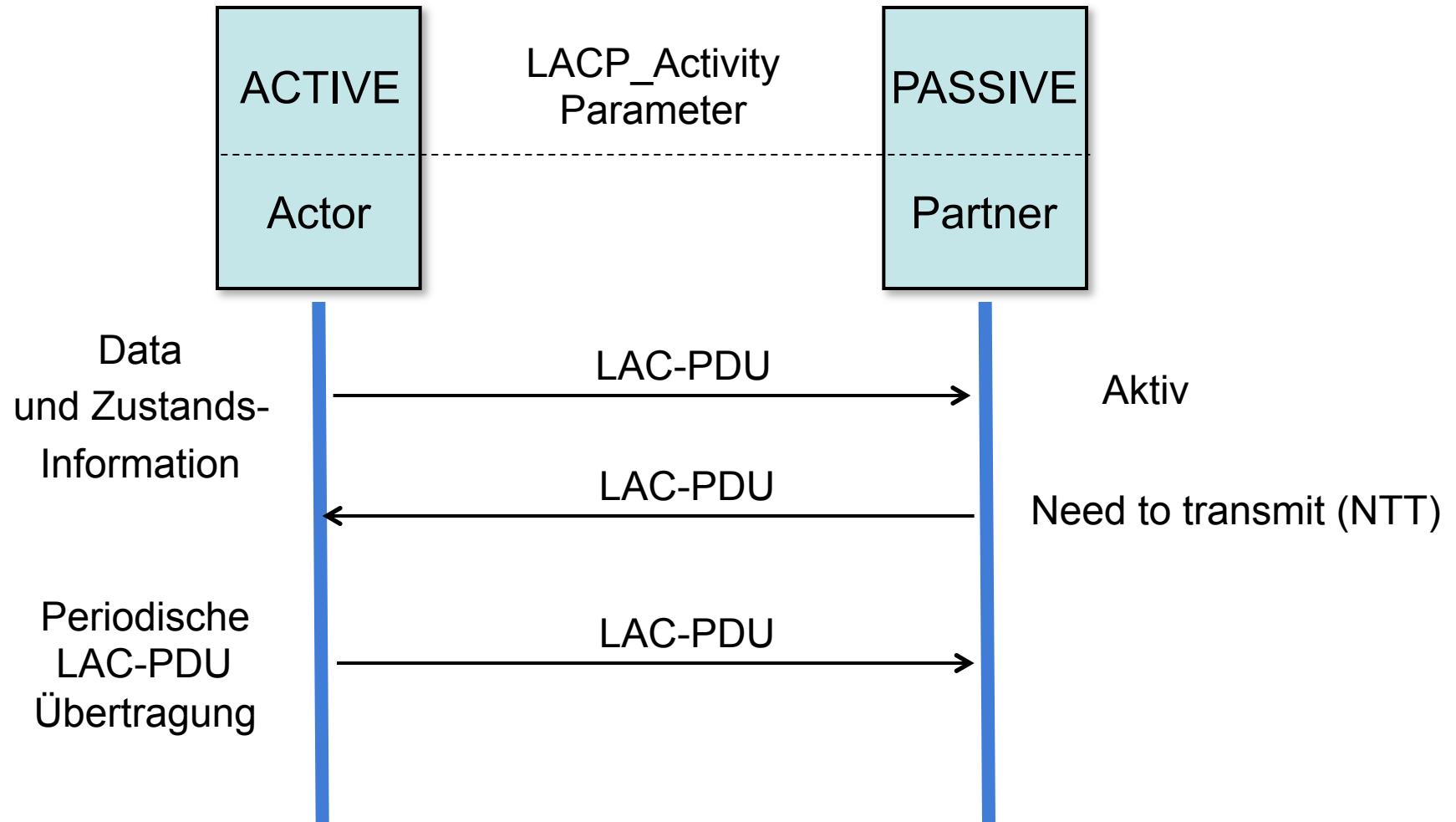
- Zuständig für die **Verteilung** der Frames über die physikalischen Links.
- Sicherstellung dass keine Frames verdoppelt wurden

Frame Collection

- Zuständig für die ursprüngliche Wiederherstellung der Paket-Reihenfolge
- Ablieferung der Pakete an die **MAC Client** Funktion.



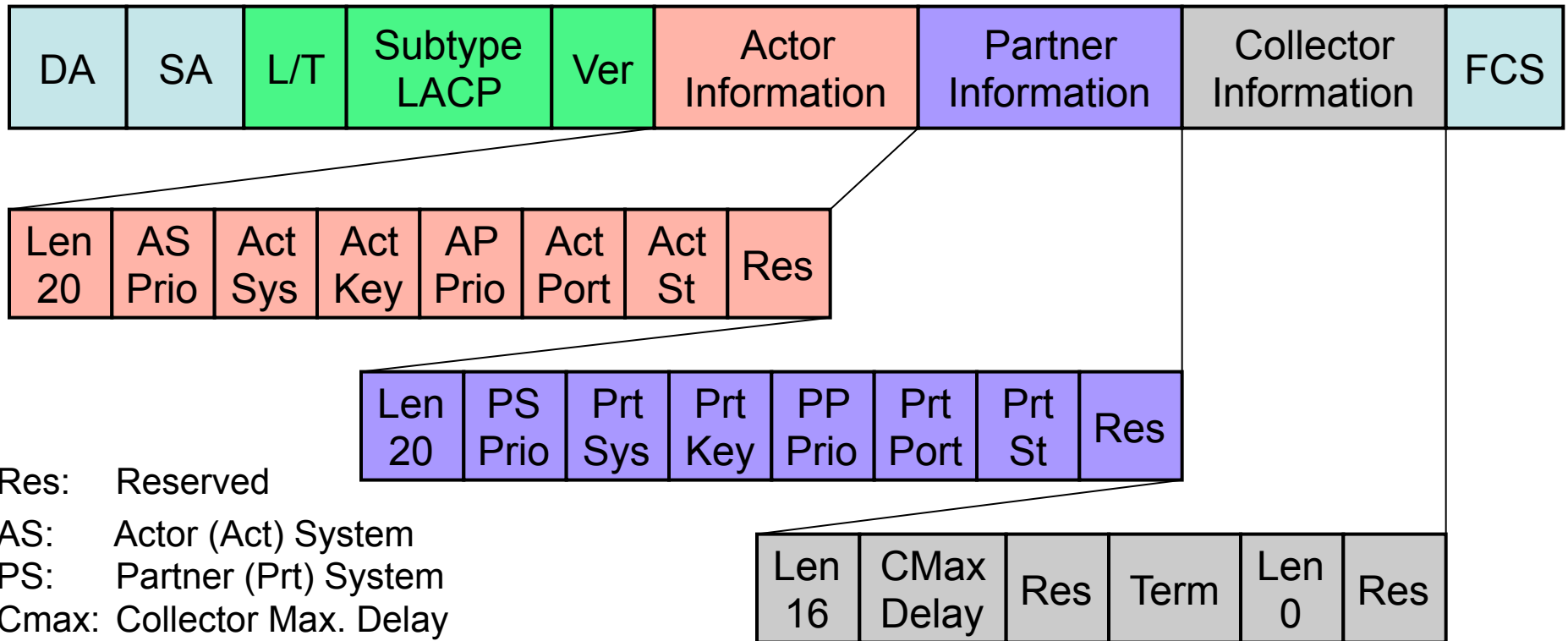
LACP Kommunikation



Im LACP gibt es keinen Frame Loss Detection und Retry Mechanismus

Link Aggregation Control konfiguriert und überwacht den Link Aggregation sublayer mittels statischer und dynamischer Informationen

LACP Protocol Data Unit Format:



Res: Reserved

AS: Actor (Act) System

PS: Partner (Prt) System

Cmax: Collector Max. Delay

St: State

- Jedem LACP-Link ist eine eindeutige Priorität zugewiesen
- Prio-0 ist der höchste Prioritätswert.
- Ports werden gemäß ihrer lokalen **Priorität bezeichnet**.

