

# ZSL

Zentrum für Schulqualität  
und Lehrerbildung  
Baden-Württemberg



Networking  
Academy

## Ethernet Switching



Andreas Grupp

[Andreas.Grupp@zsl-rstue.de](mailto:Andreas.Grupp@zsl-rstue.de)

Carina Haag

[haag.c@lanz.schule](mailto:haag.c@lanz.schule)

Tobias Heine

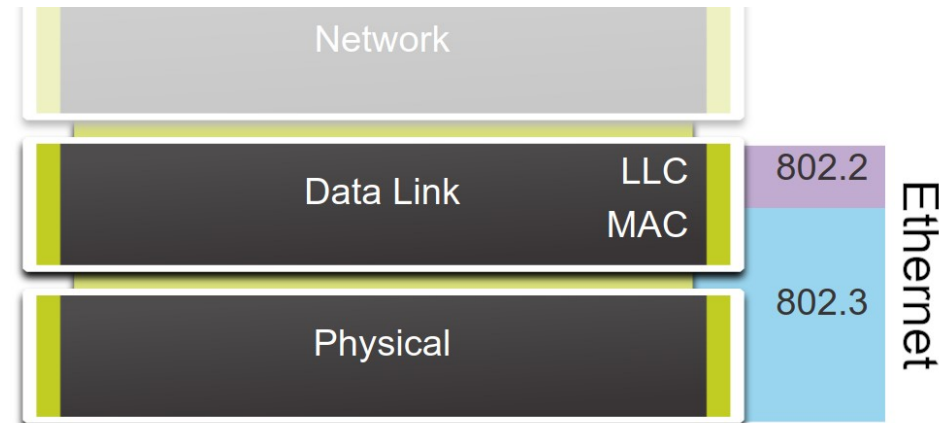
[tobias.heine@springer-schule.de](mailto:tobias.heine@springer-schule.de)

Uwe Thiessat

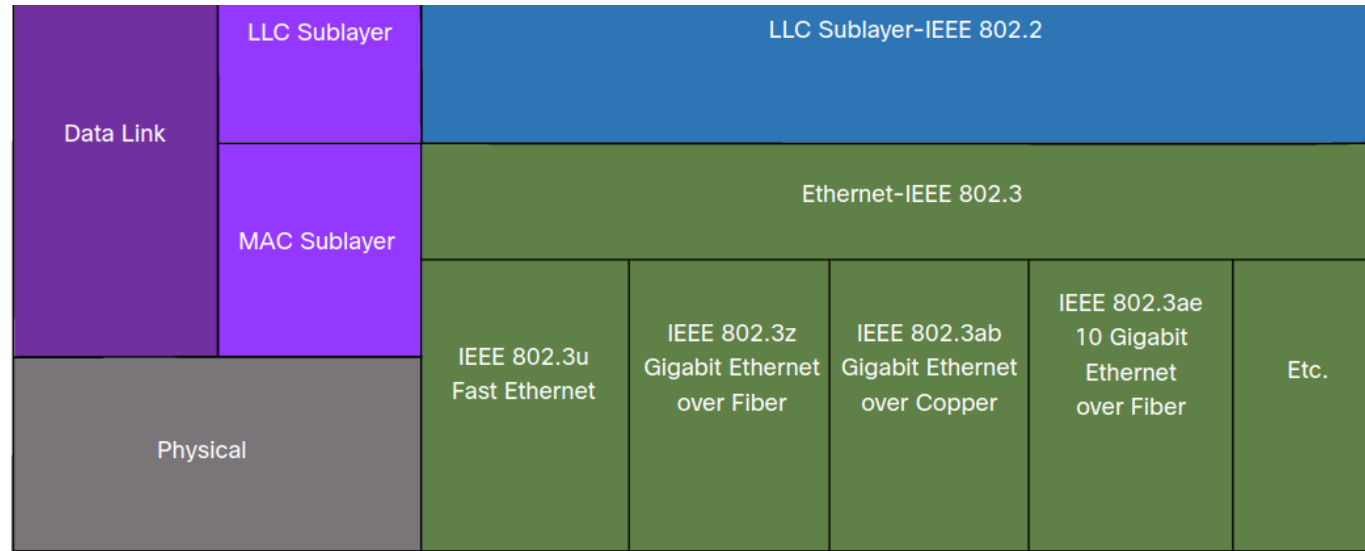
[uwe.thiessat@gbs-sha.de](mailto:uwe.thiessat@gbs-sha.de)

- In lokalen Netzen faktisch nur noch Ethernet und WLAN!
- Ethernet gibt es schon bis zu 400 Gbs, somit kein Alternativbedarf
- Lernziele in diesem Modul
  - Ethernet-Sublayers und deren Bezug zu Feldern im Ethernet-Frame
  - Ethernet-MAC-Adresse beschreiben
  - Woher kommt die MAC-Adress-Tabelle im Switch
  - Wie leitet ein Switch die eingehenden Frames weiter
  - Forwarding-Methoden und Port-Settings bei Layer 2 Switches

- Geschwindigkeiten: 10, 100 Mbps. 1, 10, 40, ... 100, 400 Gbps
- Relevante Standards sind: IEEE 802.2 and 802.3
- Ethernet im OSI-Modell umfasst (siehe auch Modul 6):
  - Logical Link Control (2b) Software
  - Media Access Control (2a)
  - Physical Layer (1)
- Encapsulation bei 802.3
  - Ethernet-Frame erstellen
  - Ethernet-Adressierung (Source- & Destination MAC-Adressen)
  - Ethernet-Fehlererkennung gewährleisten – mittels Frame Check Sequence (FCS)

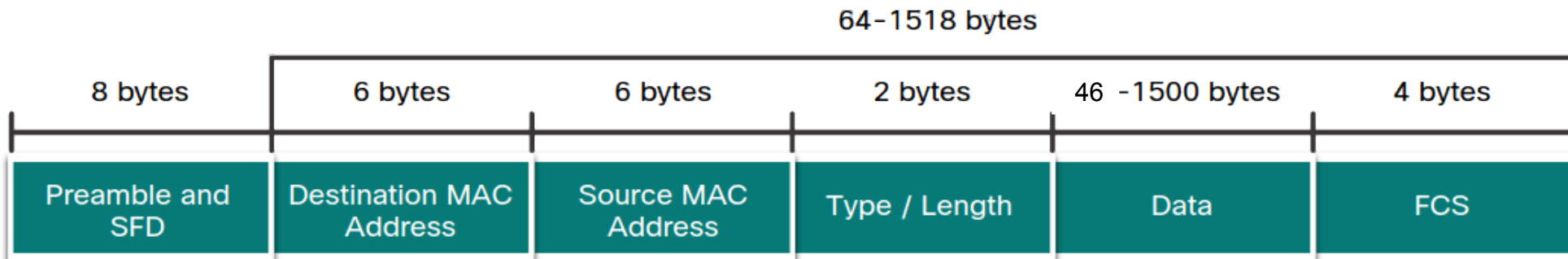


- Varianten unterscheiden sich insbesondere beim Media-Access
- Legacy Ethernet (nutzte) jeweils ein shared Medium



- „Heutiges“ Ethernet ...
  - nutzt nur noch Full-Duplex
  - kollisionsfrei
  - ohne CSMA/CD

- < 64 Bytes: Kollisions-Fragment / Runt → werden verworfen
- > 1518 Bytes: Jumbo-/Baby-Giant-Frames → klappen normalerw.
- Preamble (7 Bytes), Start Frame Delimiter (SFD) (1 Byte)
- Destination MAC (Unicast-, Multicast- oder Broadcast-Adresse)
- Source MAC (immer Unicast)
- EtherType/Type/Length: zum Beispiel 0x800 für IPv4, 0x86DD für IPv6 oder 0x806 für ARP. Kann auch Längenangabe sein.
- Data: Layer 3 PDU, 46 - 1500 Bytes, ggf. Padding auf 46 Bytes!
- FCS → CRC32-Prüfsumme. Nur Fehlererkennung möglich!



- Sind 48-Bit groß – Darstellung mit 12 Hexadezimalziffern
- Auch IPv6 in Hexadezimal
- Umrechnung Dezimal ↔ Hexadezimal ist relevant!
  - 16 Dezimalwerte
  - 16 4-Bit-Muster
  - 16 Hex-Ziffern
- Beachte: Im Binärbereich sind alle Kombinationsmöglichkeiten erschöpft.

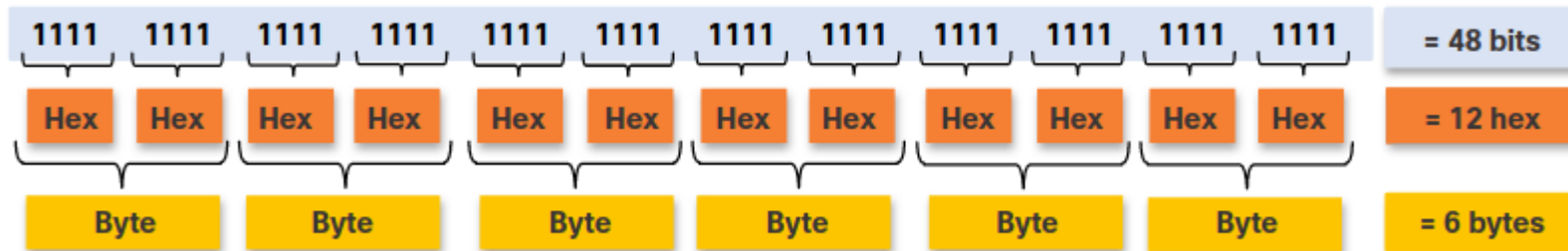
Decimal	Binary	Hexadecimal
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

- Typisch ist aber der Umgang mit Bytes, statt mit 4-Bit Nibbles
- Binär ↔ Hexadezimal ist ziemlich einfach
  - Immer 4-Bit → 1-Hexziffer
  - Nach Wertigkeit anfügen
- Hex-Zahlen meist durch voranstellen von 0x, oder durch H am Ende klar machen
- Dezimal zu Binär ist leider aufwändiger
  - Dezimal → Binär → Hex!

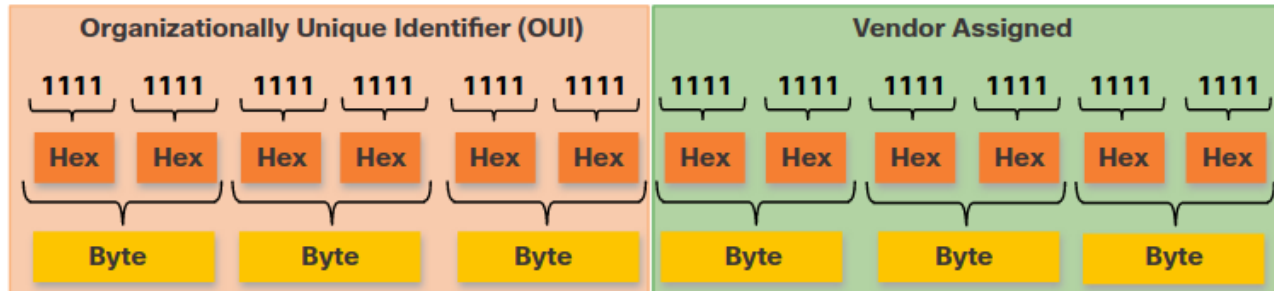
Decimal	Binary	Hexadecimal
0	0000 0000	00
1	0000 0001	01
2	0000 0010	02
3	0000 0011	03
4	0000 0100	04
5	0000 0101	05
6	0000 0110	06
7	0000 0111	07
8	0000 1000	08
10	0000 1010	0A
15	0000 1111	0F
16	0001 0000	10
32	0010 0000	20
64	0100 0000	40
128	1000 0000	80
192	1100 0000	C0
202	1100 1010	CA
240	1111 0000	F0
255	1111 1111	FF

# Ethernet MAC-Adressen – müssen eindeutig sein

- Im jeweiligen LAN-Segment muss MAC eindeutig sein!



- Hersteller müssen sich u.a. deshalb bei IEEE registrieren.
  - Erhalten „Organizationally Unique Identifier (OUI)“

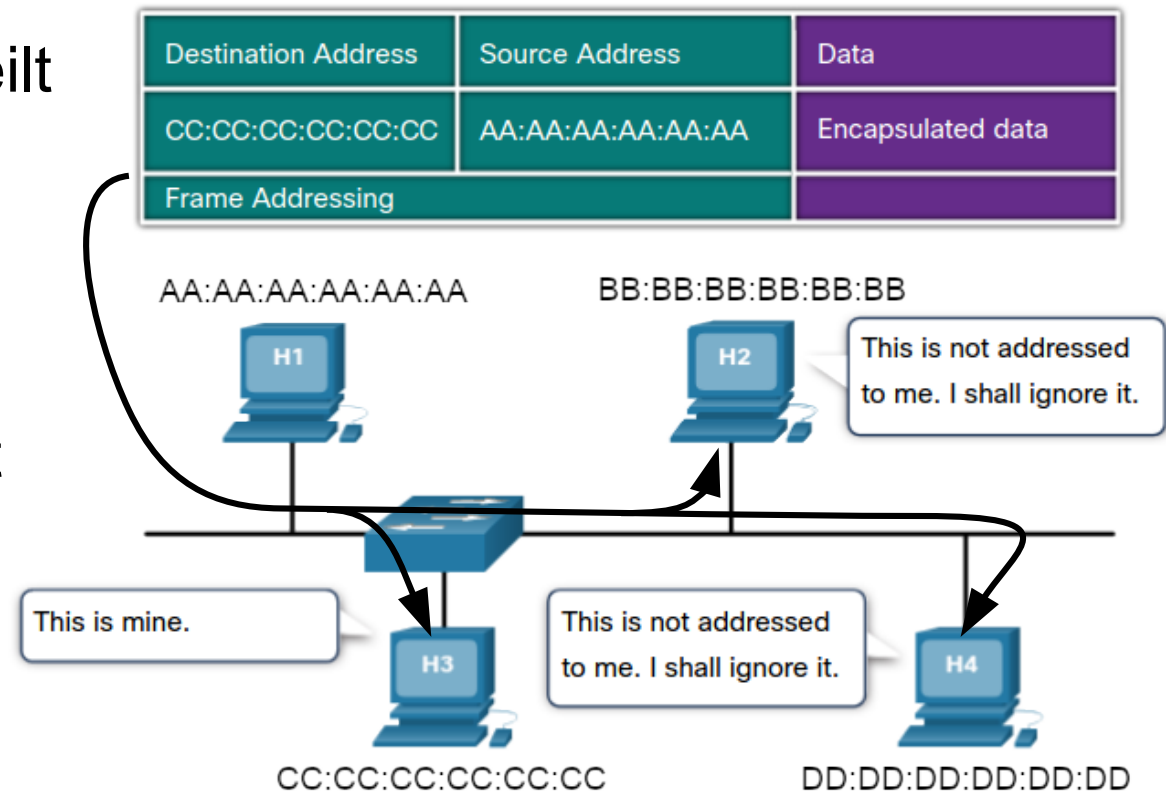


**Beachte:** „Burned-In Address (BIA)“ ist somit kein Sicherheitsfeature!! Wird beim Booten ins RAM kopiert!

- Z.B. bei Herstellerfehlern → MAC per Software eindeutig machen



- Grundsätzlich gilt: Jeder eingehende Frame wird schon von der Netzwerkkarte kontrolliert.
- Falls Destination-MAC als nicht passend beurteilt wird, wird der Frame verworfen
- Erreicht dann das Betriebssystem erst gar nicht mehr → keine Last



# Unicast-MAC & woher stammt das Wissen dazu?

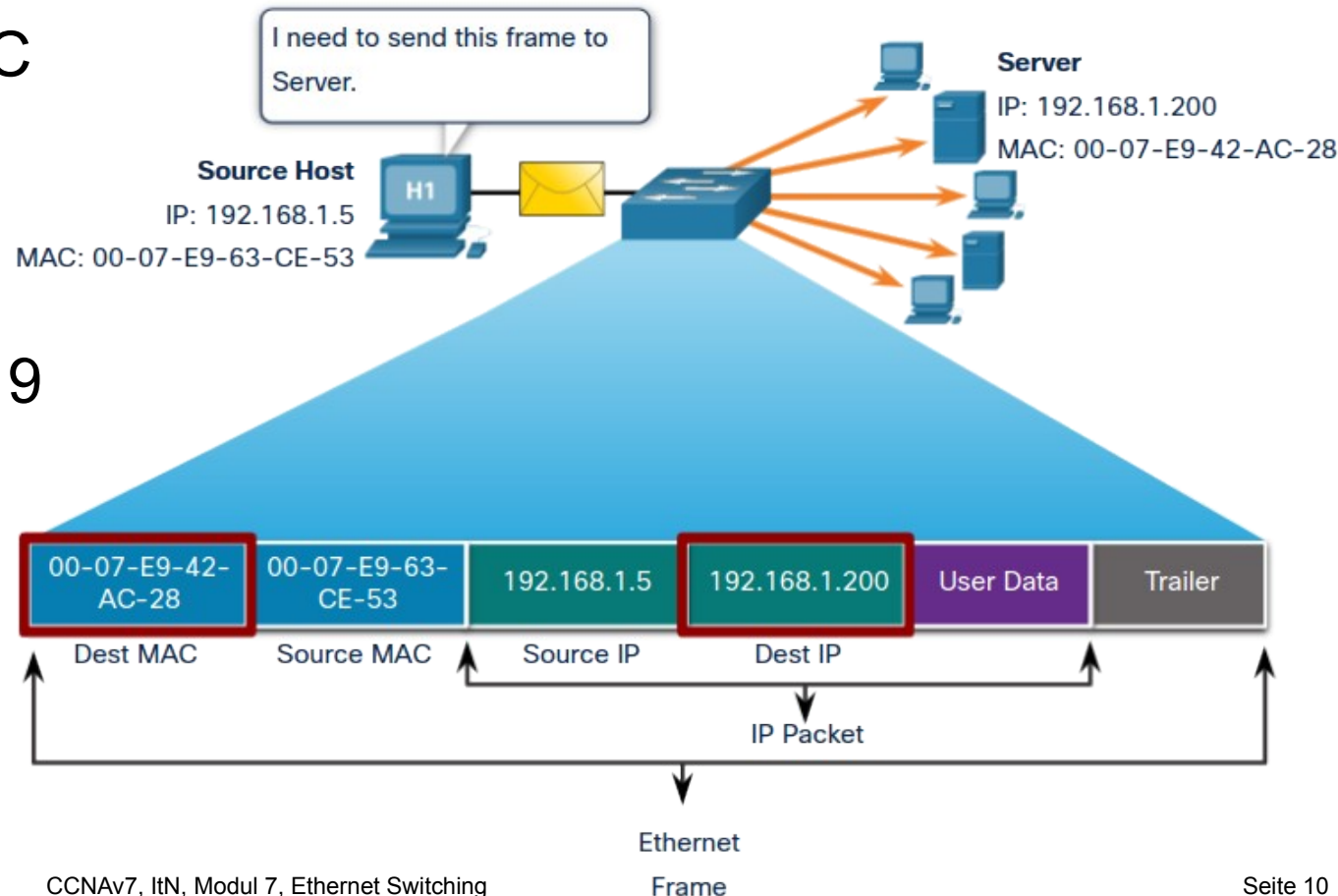
- IP-Packet zielgerichtet an ein Ziel → Unicast
- Ziel-MAC ebenfalls Unicast-MAC → NIC-Adresse des Ziels

- Feststellung der MAC durch Absender?

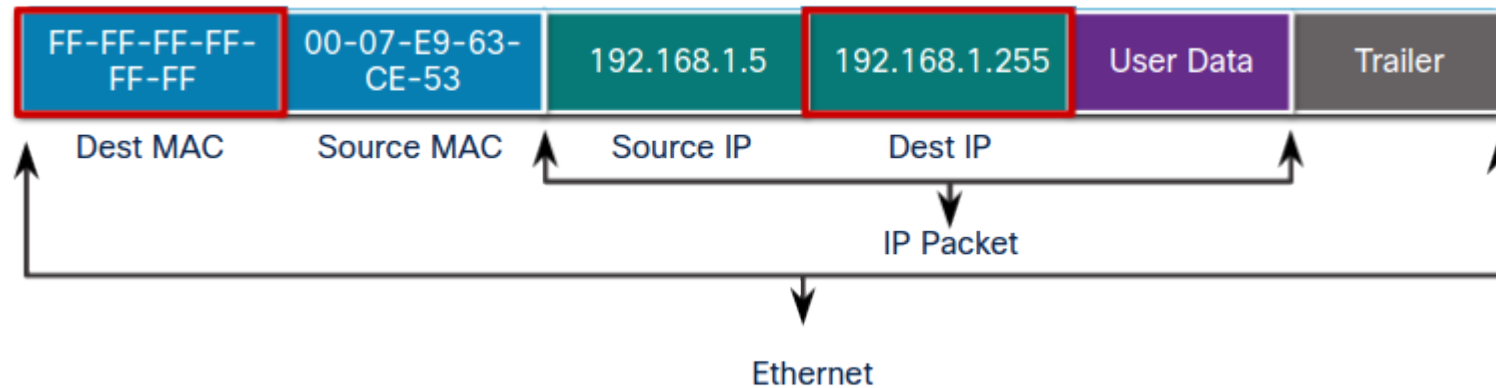
- Bei IPv4 → ARP
- Bei IPv6 → ND

Dazu mehr in Modul 9

- Ach ja ... die Source-MAC ist immer eine Unicast-MAC



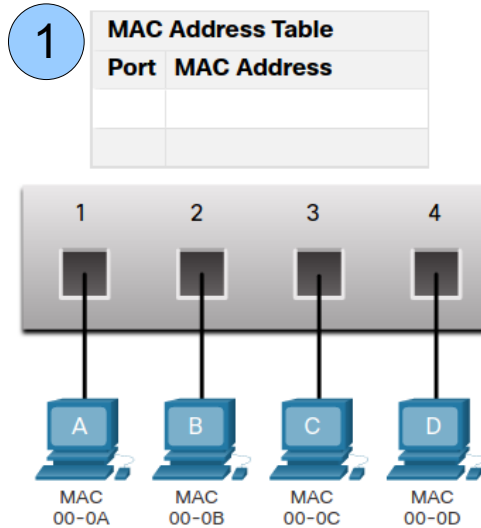
- Z.B. IP-Packet als Broadcast an alle Rechner im LAN-Segment, oder bei anderen Protokoll-Nachrichten die Broadcasts brauchen
- Abbildung auf Ziel-Ethernet-MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF



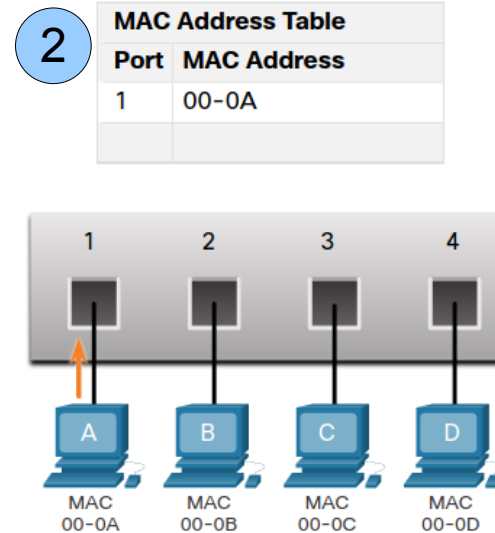
- Router leiten Broadcasts typischerweise nicht weiter!
- Absender-Adresse ist weiterhin immer Unicast-MAC

- Hosts können Mitglied in einer Multicast-Gruppe werden
  - „Hören“ dann auch auf Ethernet-Frames der jeweiligen Gruppe
  - Multicast-MACs beginnen mit 01:00:5E im vorderen OUI-Bereich
  - Hintere drei Bytes repräsentieren die Multicast-Gruppe
    - Werden aus der IP-Multicast-Gruppenadresse abgeleitet.
    - IPv4 224.0.0.0 bis 239.255.255.255, IPv6 ff00::/8
- Diverse Protokolle verwenden weitere reservierte Multicast-MACs
  - z.B. Spanning Tree Protocol (STP), Link Layer Disc. Prot. (LLDP)
- Router leiten Multicasts auch im Normalfall nicht weiter
- Switches benötigen „zusätzliches Wissen“ um zielgerichtet zu unterstützen, und sich damit vom Hub zu unterscheiden.

# Und wie arbeitet nun ein Switch?

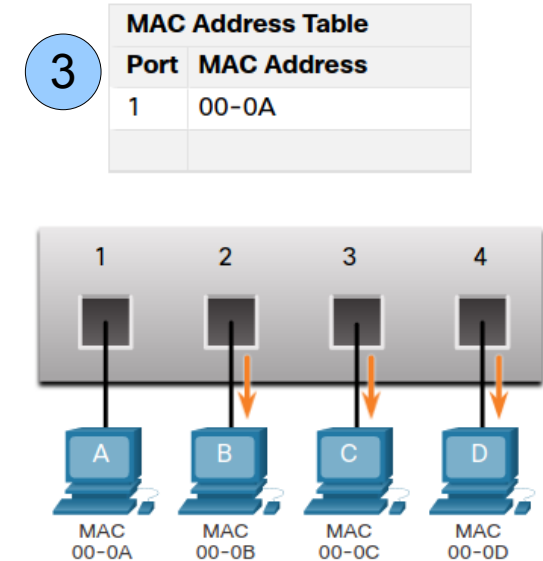


1.) Nach dem Start hat das Gerät keinerlei Wissen über Geräte!



2.) Mit jedem Frame lernt der Switch!

Beachte die Lernbasis!  
Es ist die Source-MAC!



3.) Die Weiterleitung, so lange keine klare Informationen in der MAC-Adress-Tabelle vorliegen

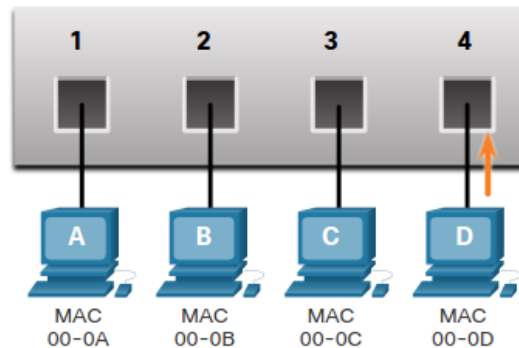


# Und mit der Zeit entlastet der Switch dann „Unbeteiligte“

4. Frame von D an A  
Switch lernt neue MAC!

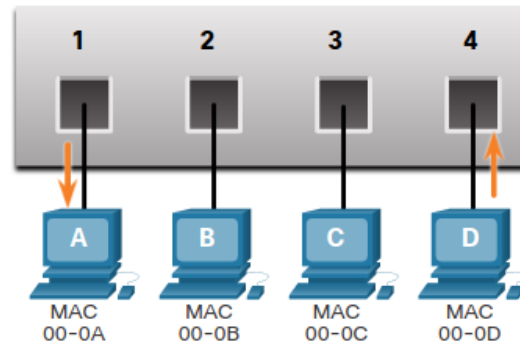
4

MAC Address Table	
Port	MAC Address
1	00-0A
4	00-0D



5

MAC Address Table	
Port	MAC Address
1	00-0A
4	00-0D

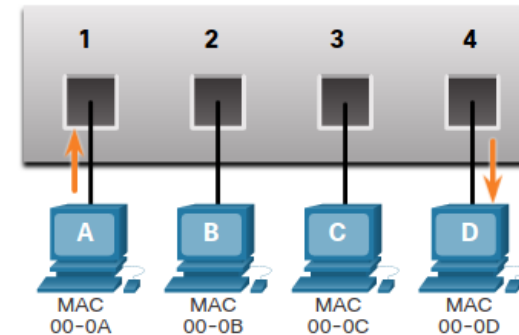


5. Und kann in diesem Fall schon zielgerichtet arbeiten

6. Auch die Gegenrichtung funktioniert!

6

MAC Address Table	
Port	MAC Address
1	00-0A
4	00-0D



Destination MAC  
00-0A

Source MAC  
00-0D

Type

Data

FCS

Destination MAC  
00-0D

Source MAC  
00-0A

Type

Data

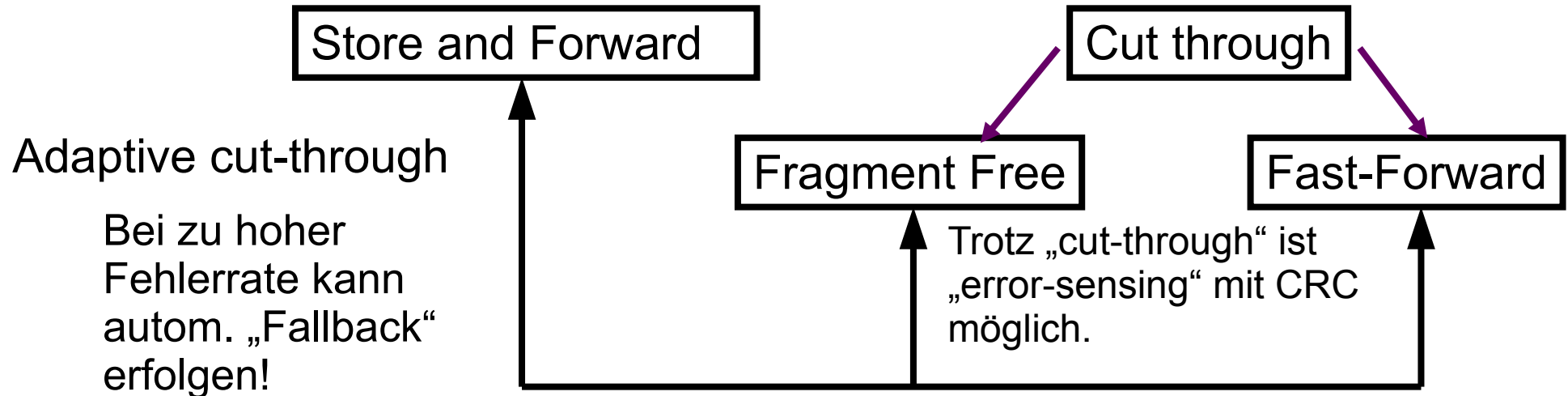
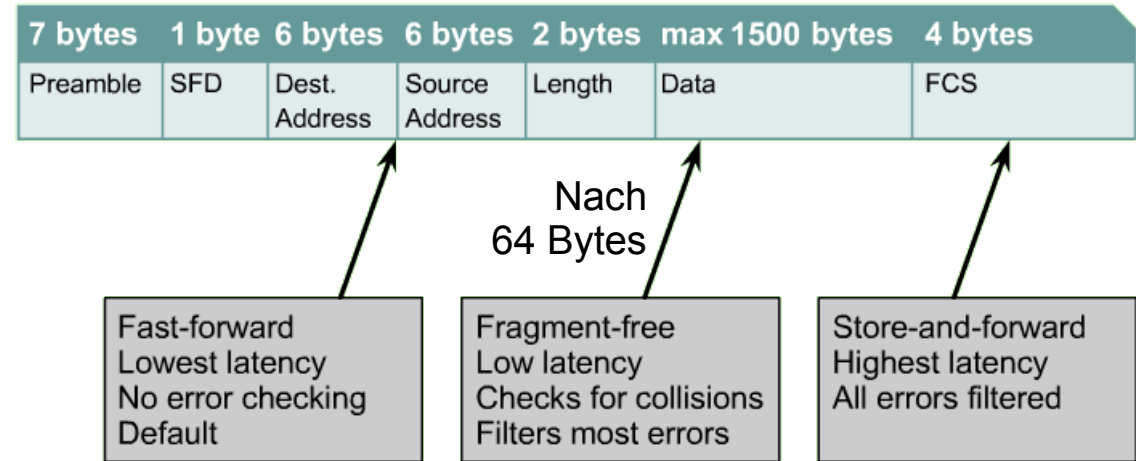
FCS

- MAC-Adress-Tabelle auch Content Addressable Memory (CAM)
- Destination-MAC nicht in MAC-Adress-Tab → Frame wird aus allen aktiven Ports gesendet, außer auf dem Empfangsport
- Pro Port, können mehrere MAC-Adressen gespeichert sein
  - Insbesondere immer bei Up-/Downlink-Ports zu anderen Switches
- Einträge in MAC-Adress-Tabelle „altern“ und verschwinden ...
  - ohne Auffrischung
  - wenn Port inaktiv wird
- IP-Pakete mit Ziel außerhalb des eigenen LANs werden vom Endgerät (z.B. PC) in Ethernet-Frame mit Router-MAC als Ziel verpackt & versandt

Siehe auch  
noch Videos  
7.3.4 und 7.3.5

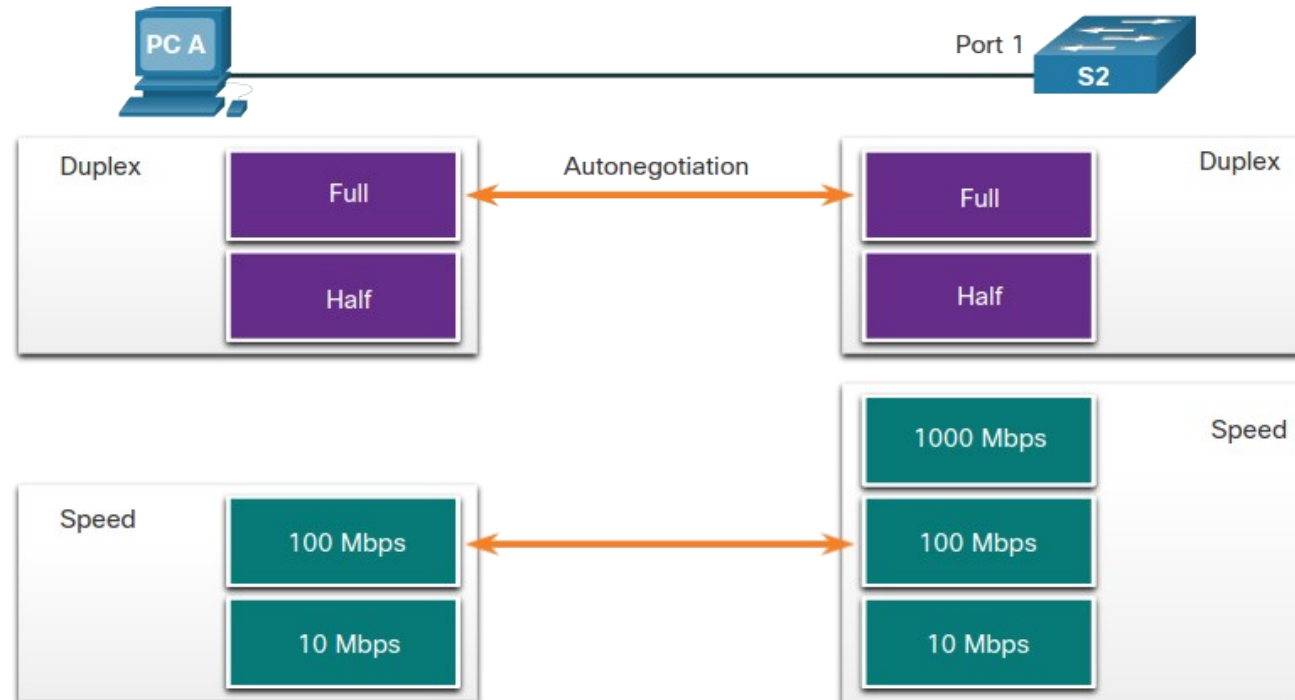
- Store-and-Forward
  - Frame wird komplett empfangen
  - CRC-kontrolliert
  - Switching auf Basis der Infos aus MAC-Adresstabelle
  - z.B. bei QOS-Anwendung / Prio.-Queues immer nötig
- Cut-Through (2 Untervarianten)
  - Fast-Forward
    - Destination-MAC im Switch, Rest noch gar nicht angekommen
    - Switching auf Basis der Infos aus MAC-Adresstabelle
  - Fragment-Free
    - Die ersten 64 Bytes werden eingelesen (Kontrolle ob Kollisionsfrag.)
    - Switching auf Basis der Infos aus MAC-Adresstabelle



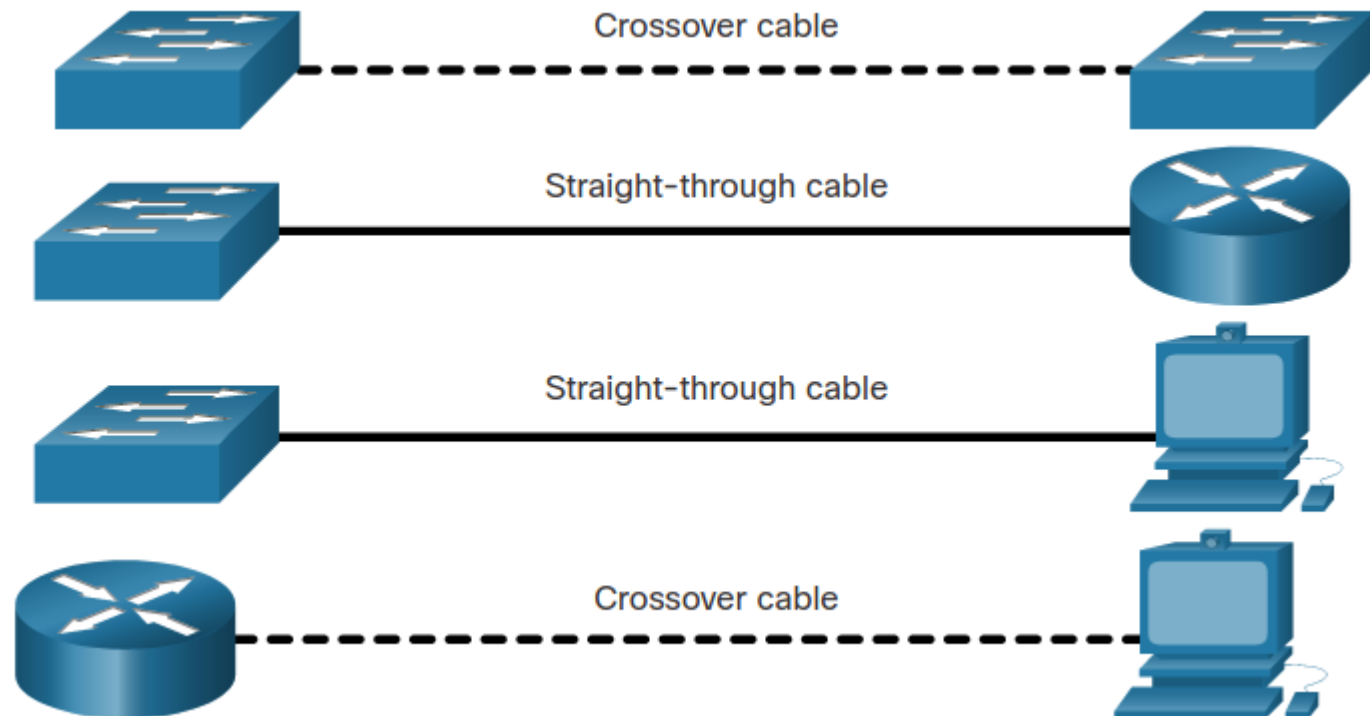


- ... bei Store-and-Forward
- ... bei Ports mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (asymmetric)
- ... falls Sendeport gerade anderweitig am senden
- Zwischenpuffern der Framedaten ...
  - Port-based memory. Queue an Ports, kann blockierend wirken
  - Shared memory. Zentral für alle Ports gemeinsam

- Einstellung der direkt über ein LAN-Medium gekoppelten Systeme
  - Full Duplex: Beide Seiten können gleichzeitig senden
  - Half Duplex: Immer nur eine Seite darf senden
  - Bandbreiten-Einstellung auf beiden Seiten
- Heute meist typisch  
→ automatische Aushandlung / Autonegotiation
- Fehleinstellungen problematisch
- Gigabit-Ports nur Full-Duplex



- Adernpaare bis 100Mbps mit spezieller Senderichtung
- „Layer-2“- und „Layer-3+“-Geräte mit unterschiedlicher Pin-Beleg.
- Legacy-Technik  
→ richtiges Kabel
- Heute  
→ Auto-MDIX
- Konfiguration im Int-Config-Mode:
  - **mdix auto**



- 7.1.5 – Quiz zu „Ethernet Switching“
- 7.1.6 – Labor: Ethernet Frames mit Wireshark untersuchen
- 7.2.7 – Labor: Network Device MAC Addresses
- 7.3.6 – Activity - Switch It!
- 7.3.7 – Lab - View the Switch MAC Address Table
- 7.4.6 – Quiz - Switch Speeds and Forwarding Methods
- 7.5.2 – Module Quiz - Ethernet Switching

