

Vorlesung Einführung in Rechnernetze

5. Sicherungsschicht

Prof. Dr. Martina Zitterbart

Sebastian Friebe (M.Sc.), Markus Jung (M.Sc.), Matthias Flittner (M.Sc.), Tim Gerhard (M.Sc.)
[zitterbart | friebe | m.jung | flittner | t.gerhard]@kit.edu

Institut für Telematik, Prof. Zitterbart



© Peter Baumung

Kapitel der Vorlesung

- 1 • Einführung
- 2 • Anwendungsschicht
- 3 • Transportschicht
- 4 • Vermittlungsschicht
- 5 • Sicherungsschicht**
- 6 • Netzarchitektur
- 7 • Netzsicherheit

5. Sicherungs- schicht

- 5.1 Einführung
- 5.2 Fehlererkennung
- 5.3 Multiplexverfahren
- 5.4 Medienzugriffsverfahren
- 5.5 Lokale Netze

Kapitel 5.1

EINFÜHRUNG

Terminologie

■ Knoten

- Endsysteme und Router

■ Links

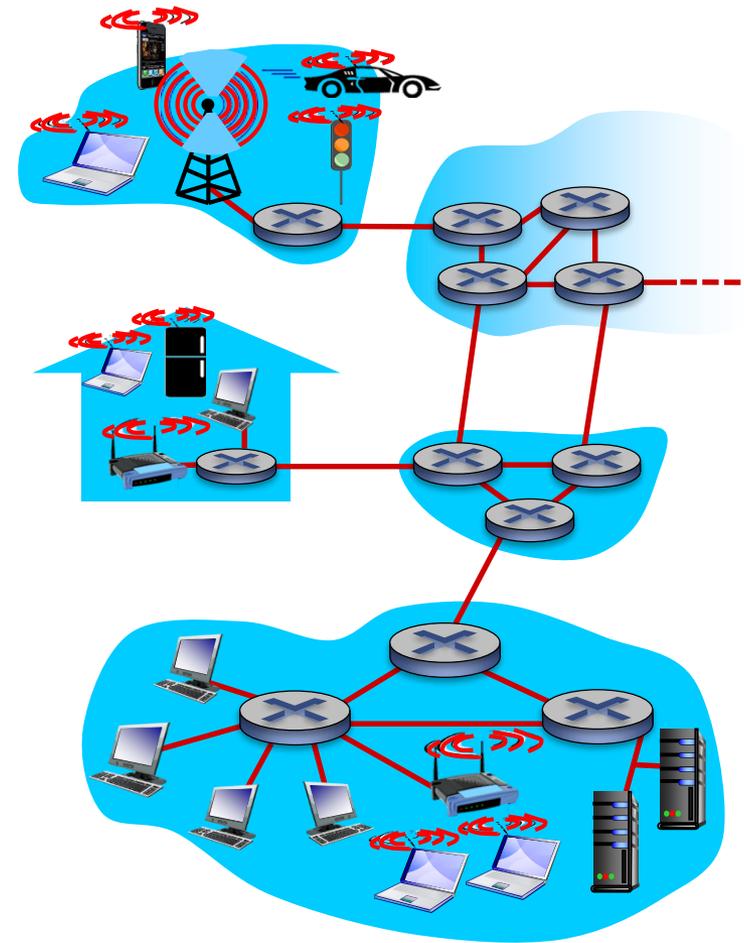
- Übertragungsabschnitt zwischen benachbarten Knoten
 - Drahtgebunden
 - Drahtlos

■ Rahmen

- Pakete auf Schicht 2
- IP-Datagramme sind darin eingekapselt

■ Grundlegende Aufgabe

- Übertragung von Datagrammen von einem Knoten zu einem benachbarten Knoten über einen Link



- Datagramm wird über verschiedene Links mit evtl. unterschiedlichen Protokollen übertragen
 - Ethernet
 - 802.11
 - Bluetooth
 - ...

- Protokolle der Links können unterschiedliche Dienste anbieten
 - Z.B. zuverlässig bzw. unzuverlässig

■ Analogon

- Reise von Karlsruhe nach Yorktown Heights (USA)
 - Zug: Karlsruhe nach Frankfurt Flughafen
 - Flugzeug: Frankfurt Flughafen nach New York
 - Mietwagen: New York nach Yorktown Heights

- Reisender: Datagramm
- Transportabschnitt: Link
- Art des Transports: Protokoll des Links
- Reisebüro: Routingalgorithmus

Aufgaben der Sicherungsschicht

- Strukturierung des Datenstroms (Framing)
 - Datagramm in Rahmen einkapseln
- Medienzugangskontrolle bei geteilten Medien
- Adressierung mittels MAC-Adressen
- Je nach angebotenen Dienst der Sicherungsschicht
 - Fehlererkennung und –behebung
 - Flusskontrolle
- Art der Übertragung auf dem Link
 - Broadcast bzw. Semi-Broadcast
 - Punkt-zu-Punkt
 - Halbduplex
 - Vollduplex

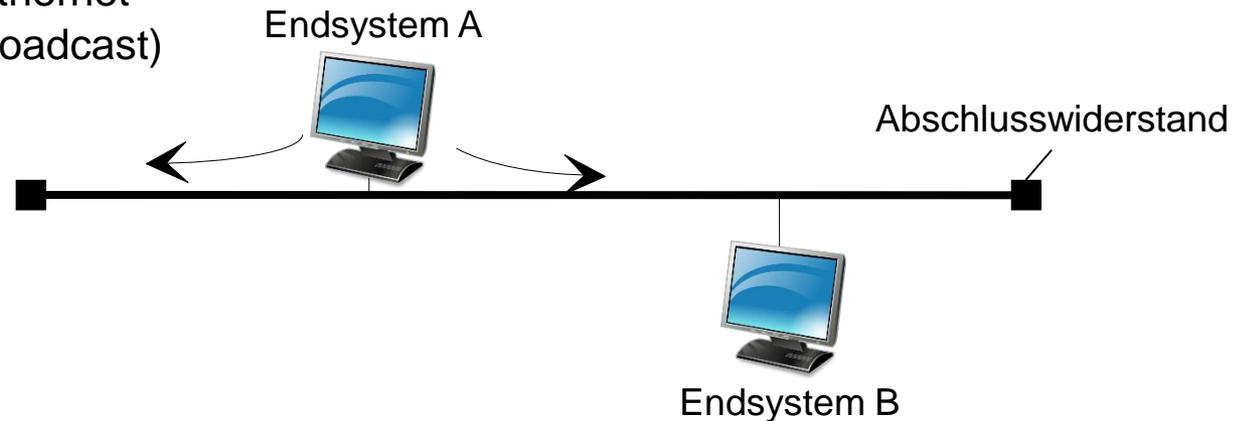
... immer zwischen
physikalisch
benachbarten Knoten



Broadcast- vs. Punkt-zu-Punkt-Link

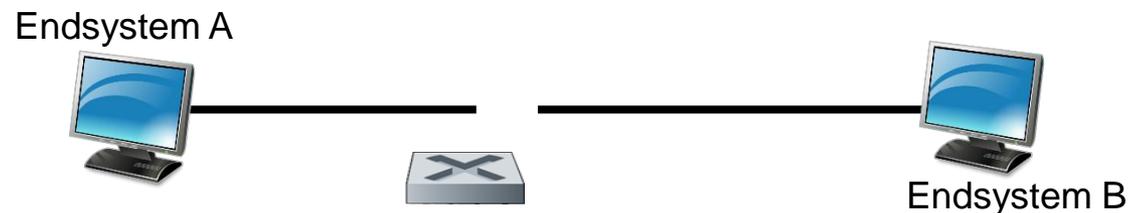
■ Broadcast-Link

- Alle Stationen können alle gesendeten Rahmen „sehen“
- Beispiel
 - Bus-basiertes Ethernet
 - WLAN (Semi-Broadcast)



■ Punkt-zu-Punkt-Link

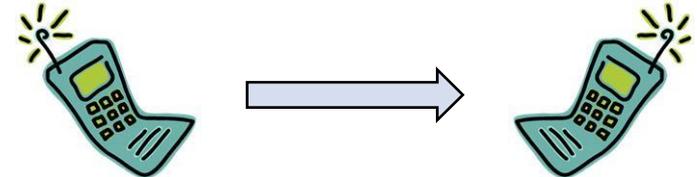
- Zwei Stationen sind jeweils über einen dedizierten Link verbunden
- Beispiel
 - Switch-basiertes Ethernet



■ Kommunikationsrichtung

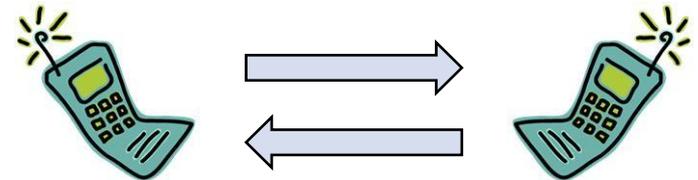
■ Simplex

- Übertragung in einer Richtung



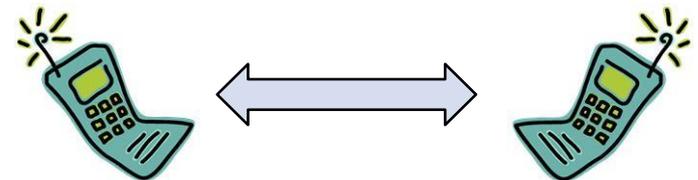
■ Halbduplex

- Übertragung in beide Richtungen
- Abwechselnd, nicht zeitgleich



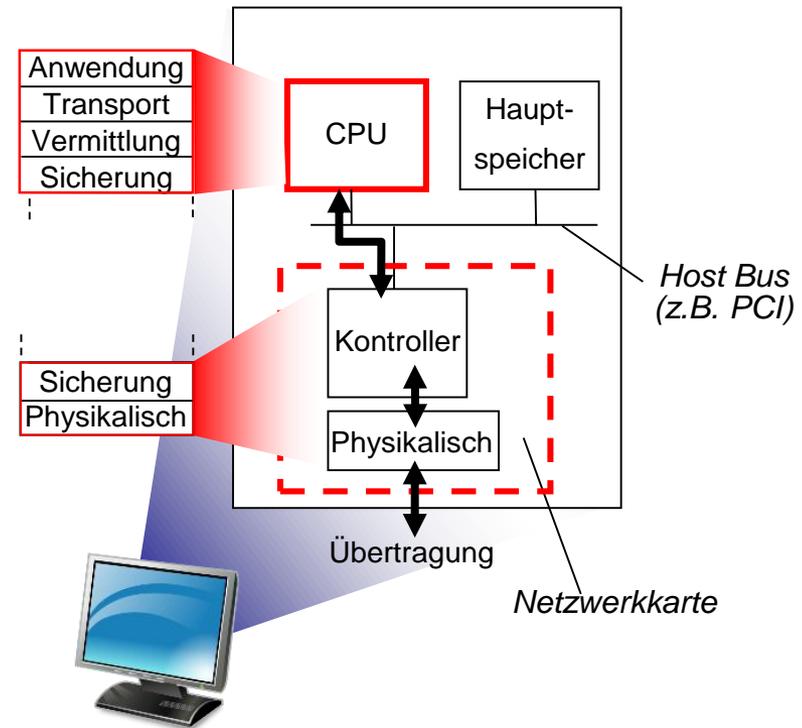
■ Duplex (auch Vollduplex genannt)

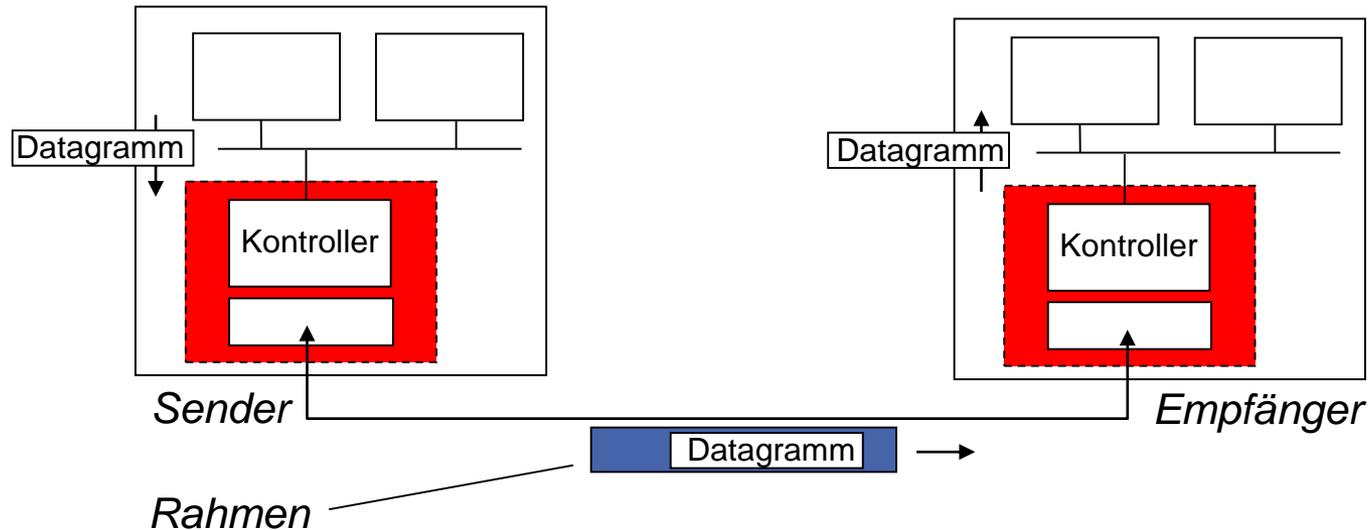
- Übertragung in beide Richtungen
- Zeitgleich



Wo ist die Sicherungsschicht implementiert?

- In jedem Knoten: Endsystem, Router, Switch
- Auf Netzadapter (Network Interface Card, NIC) oder auf Chip
 - Ethernet-Adapter
 - WLAN-Adapter
 - ...
- An Bus des Systems angeschlossen (z.B. PCI-Bus)
- Kombination von Hardware, Software, Firmware





■ Sender

- Datagramm enkapseln, ggfs. Felder für Prüfsumme, Flusskontrolle etc. hinzufügen

■ Empfänger

- Überprüfung hinsichtlich Fehlern, Flusskontrolle ...
- Datagramm extrahieren und zur Vermittlungsschicht weiterreichen

Kapitel 5.2

FEHLERERKENNUNG

- Vergleichbar mit Schicht 4
 - Erkennung und ggfs. Behebung von **Bitfehlern**
 - In Kapitel 3: lineare Codes (Hamming-Code)
 - Hier: zyklische Codes
 - Erkennung und ggfs. Behebung von **Paketfehlern**
 - Anwendung der bekannten ARQ-Verfahren

- Unterschied zu Schicht 4
 - Zu sendende bzw. empfangene Bitfolge wird Bitseriell betrachtet
 - Internet-Prüfsumme: basiert auf Wörtern, die bereits im Speicher stehen

- Dem Rahmen wird auf Sendeseite eine Sicherungssequenz hinzugefügt, die auf Empfangsseite überprüft wird
 - Auch als FCS (**Frame Check Sequence**) bezeichnet
 - Steht typischerweise am Ende des Rahmens als Anhang

Cyclic Redundancy Check (CRC)

- Charakteristische Eigenschaft
 - Jede zyklische Verschiebung eines Codeworts führt wieder zu einem Codewort
- Zusammenhang zwischen Codewörtern und Polynomen
 - Symbole eines Codeworts werden als Koeffizienten eines Polynoms interpretiert

Codewort:

0 1 0 1



Polynom:

$$0 * x^3 + 1 * x^2 + 0 * x^1 + 1 * x^0 = x^2 + 1$$

Ist das Quellenalphabet Σ ein endlicher Körper \mathbb{F} , so lässt sich jedes Codewort v der Länge n als ein Polynom $v(x) \in \mathbb{F}[x]$ mit $\deg v(x) < n$ interpretieren. Umgekehrt entspricht jedes Polynom $v(x) \in \mathbb{F}[x]$ mit $\deg v(x) < n$ einem Codewort v der Länge n .

Cyclic Redundancy Check (CRC)

- Betrachtet werden Codes, die von einem dedizierten Generatorpolynom erzeugt werden

Es seien $g(x)$ ein Polynom aus der Menge $\mathbb{F}[x]$ und $n \in \mathbb{N}^+$.
Der von $g(x)$ generierte Code der Länge n ist die Menge

$$C := \{v(x) \mid \deg v(x) < n \text{ und } g(x) \text{ teilt } v(x) \text{ ohne Rest} \}$$

$g(x)$ heißt das **Generatorpolynom** von C .

Cyclic Redundancy Check (CRC)

■ Hier Binärcodes

- Wir verwenden für \mathbb{F} den endlichen Körper $\mathbb{Z}_2 = \{0, 1\}$

$$(x^3 + x^2 + 1) * 0 = 0 \quad 0000000$$

$$(x^3 + x^2 + 1) * 1 = x^3 + x^2 + 1 \quad 0001101$$

$$\dots$$
$$(x^3 + x^2 + 1) * (x^2 + x + 1) = x^5 + x + 1 \quad 0100011$$

$$\dots$$
$$(x^3 + x^2 + 1) * (x^3 + x^2 + x + 1) = x^6 + x^3 + x + 1 \quad \underbrace{1001011}$$

(7,4) Hamming Code

Cyclic Redundancy Check (CRC)

Das Generatorpolynom $g(x)$ erzeugt genau dann einen zyklischen Code der Länge n , wenn es die folgende Teilbarkeitseigenschaft aufweist:

$$g(x) \text{ teilt } x^n + 1 \text{ ohne Rest}$$

■ Weitere Details in  [Hoff14]

Cyclic Redundancy Check (CRC)

- Berechnung basiert auf Division in Modulo-2-Arithmetik; keine Überträge

- Entspricht bitweiser **XOR**-Operation

- $1+1 = 0+0 = 0, 1+0 = 0+1 = 1$

- Beispiele für bitweise **XOR**-Operation

$$\begin{array}{r} 10011011 \\ +11001010 \\ \hline 01010001 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 00110011 \\ +11001101 \\ \hline 11111110 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11110000 \\ -10100110 \\ \hline 01010110 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 01010101 \\ -10101111 \\ \hline 11111010 \end{array}$$

- Bitstrings als Repräsentation von Polynomen

- Rahmen wird als unstrukturierte Bitfolge aufgefasst

- Rahmen 10011010 entspricht Polynom $M(x) = x^7 + x^4 + x^3 + x^1$

- CRC werden in der Praxis häufig eingesetzt

- Z.B. Ethernet, WLAN

Vorgehensweise

- Gleiches Generatorpolynom $G(x)$ für Sender und Empfänger
 - Höchstes und niederwertigstes Bit von $G(x)$ müssen 1 sein

- Prüfsumme (*Checksum*) wird berechnet
 - Rahmen mit m Bits entspricht $M(x)$
 - Prüfsumme entspricht Rest R der Division $(x^r M(x))/G(x)$
 - r : Grad des Generatorpolynoms; $m > r$
 - $x^r M(x)$ fügt r Nullstellen an das Ende des Rahmens

- Prüfsumme wird an die zu sendenden Daten angehängt
 - Entspricht der Addition des Restes: $x^r M(x) + R$

- Empfänger überprüft Rahmen
 - Division des empfangenen Rahmens durch $G(x)$
 - Ist der Rest der Division Null, dann wurde kein Fehler erkannt
 - Ist der Rest ungleich Null, dann ist der empfangene Rahmen fehlerhaft

CRC: Beispiel

- Generatorpolynom $G(x) = 1101$; Nachricht $M(x) = 1001\ 1010$

$$\begin{array}{r} 1001\ 1010\ 000 \quad / \quad 1101 \quad = \quad 1111\ 1001 \\ \hline 1101 \\ \hline 100\ 1 \\ 110\ 1 \\ \hline 10\ 00 \\ 11\ 01 \\ \hline 1\ 011 \\ 1\ 101 \\ \hline 1100 \\ 1101 \\ \hline 1\ 000 \\ 1\ 101 \\ \hline 101 \end{array}$$

- Welche Bitfolge wird übertragen?

Erkennen von Bitfehlern mit CRC

- Erkennen aller Einzelbitfehler
 - x^r und x^0 des Generatorpolynoms dürfen nicht gleich Null sein
- Nahezu alle Doppelbitfehler
 - $G(x)$ muss mindestens drei Terme besitzen
 - Sämtliche Doppelbitfehler
 - $(x^k + 1)$ nicht durch $G(x)$ teilbar ($\forall k \leq \text{Länge des Rahmens}$)
- Jede ungerade Anzahl an Bitfehlern
 - $G(x)$ muss den Faktor $x + 1$ enthalten
- Alle Bursts mit bis zu m Bitfehlern
 - $G(x)$ hat den Grad m

Bekannte Generatorpolynome

■ International genormt sind u.a. folgende Generatorpolynome

- CRC-12 $= x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$
- CRC-16 $= x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- CRC-CCITT $= x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
- CRC-32 $= x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$

■ CRC-16 und CRC-CCITT entdecken

- alle Einzel- und Doppelfehler
- alle Fehler ungerader Anzahl
- alle Fehlerbursts mit der Länge ≤ 16
- 99,997 % aller Fehlerbursts mit der Länge 17 (gilt nicht für CRC-16)
- 99,998 % aller Fehlerbursts mit der Länge 18 und mehr (gilt nicht für CRC-16)

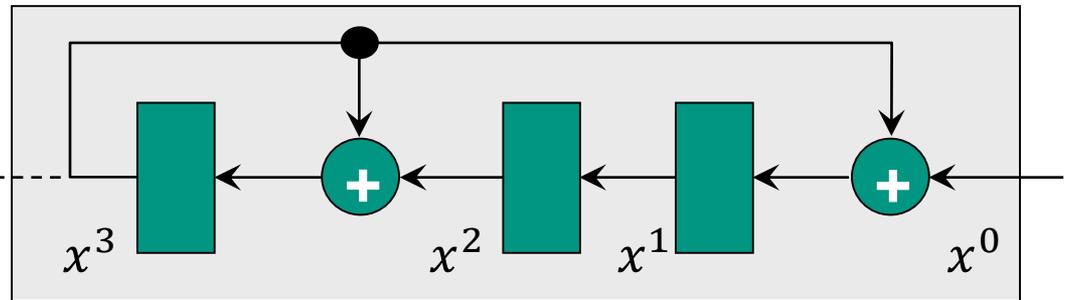
- Realisierung in Hardware
 - Benutzung von rückgekoppelten Schieberegistern
 - CRC kann während des „Durchschiebens“ durch das Schieberegister berechnet werden

- Prinzip
 - Daten werden bitweise empfangen und durchlaufen das Schieberegister
 - Rückkopplung durch ein XOR-Gatter erfolgt an den Stellen, an denen Bits im Generatorpolynom auf 1 gesetzt sind
 - Ohne das höchste Bit, dort erfolgt die Rückkopplung
 - Nach Durchschieben des Rahmens und den angehängten Nullen steht Prüfsumme im Register
 - **Zu beachten:** Soll Prüfsumme ebenfalls „aus dem Register geschoben werden“, ist noch etwas mehr Schaltungslogik nötig

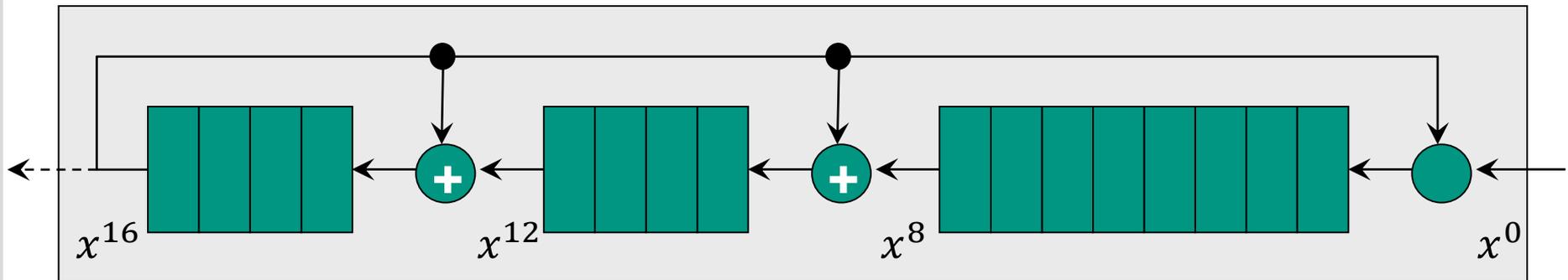
Beispiele Schieberegister

■ $G(x) = 1101$

$G(x) = x^3 + x^2 + 1$



■ $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^8 + 1$



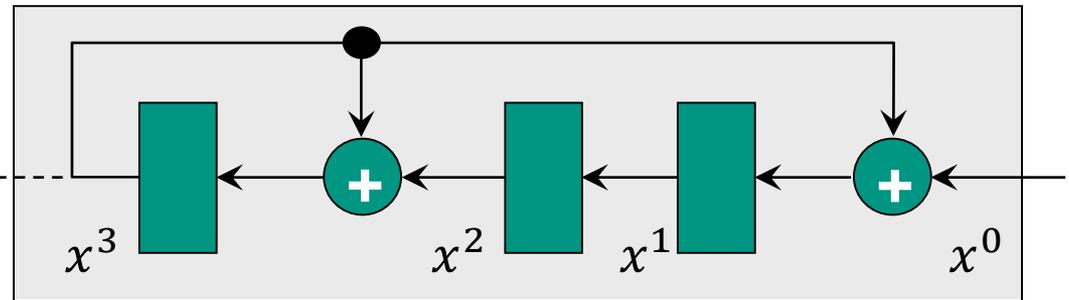
 XOR-Gatter

 1 Bit-Schieberegister

Beispiele Schieberegister

■ $G(x) = 1101$

$G(x) = x^3 + x^2 + 1$

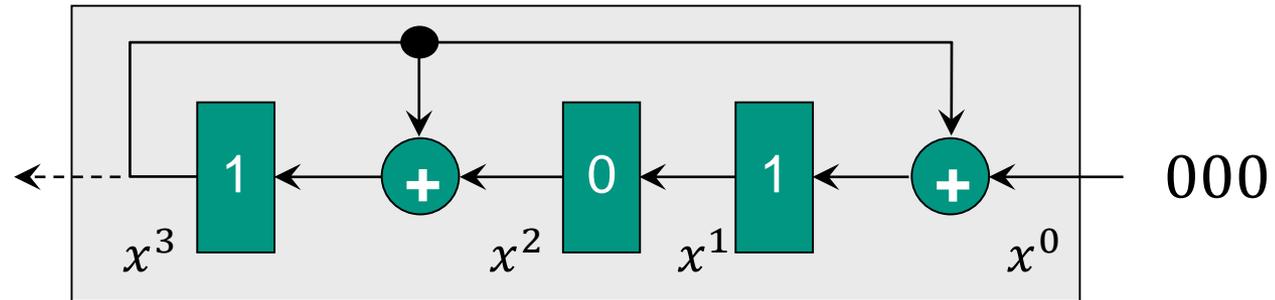


- Gesendet werden soll die Bitfolge $M(x) = 101$
- Multiplikation mit dem höchsten Exponenten: $x^3 M(x)$
 - Entspricht dem Anhängen von $\deg G(x) = 3$ Nullen
 - Ergibt die Bitfolge 101000
- Division durch $G(x)$ ergibt als Rest die Prüfsumme

$$101000 / 1101 = \dots$$

Beispiele Schieberegister

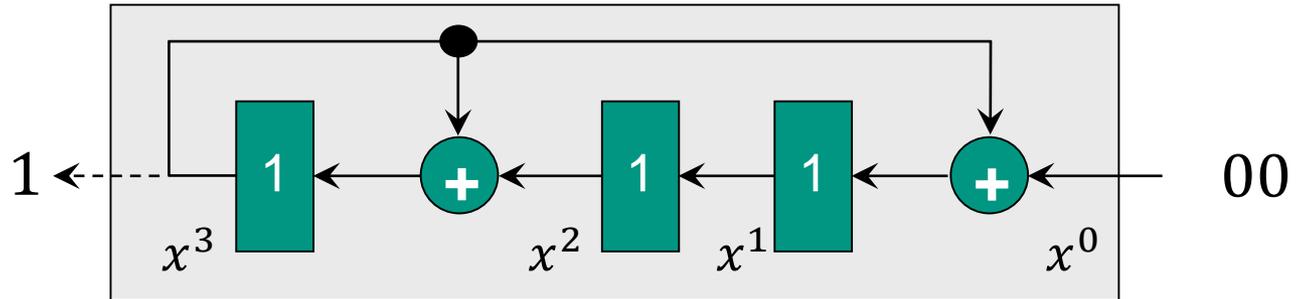
- Initialisierung des Schieberegisters mit den ersten Bits der Eingabe



$$101000 / 1101 = \dots$$

Beispiele Schieberegister

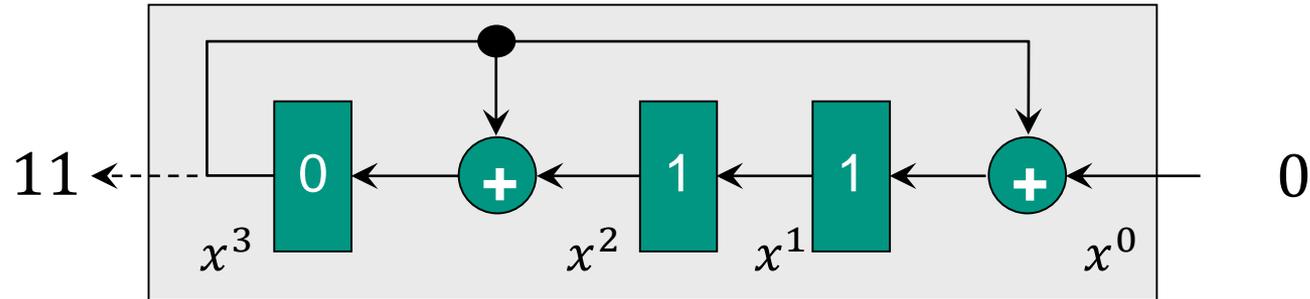
■ 1. Divisionsschritt



$$\begin{array}{r} 101000 / 1101 = 1 \dots \\ \underline{1101} \\ 1110 \end{array}$$

Beispiele Schieberegister

■ 2. Divisionsschritt



$$101000 / 1101 = 11 \dots$$

1101

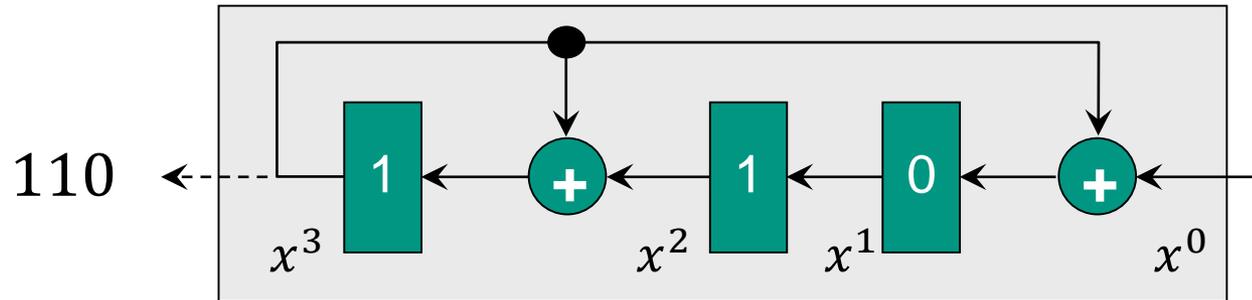
1110

1101

0110

Beispiele Schieberegister

■ Division beendet mit Rest



$$101000 / 1101 = 110 \text{ Rest } 110$$

$$\begin{array}{r}
 101000 \\
 \underline{1101} \\
 1110 \\
 \underline{1101} \\
 0110
 \end{array}$$

Bildung des Codewortes:

Nutzdaten:

101

Anhängen von Nullen:

101000

Addition der Prüfsumme:

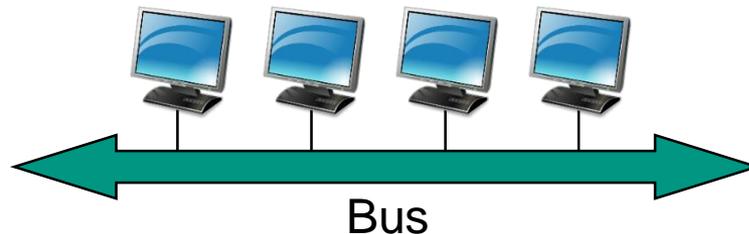
101110

Kapitel 5.3

MULTIPLEXVERFAHREN

■ Problem

- Link wird von mehreren Knoten gemeinsam genutzt
- Beispiel: gemeinsamer Bus

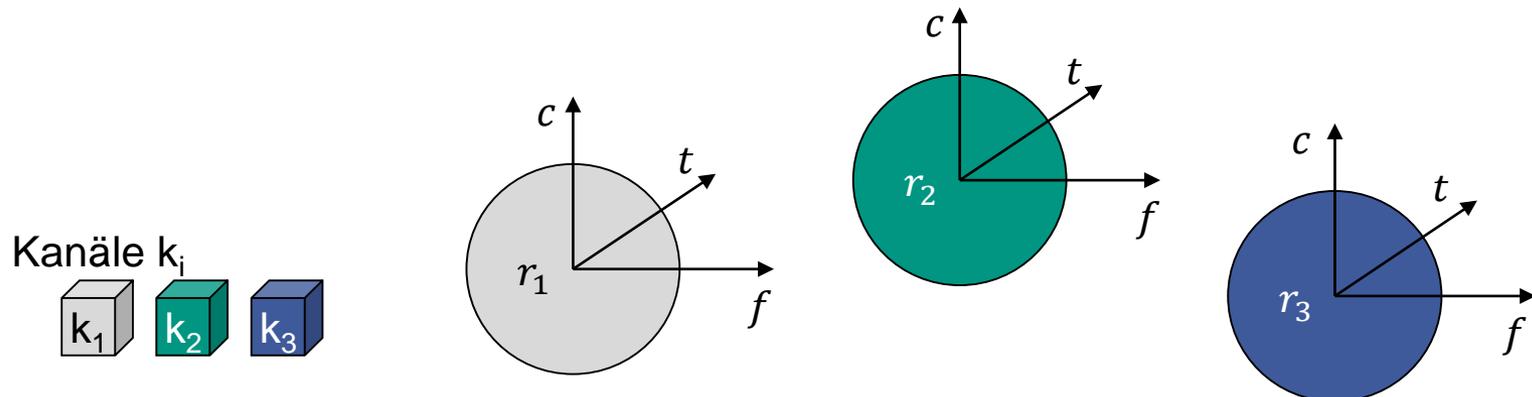


■ Multiplexverfahren erforderlich

- Multiplexen ist in mehreren Dimensionen möglich
 - Raum (r), Zeit (t), Frequenz (f), Code (c)
 - Wichtig: Schutzabstände erforderlich

Raummultiplex

- Einteilung des Raums in Sektoren, gerichtete Antennen
 - Space Division Multiple Access (SDMA)
- „Kupfermultiplex“
 - Zuordnung dedizierter Leitungen
- Vgl. Zellenstruktur von Mobilfunknetzen



Frequenzmultiplex

- Gesamte verfügbare Bandbreite wird in einzelne Frequenzabschnitte aufgeteilt
- Übertragungskanal belegt Frequenzabschnitt über gesamten Zeitraum
 - Frequency Division Multiple Access (FDMA)

■ Vorteile

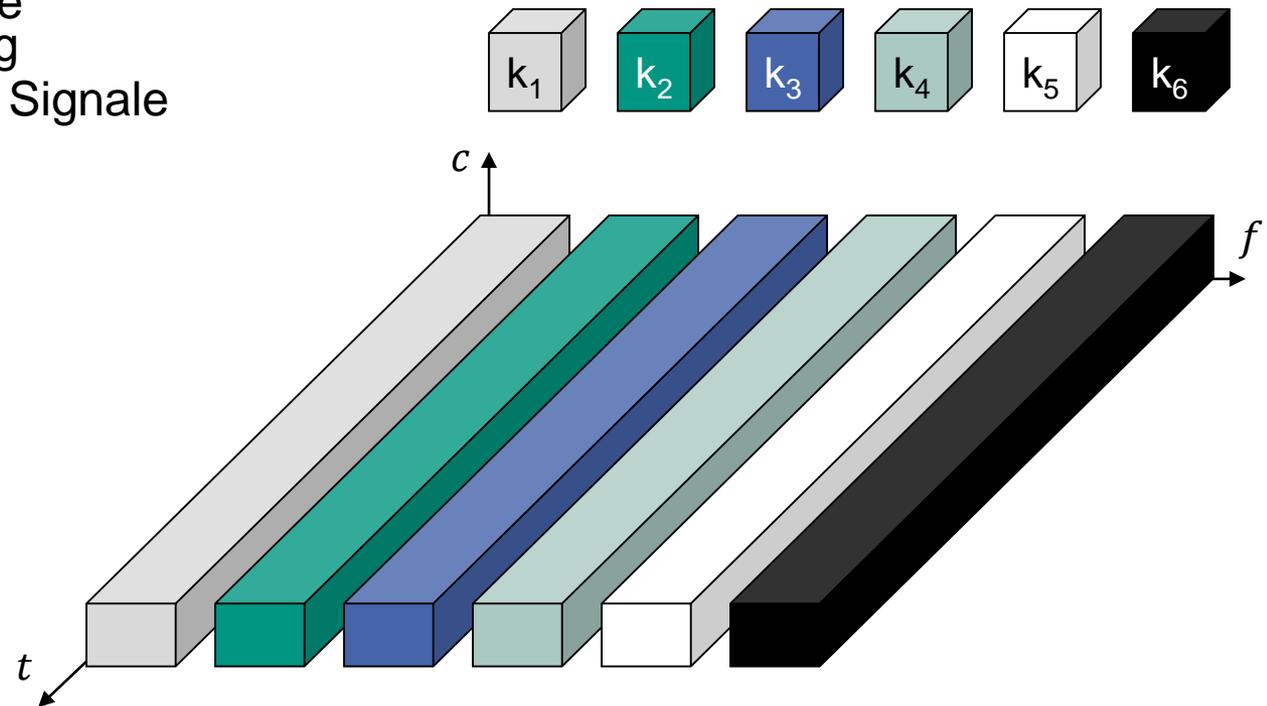
- Keine dynamische Koordination nötig
- Auch für analoge Signale

■ Nachteile

- Bandbreitenverschwendung bei ungleichmäßiger Belastung
- Unflexibel

■ Einsatzbeispiel

- DSL

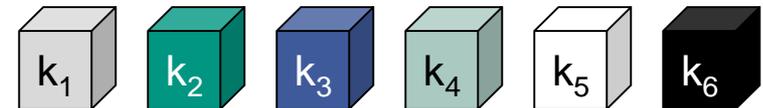


Zeitmultiplex

- Kanal belegt gesamten Frequenzraum für einen gewissen Zeitabschnitt
 - Time Division Multiple Access (TDMA)

■ Vorteile

- In einem Zeitabschnitt nur ein Träger auf dem Medium
- Durchsatz bleibt auch bei großer Teilnehmerzahl hoch

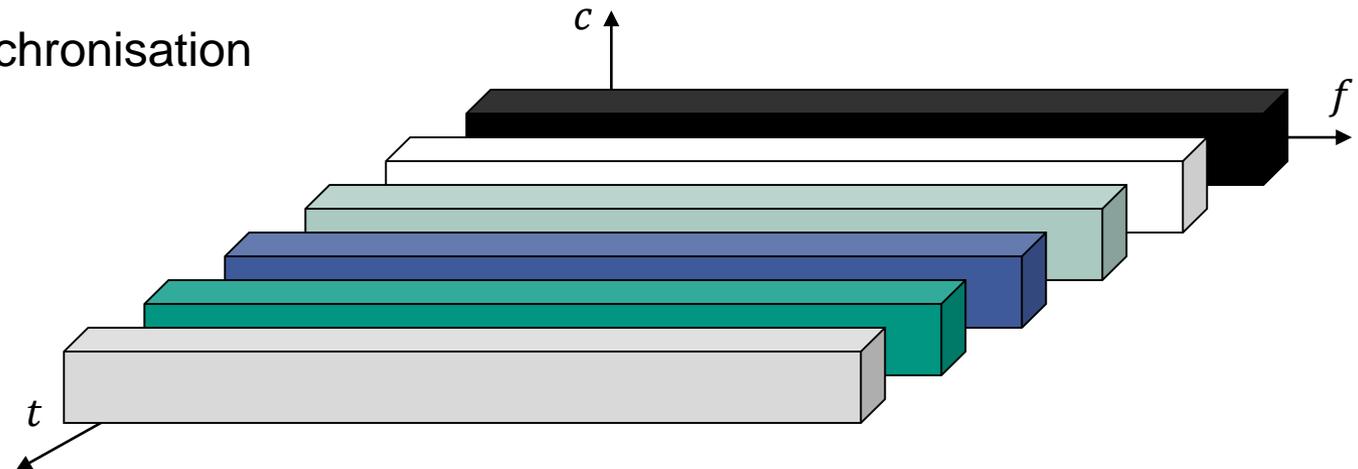


■ Nachteile

- Genaue Synchronisation nötig

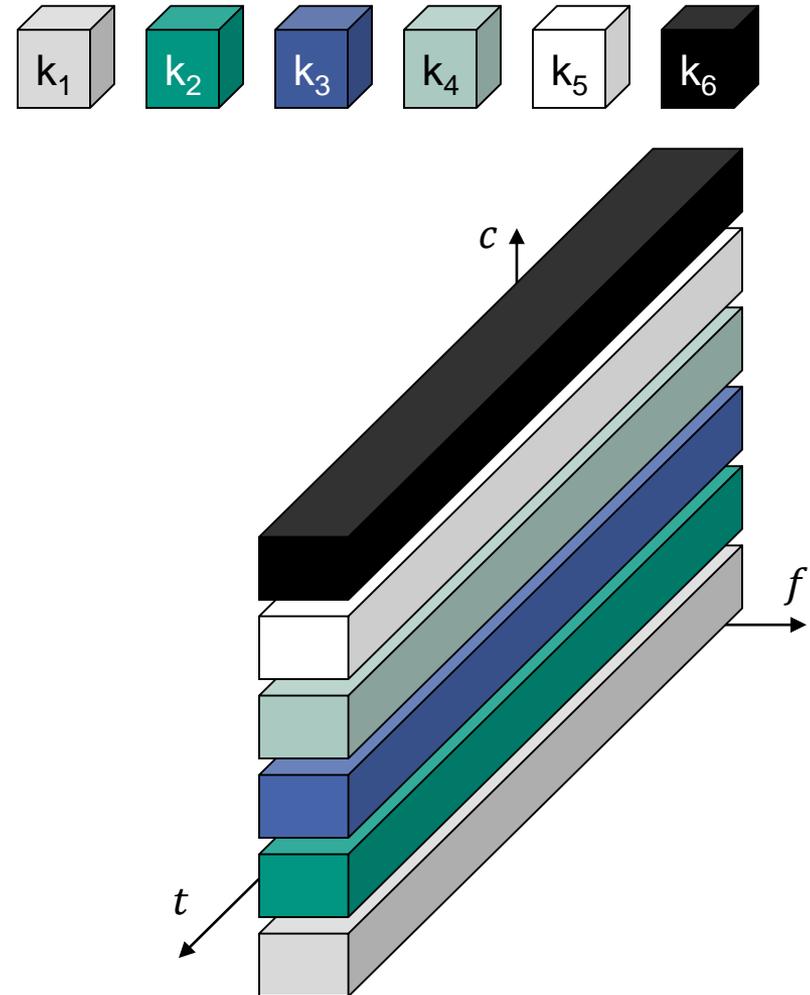
■ Einsatzbeispiel

- Ethernet
- WLAN



Codemultiplex

- Vorgehensweise
 - Alle Stationen operieren zur gleichen Zeit auf derselben Frequenz
 - Signal wird vom Sender mit einer für ihn eindeutigen Pseudozufallszahl verknüpft
 - Empfänger kann mittels bekannter Sender-Pseudozufallsfolge und Korrelationsfunktion das Originalsignal restaurieren
- Nachteil
 - Höhere Komplexität wegen Signalregenerierung
 - Alle Signale müssen beim Empfänger gleich stark ankommen
- Vorteile
 - Keine Frequenzplanung erforderlich
 - Sehr großer Coderaum (z.B. 2^{32}) im Vergleich zum Frequenzraum
 - Vorwärtskorrektur und Verschlüsselung leicht integrierbar
- Einsatzbeispiel
 - UMTS

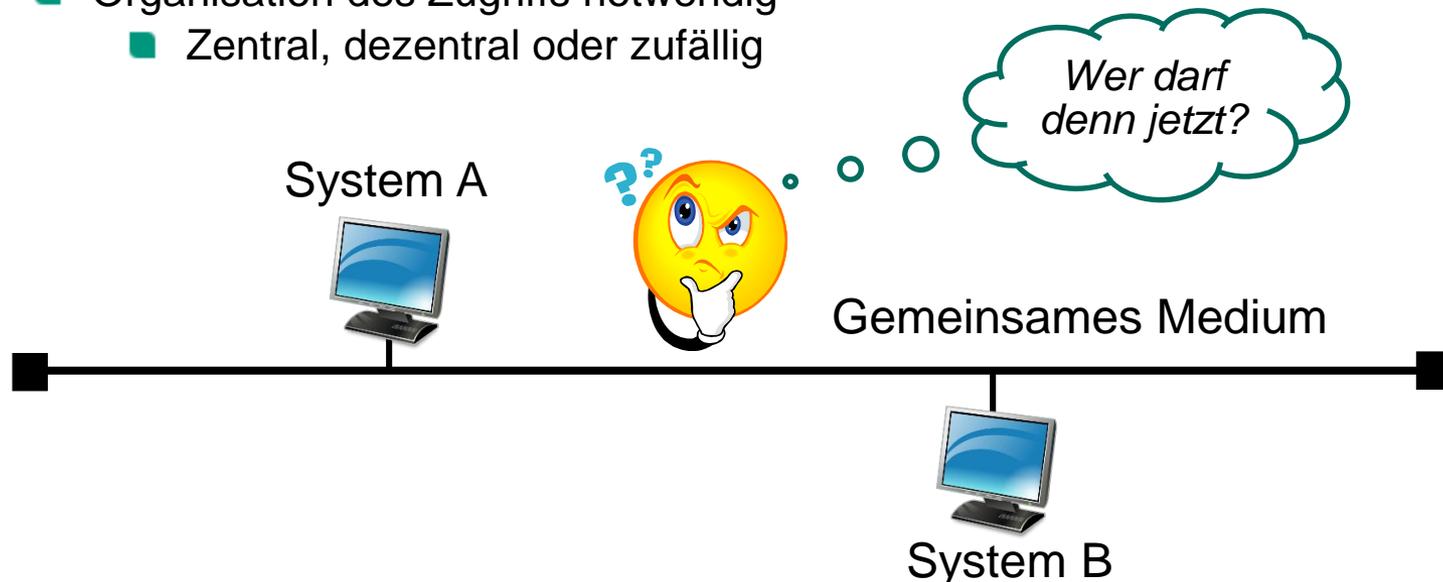


Im folgenden arbeiten wir mit **Zeitmultiplex**

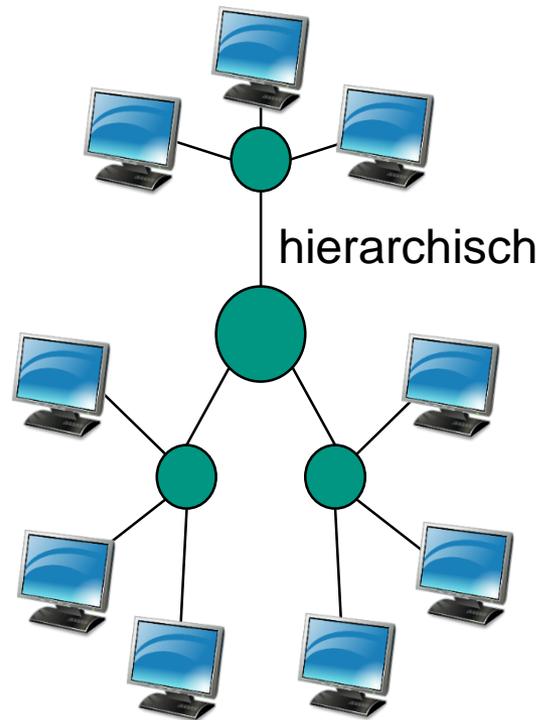
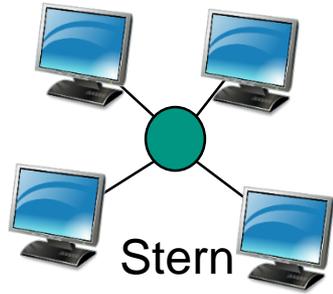
Kapitel 5.4

MEDIENZUGRIFFSVERFAHREN

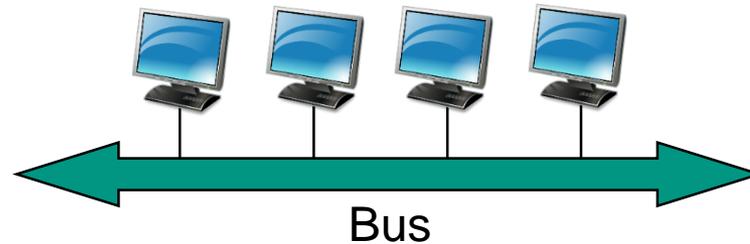
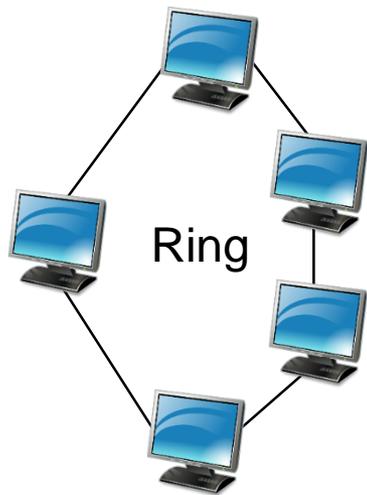
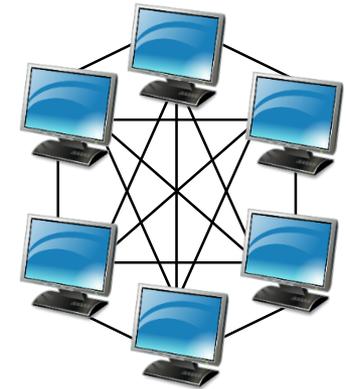
- Unterschiedliche Medien
 - Kabel (Koax, Kupfer, Glasfaser)
 - „Äther“ (drahtlose Netze, Satellitenkommunikation)
- Varianten
 - Feste Zuteilung des Mediums
 - Feste Zeitslitze, Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (vollduplex)
 - Konkurrierende Nutzung des Mediums
 - Organisation des Zugriffs notwendig
 - Zentral, dezentral oder zufällig



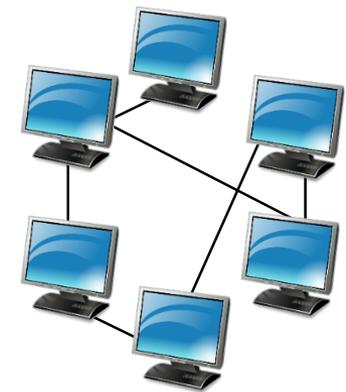
Netztopologien



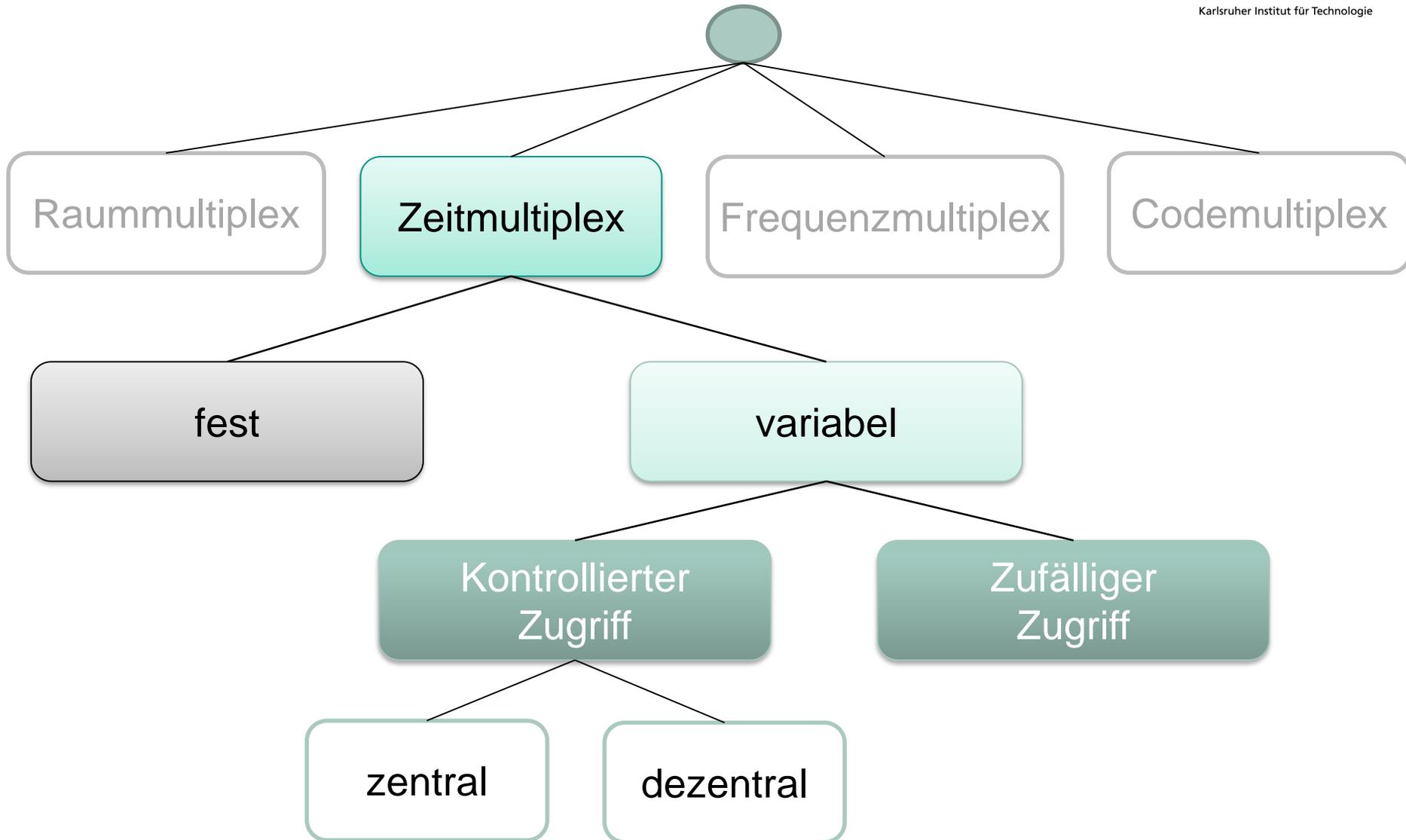
vollvermascht



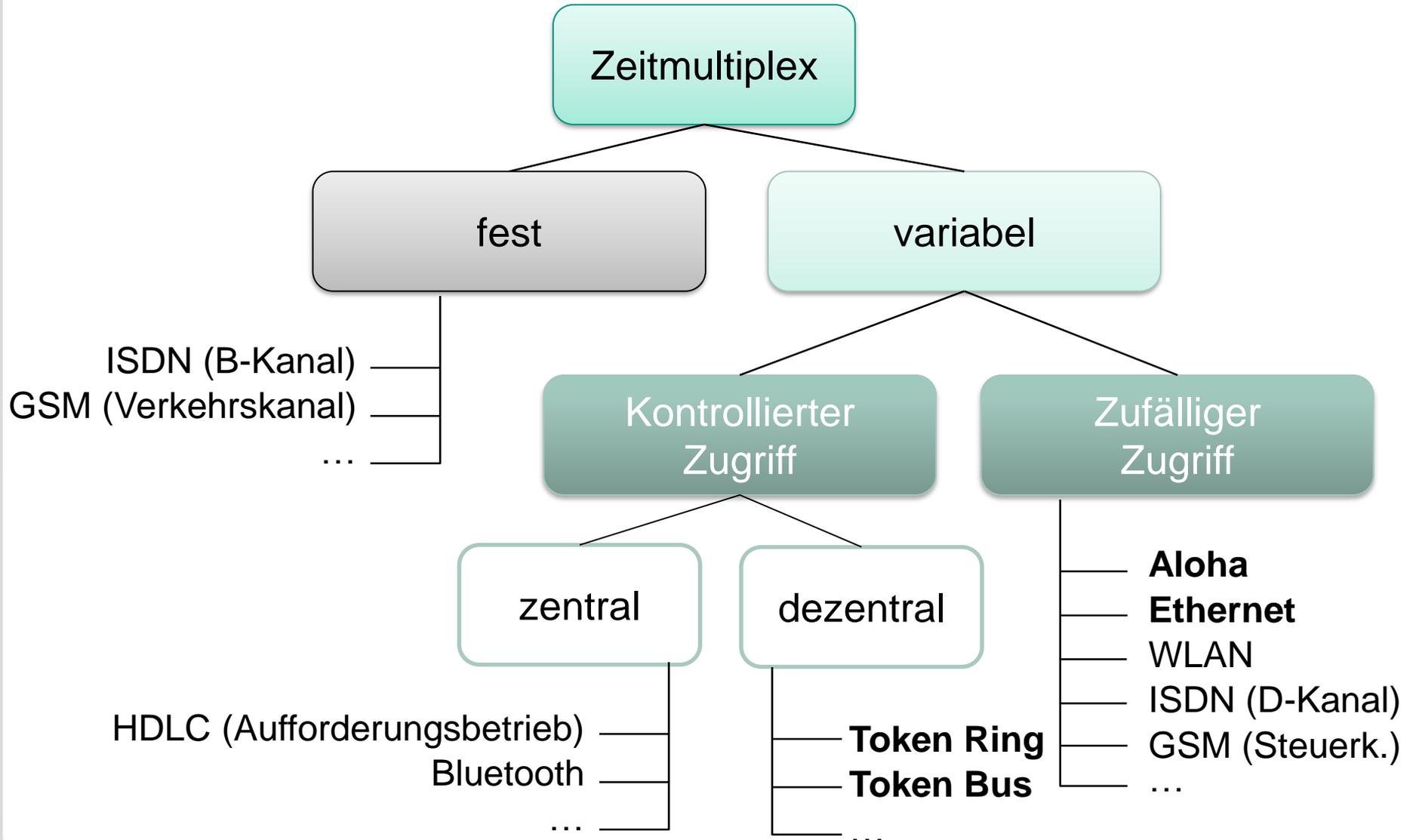
teilvermascht



Medienzuteilung - Kategorien



Medienzuteilung - Beispielnetze



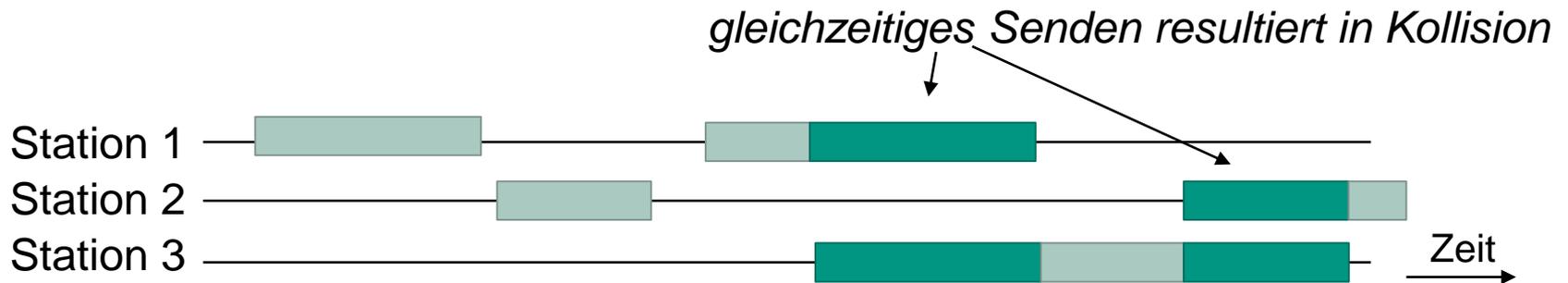
Kapitel 5.3.1 Zufällige Verfahren

■ Ursprünge

- ALOHAnet der Universität Hawaii: Drahtlose Verbindung der Rechner auf verschiedenen Inseln

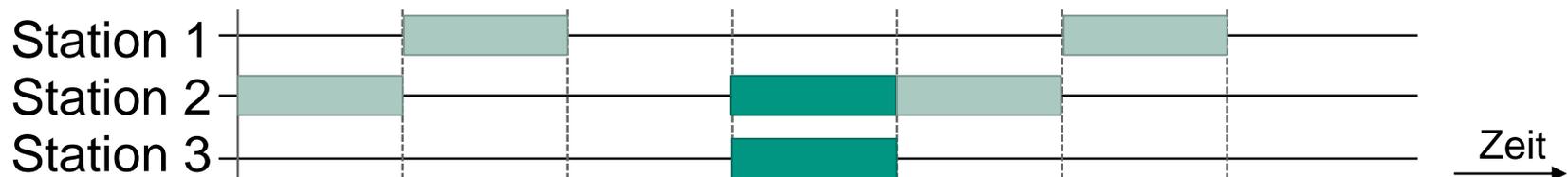
■ Verwendetes Verfahren: Aloha

- Verwendbar bei zufälligen, unabhängigen und seltenen Sendewünschen



■ Verbesserte Variante: Slotted-Aloha

- Erfordert Synchronisation der Knoten



Zufälliger Zugriff: CSMA

■ CSMA: Carrier Sense Multiple Access

■ Listen before Talk

- System prüft vor Senden, ob Medium frei ist

■ Medium belegt

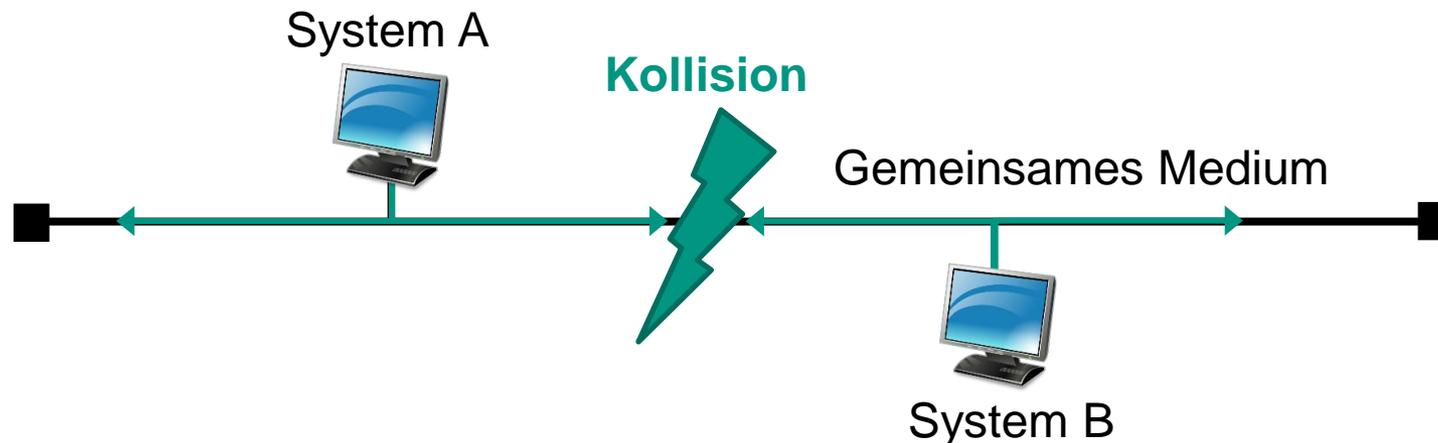
- senden nicht erlaubt, später erneut versuchen

■ Medium frei

- Senden, aber

- Mehrere Systeme können quasi gleichzeitig zu senden beginnen → Kollisionen

Analogie: Andere nicht unterbrechen während sie sprechen.



Zufälliger Zugriff: CSMA/CD

- CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
 - Listen while Talk
 - Kollisionserkennung durch Abhören während des Sendens
 - Im Kollisionsfall
 - Abbruch des Sendens
 - Sendung später erneut versuchen
 - Genaue Regelung von jeweiligem Netz abhängig

■ Umsetzung bei Ethernet

■ Bei Kollisionserkennung

- Abbruch des Sendevorgangs
- Senden von **Jamming-Signal**
- Wiederholtes Sendes regelt **Backoff-Algorithmus** (→ Vorlesung Telematik)

■ Voraussetzungen für Kollisionserkennung

- Senden der Rahmen darf nach Signallaufzeit durch Medium und zurück noch nicht beendet sein
- Mindestlänge der Rahmen erforderlich
 - Abhängig von maximaler Ausdehnung des Netzes und Ausbreitungsgeschwindigkeit
- Bei zu kleinem Rahmen: Auffüllen auf Mindestlänge durch (inhaltslose) Stopfbits (**Padding**)



<http://pingo.upb.de/>



Beispielablauf

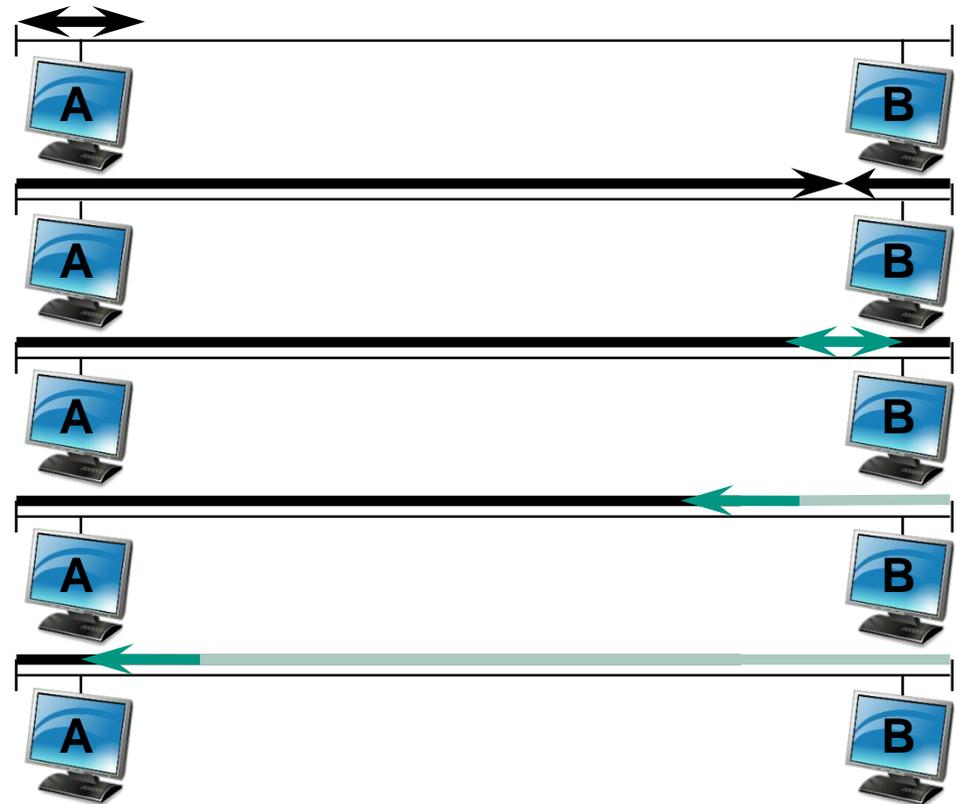
A beginnt Übertragung (t_0)

B beginnt Übertragung ($t_0 + t_a - e$)
(bevor Signal von A eintrifft)

B entdeckt Kollision, stoppt
eigene Übertragung ($t_0 + t_a$)

B schickt Jamming-Signal, B führt
Backoff-Algorithmus aus

A entdeckt Kollision ($t_0 + 2t_a - e$)
A führt Backoff-Algorithmus aus



t_a Signallaufzeit von A nach B (*Ausbreitungsverzögerung*)

$2t_a$ Signallaufzeit von A nach B und zurück (*Zweifache Ausbreitungsverzögerung*)

e Zeitabschnitt zwischen Übertragungsbeginn von B und Kollisionserkennung durch B

Kapitel 5.3.2 Kollisionsfreie Verfahren

Kollisionsfreier Zugriff

- Kontrolle durch zentralen Knoten (**Polling**)
 - Sequentielle Zuweisung des Senderechts
 - Nachteil: koordinierender Knoten notwendig, kann ausfallen
 - Beispiel: Bluetooth

- Verfahren ohne zentrale Kontrolle
 - Weitergabe des Senderechts von Knoten zu Knoten (**Token Passing**)
 - Nachteil: Knoten können ausfallen / Zugriff blockieren
 - Beispiel: Token Ring

Kollisionsfreier Zugriff: Token Ring

■ Token Ring

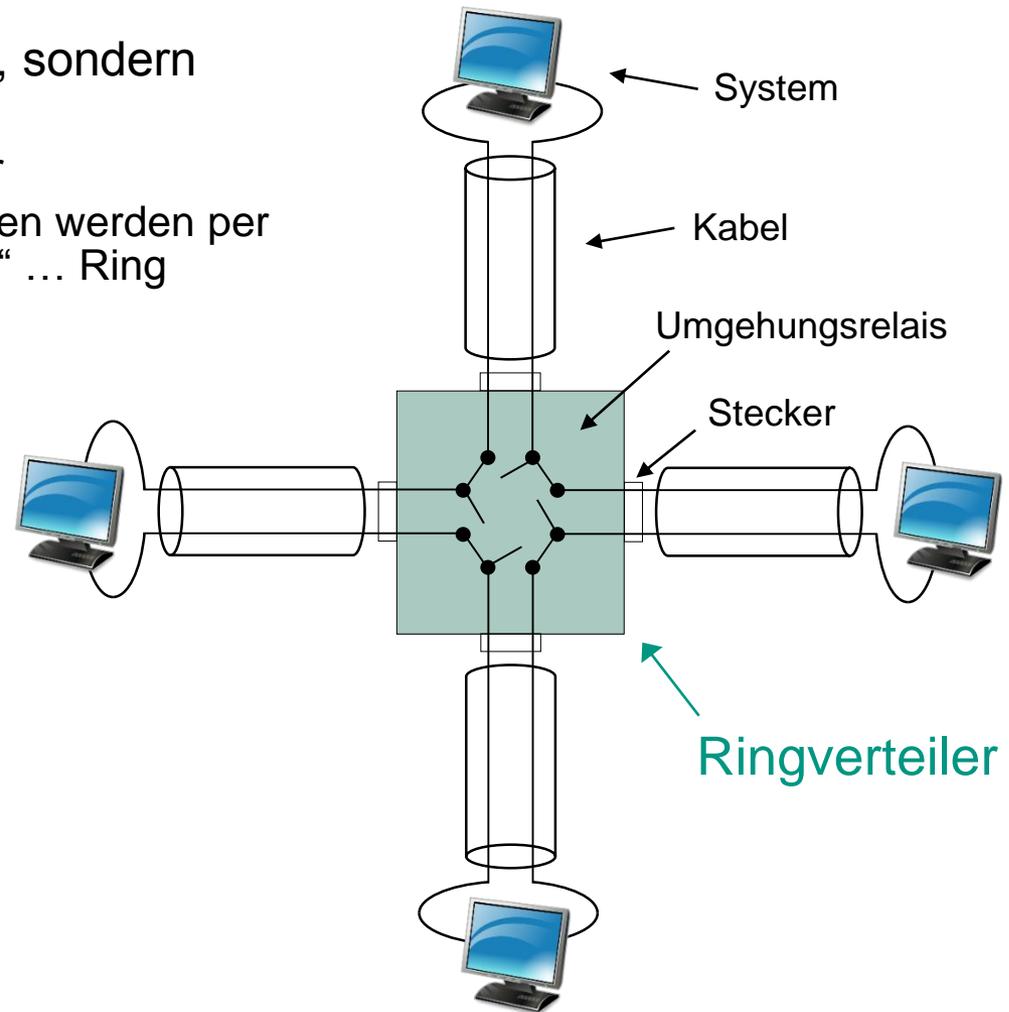
- Systeme sind physikalisch **Punkt-zu-Punkt** zu **Ring** verbunden
- Jedes System hat Vorgänger und Nachfolger
- Unidirektionaler Betrieb von System zu System
- Zuteilung des **Senderechts** durch zirkulierende spezielle Steuerdateneinheit, so genanntes **Token**
 - System, das das Token empfängt, hat Recht, Daten zu verschicken
- Daten kommen aufgrund Ringstruktur wieder bei sendendem System an, das diese wieder vom Ring nimmt
- Danach Weitergabe Senderecht an nachfolgendes System

→ Umfangreiches Token-Management nötig

... Token könne verloren gehen, „sich multiplizieren“ ...

Schema eines Ringverteilers

- Realisierung Token Ring
 - meist nicht durch Ring, sondern
 - Stern
 - Mittelpunkt: Ringverteiler
 - Ausfallende Stationen werden per Relais „abgefangen“ ... Ring bleibt geschlossen

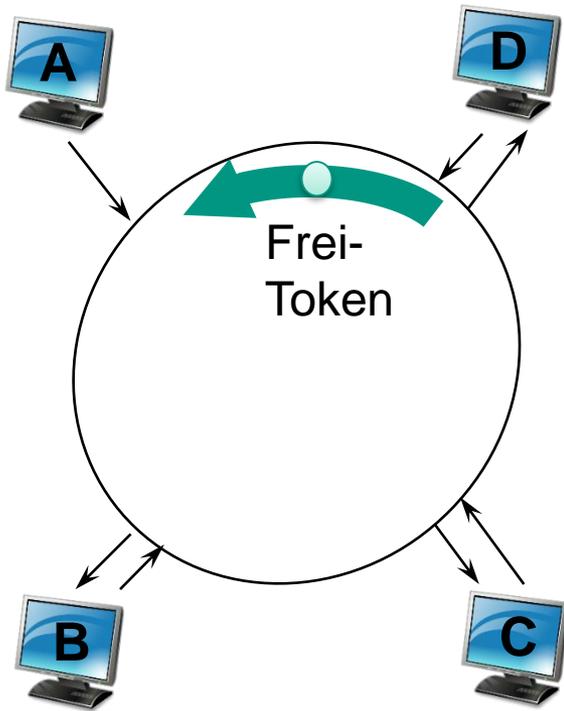


■ Protokollablauf

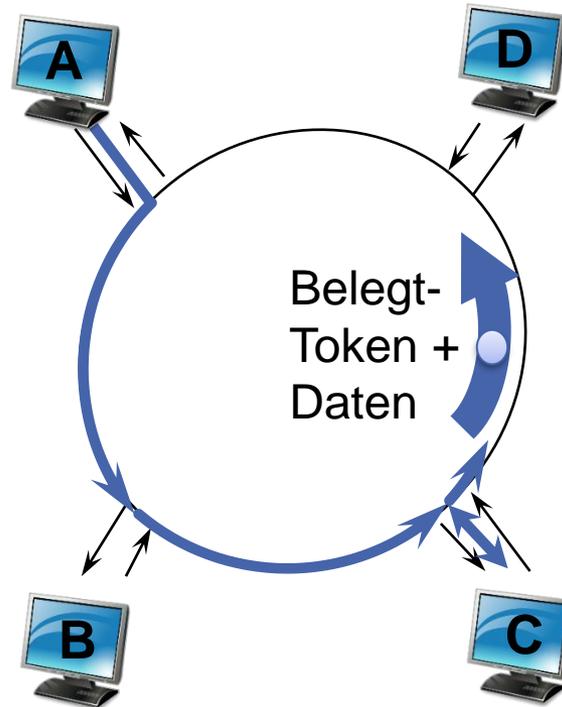
- Senden ist nur erlaubt, wenn Endsystem ein freies Token „besitzt“
- Maximale Sendezeit ist durch **Token Holding Time** (THT) begrenzt
 - Es können in dieser Zeit mehrere Rahmen gesendet werden
- Kontrollinformation kann per **piggybacking** zum Sender gesendet werden
 - Z.B. Quittungen
- **Prioritätsmechanismus** steht zur Verfügung
 - 8 Prioritäten

■ Monitor

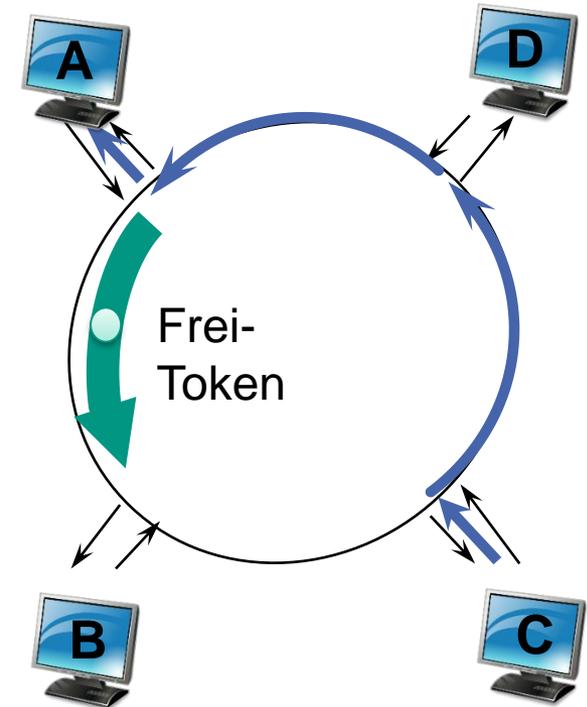
- Ausgewähltes Endsystem zur Überwachung der Funktionsfähigkeit des Rings
 - Z.B. Token-Verlust, Token-Verdopplung, Ringbruch
 - Jedes Endsystem kann diese Aufgabe übernehmen
- Generell: Fehlermanagement recht komplex



- Frei-Token kreist
- A hat Sendewunsch



- A hat Token belegt
- A sendet an C
- C kopiert und setzt Quittungsbits
- C leitet weiter



- A nimmt Daten vom Ring
 - Weshalb?
- Token wird von A auf frei gesetzt

<http://pingo.upb.de/>



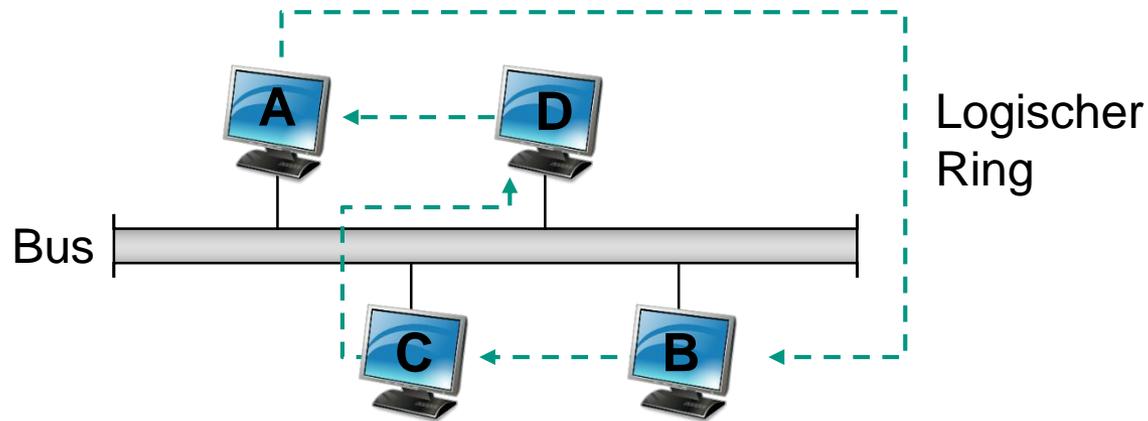
Eigenschaften des Token Ring

- Erlaubt strukturierte Verkabelung von Gebäuden
- Zuverlässigkeit
 - Fehlerhafte Endsysteme können isoliert und aus dem Ring ausgeschlossen werden
- Verteilte Token-Steuerung, d.h. dezentrale Zuteilungsstrategie
- Neue Generierung der Rechteckimpulse in jedem Endsystem
 - Dadurch wenig rauschempfindlich
 - Große Ringe mit vielen Endsystemen möglich

Token Bus

■ Token Bus

- Verbindet Vorteile von Ethernet und Token Ring
 - Einfache und **robuste Busverkabelung** wie bei Ethernet
 - Ausfall einer Station durchtrennt nicht den Bus
 - kein komplexer Ringverteiler
 - **Garantierte Antwortzeiten** durch zirkulierendes Senderecht (Token) wie bei Token Ring
 - Kann Ethernet nicht bieten
- Aufbau
 - Physikalische Verbindung aller Stationen durch Bus
 - Bildung eines **logischen Rings**



- Zirkulierendes Senderecht (Token) wie bei Token Ring
 - Übertragung zwischen den einzelnen Teilnehmern über den Bus
 - Broadcast-Medium (im Gegensatz zum Token Ring)

- Im logischen Ring sind Vorgänger und Nachfolger frei festgelegt
 - Token muss eindeutige Adressen umfassen
 - Nur die Nachfolgestation darf Token entgegennehmen
 - Falls Daten zu senden sind, kann dies bis zum definierten Maximum (*Token Hold Timer*) geschehen
 - Falls nichts zu senden ist, wird neues Token für eigene Nachfolgestation erzeugt
 - Danach wird auf dem Bus auf Aktivität der Nachfolgestation gelauscht, um korrekte Token-Weitergabe sicherzustellen

Kapitel 5.5

LOKALE NETZE

Kapitel 5.5.1 Adressen

MAC-Adressen

■ Adressen der Sicherungsschicht

- Vermittlungsschicht: IP-Adressen
- Transportschicht: Ports
- *Theoretisch* weltweit eindeutig
 - 24 bit durch IEEE an Hersteller zugewiesen
 - 24 bit durch Hersteller durchnummeriert
 - Situation heute: Adresse oft konfigurierbar
- Flache Adressierung

■ Funktion

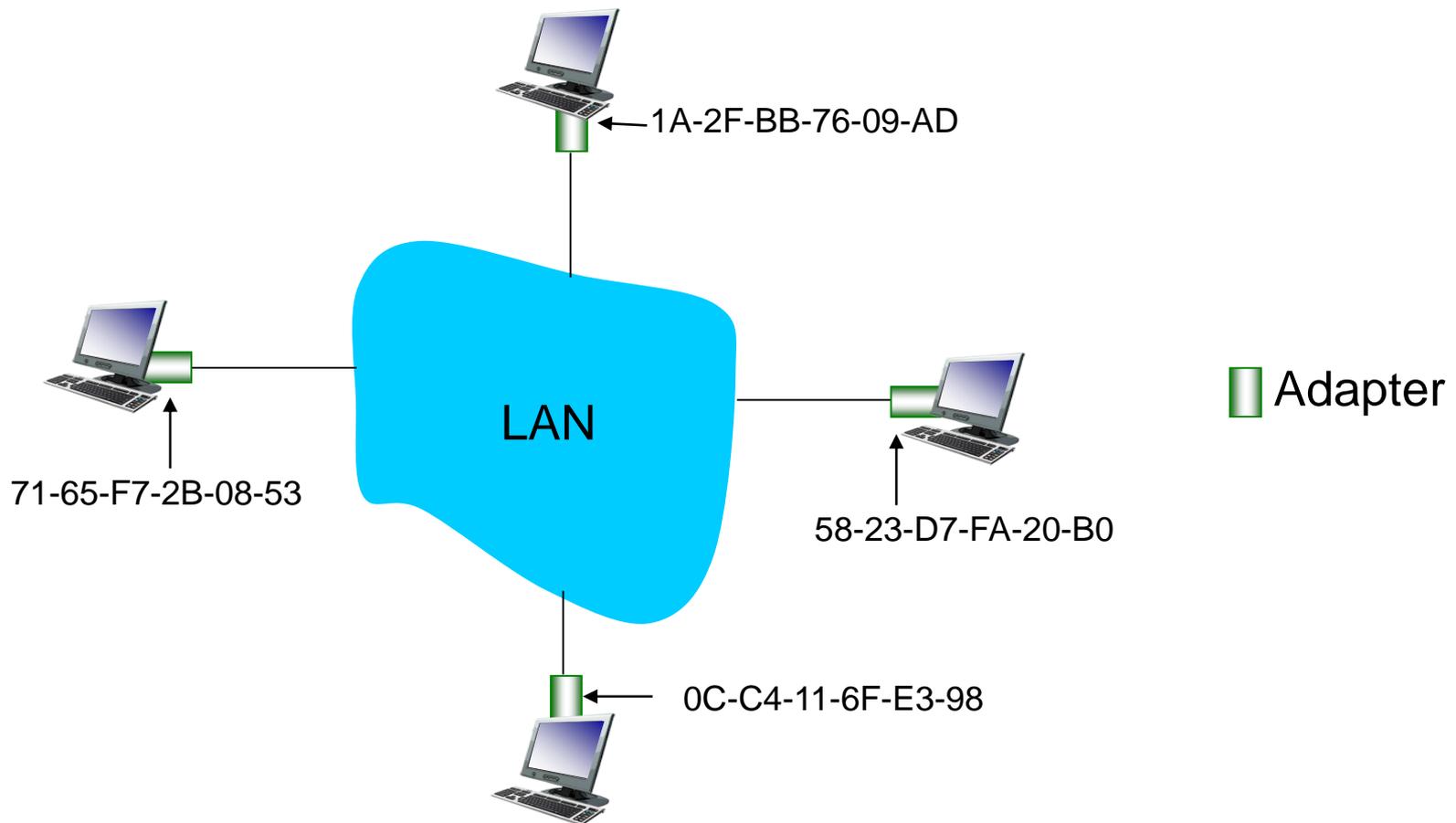
- Lokal genutzt, um Rahmen von einem Interface zu einem benachbarten (physikalisch verbundenem) Interface zu übertragen

■ Format

- 48 Bit
- Stehen im NIC ROM oder können per Software gesetzt werden
- Darstellung meist hexadezimal: 24-5F-EA-76-CC-48
 - Jede „Nummer“ repräsentiert 4 Bit
- Broadcast MAC-Adresse: FF-FF-FF-FF-FF-FF

MAC-Adressen

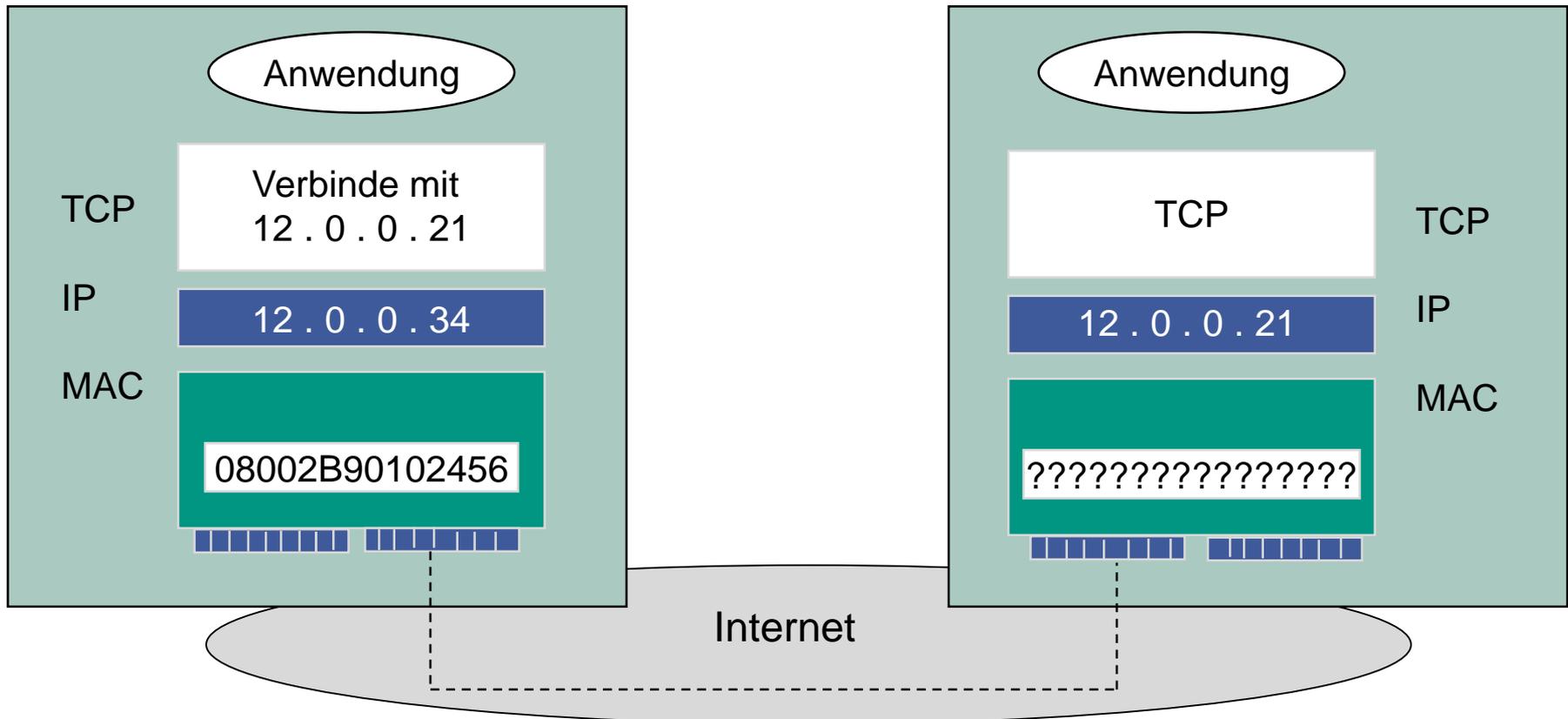
- Jeder Netzadapter muss in einem lokalen Netz eine eindeutige MAC-Adresse besitzen



Kapitel 5.5.2 ARP – Address Resolution Protocol

Zuordnung von IP- und MAC-Adressen

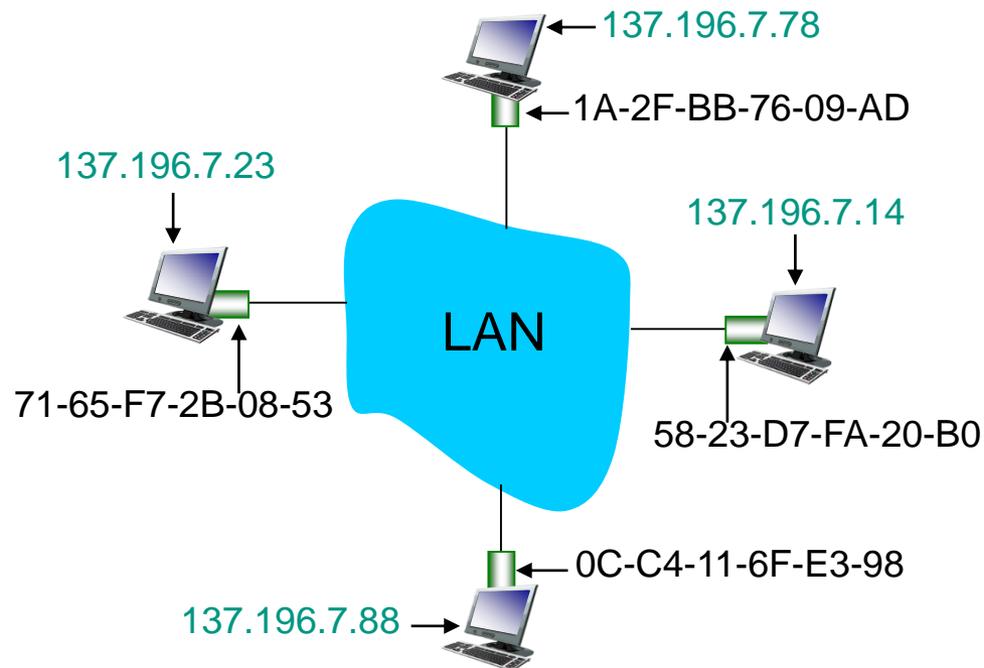
- Wenn (Ziel-IP-Adresse AND Subnetzmaske) gleich (Eigene IP-Adresse AND Subnetzmaske)
 - Zielsystem ist im gleichen IP-Subnetz
- Welche MAC-Adresse hat das nächste System?



ARP: Address Resolution Protocol

■ Aufgabe

- Ermittelt MAC-Adresse die zu einer bekannten IP-Adresse gehört



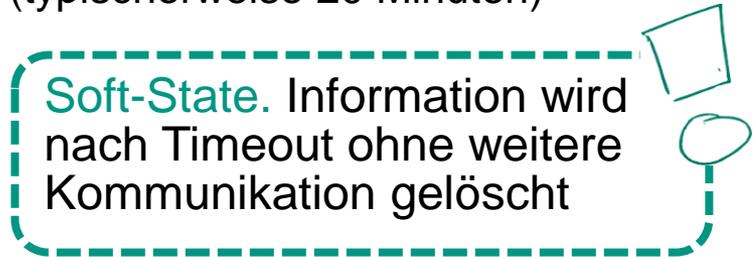
Adressauflösung mit ARP

- Dynamisches Lernen von Adresszuordnungen
 - Kleine Tabellen (**ARP-Cache** bzw. ARP-Table) in jedem System
 - Eintrag <IP-Adresse; MAC-Adresse; Max. Lebenszeit>
 - Einträge werden bei Bedarf gelernt



Plug-and-Play. Kein Netzadministrator erforderlich.

- Maximale Lebensdauer der Einträge (typischerweise 20 Minuten)



Soft-State. Information wird nach Timeout ohne weitere Kommunikation gelöscht

- Nutzt Broadcasting-Fähigkeit lokaler Netze

Adressauflösung mit ARP - 1

- *Szenario 1: A sendet Datagramm an B im gleichen Subnetz*
 - Falls Eintrag im lokalen ARP-Cache von A vorhanden ist
 - Paket an die dort enthaltene MAC-Adresse weiterleiten
 - Timeout neu setzen
 - Falls **kein** Eintrag im lokalen ARP-Cache von A vorhanden ist
 - Broadcast eines **ARP-Request** (enthält IP-Adresse von B)
 - Ziel-MAC-Adresse: FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Jeder Knoten liest ARP-Request und überprüft IP-Adresse
 - Falls eigene IP-Adresse, dann **ARP-Reply**
 - Reply an MAC-Adresse von A, enthält MAC-Adresse von B
 - Suchende Instanz (also A) trägt Information in ihren ARP-Cache ein
 - Wird nach Timeout gelöscht
 - Optional: Andere Endsysteme merken sich ebenfalls Adresszuordnung der suchenden Instanz aus der Anfrage

ARP-Paketformat

■ Kopf des ARP-Pakets

Netzwerk-Typ		Protokoll-Typ
HLEN	PLEN	Betriebs-Code
MAC-Adresse des Senders		
MAC-Adresse des Senders		IP-Adresse des Senders
IP-Adresse des Senders		MAC-Adresse des Empfängers
MAC-Adresse des Empfängers		
IP-Adresse des Empfängers		

← 32 Bit →

Netzwerk-Typ:

1 = Ethernet;

6 = IEEE 802.2

Protokoll-Typ:

2048 = IP

HLEN:

2 = 16-Bit MAC-Adresse

6 = 48-Bit MAC-Adresse

PLEN:

4 = 32-Bit IP-Adresse

Betriebs-Code:

1 = Request;

2 = Reply

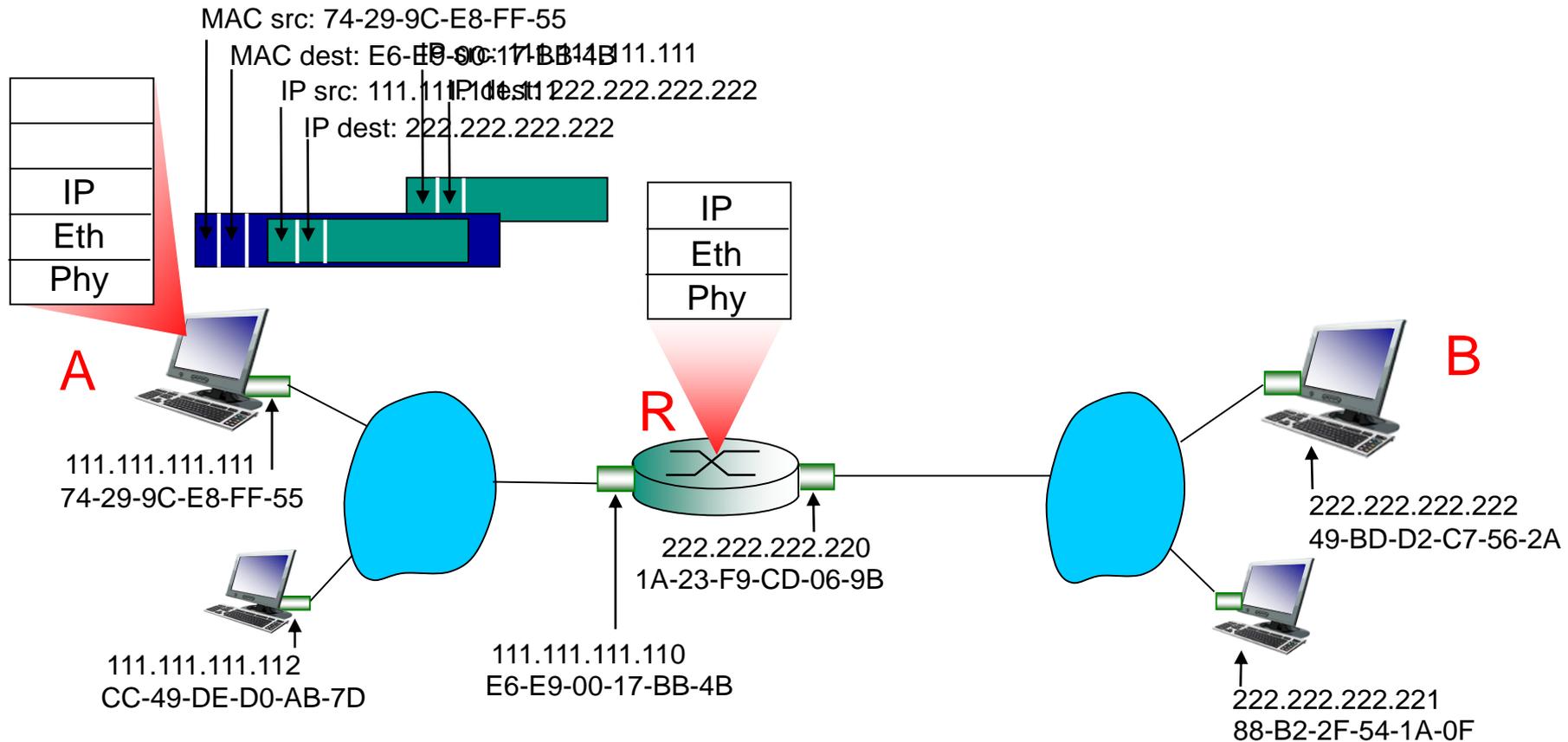
HLEN: Header Address Length

PLEN: Protocol Address Length

Adressauflösung mit ARP

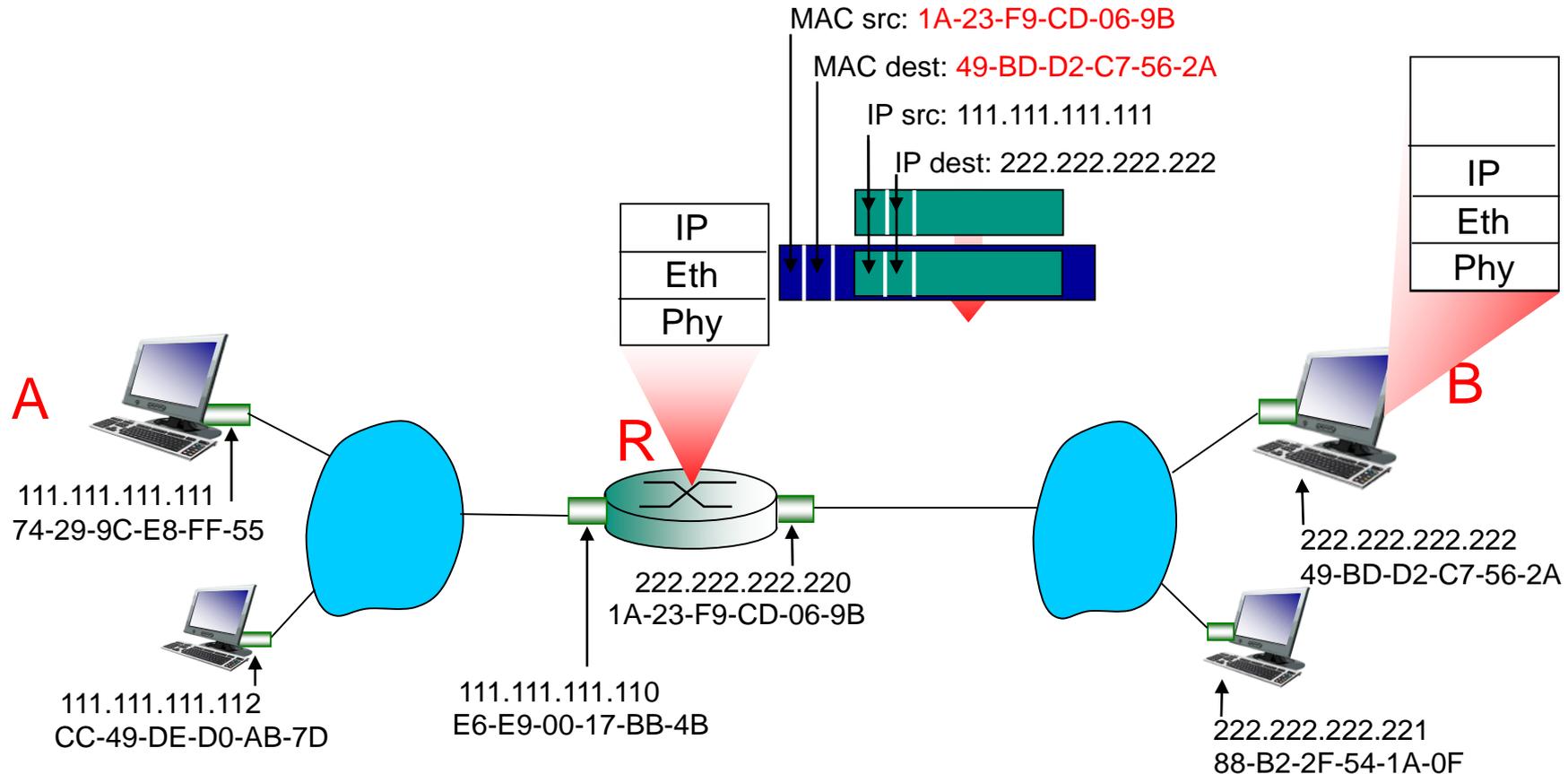
■ Szenario 2: A sendet Datagramm an B in anderem Subnetz

- A sendet ARP-Request für den Router R wie gehabt
- A sendet Datagramm an IP-Adresse von B und MAC-Adresse von R



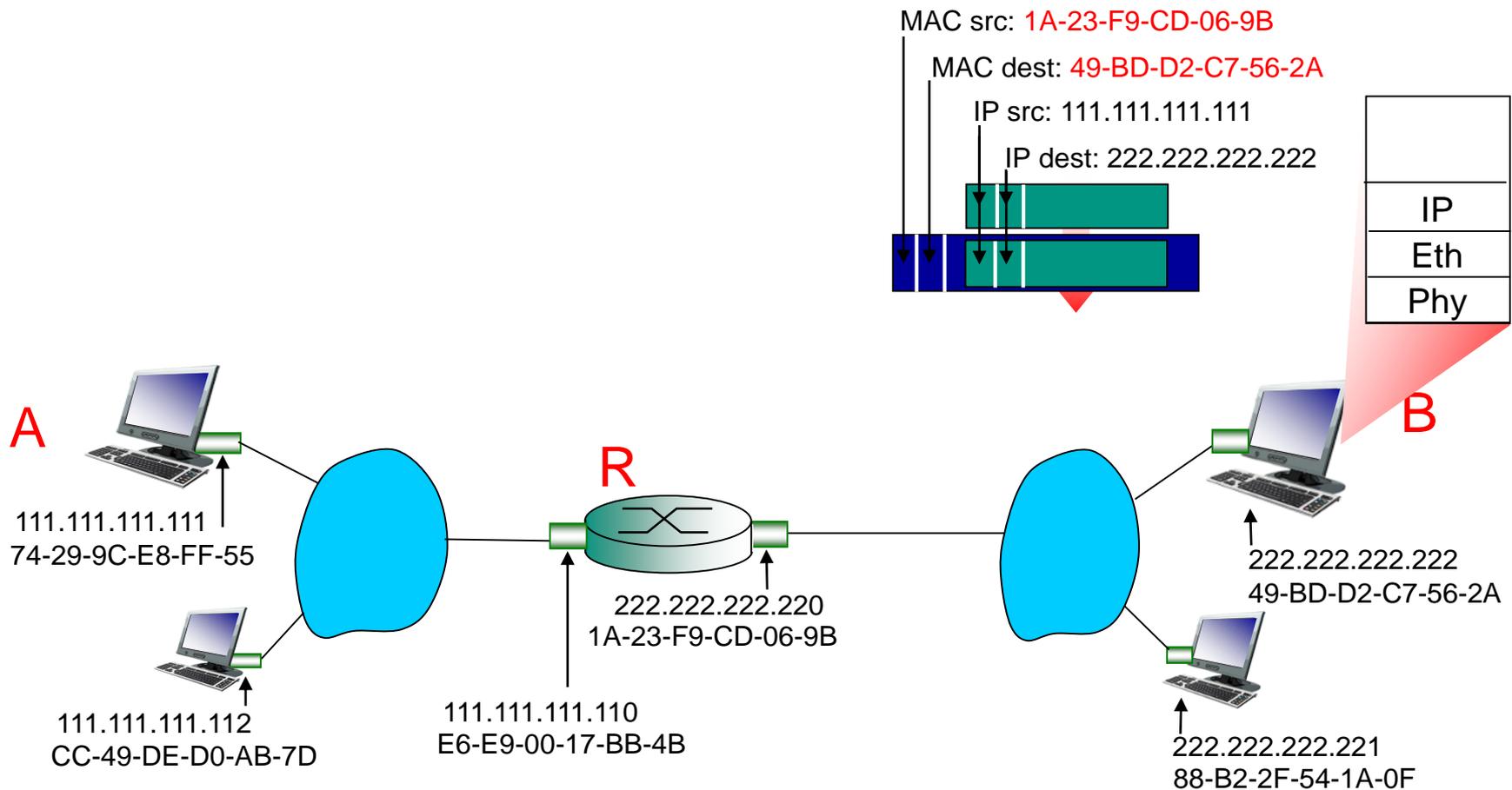
Adressauflösung mit ARP

- Der Router empfängt das Datagramm
 - Setzt Ziel- und Sender-MAC-Adresse auf Adressen von B und R
 - Leitet das Datagramm in anderem Subnetz weiter



Adressauflösung mit ARP

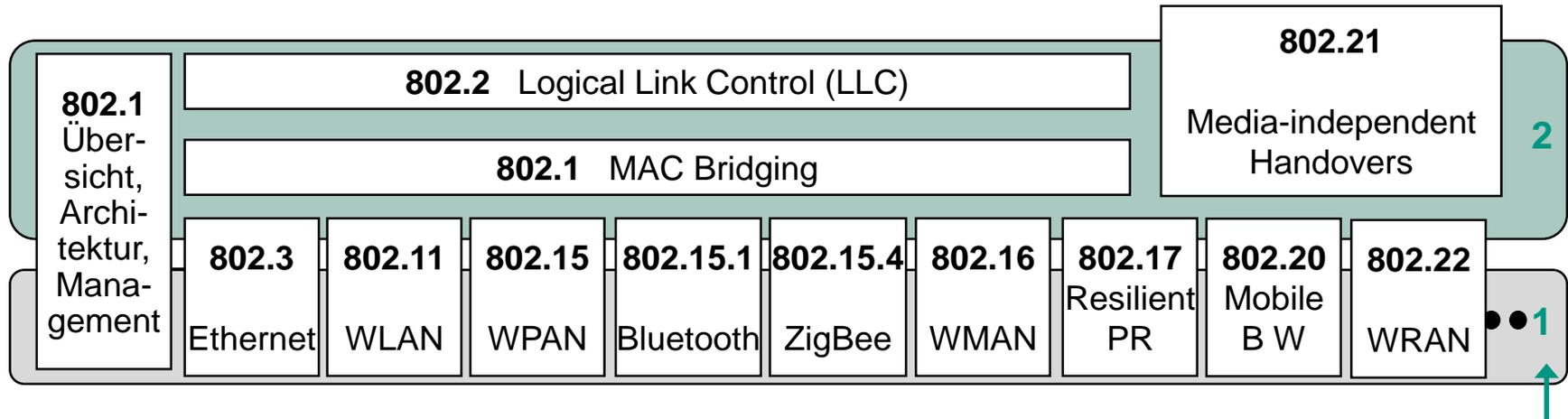
- Endsystem B empfängt das Datagramm



Kapitel 5.5.3 Ethernet

Überblick über IEEE-802-Standardisierung

■ LAN-Standardisierung nach IEEE 802



- 802.1: Zusammenhang der Standards und MAC Bridging
 - 802.2: Logical-Link-Control-Dienste/Protokolle (LLC)
 - 802.3: Ethernet
 - 802.11: Wireless LANs
 - 802.15: Wireless Personal Area Networks: Kurzdistanz-Netze, Bluetooth
 - 802.16: Broadband Wireless Access Metropolitan Area Networks (WiMAX)
 - 802.17: Resilient Packet Rings: Paketvermittlung über Glasfaser-Ringe
 - 802.20: Mobile Broadband Wireless Access: schnelle Mobilität (~250 km/h)
 - 802.21: Media Independent Handover Services: Übergänge zwischen Netzen
 - 802.22: Wireless Regional Area Networks
- ISO/OSI-Schicht

→ Weitere Informationen: <http://grouper.ieee.org/groups/802/>

■ Bob Metcalfe: der Vater des Ethernet

- Metcalfe besuchte nach seiner Promotion Abramson an der Universität von Hawaii und bekam einen guten Einblick in Alohanet. Hat bei Xerox dann zusammen mit David Boggs Ethernet erfunden.

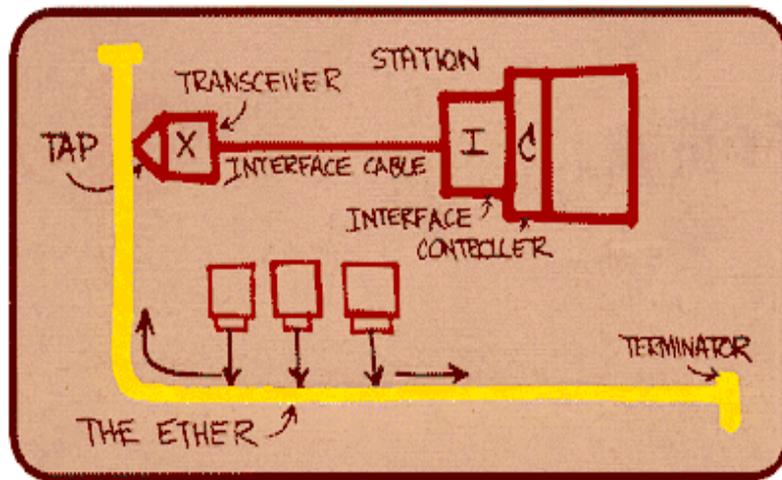
- Forscher bei Xerox nutzten vernetzte Computer
- Allianz von Xerox, Digital und Intel zur Entwicklung des Ethernet-Standards



■ Original-Konfiguration von Ethernet

- 2,94 Mbit/s, 256 Endsysteme, Entfernung von bis zu 1 Meile

■ Frühe Skizze zu Ethernet



“The diagram ... was drawn by Dr. Robert M. Metcalfe in 1976 to present Ethernet ... to the National Computer Conference in June of that year. On the drawing are the original terms for describing Ethernet. Since then other terms have come into usage among Ethernet enthusiasts.”
The Ethernet Sourcebook, ed. Robyn E. Shotwell (New York: North-Holland, 1985),



[MeBo76]

■ Standardisiert als IEEE 802.3

■ Medienzuteilung

- Zeitmultiplex, variabel, zufälliger Zugriff
- Verwendung von CSMA/CD
 - Kollisionserkennung durch Mithören
 - Exponentieller Backoff
 - 1-persistent

■ Netztopologie

- Ursprünglich: Bustopologie, heute: Sterntopologie

■ Verschiedene Datenraten

- Zunächst: 10 Mbit/s

■ Drahtgebunden, unterschiedliche Medien

- Zunächst: Koaxialkabel



Heute wichtigste
Technologie für
drahtgebundene lokale
Netze.

■ Standard umfasst

- Schicht 1 und
- Schicht 2a (MAC-Protokoll)

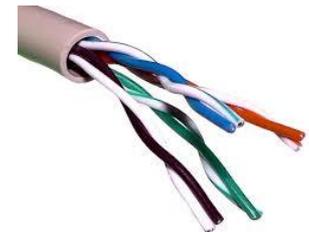
MAC: Media Access Control

Varianten von Ethernet

- Bezeichnung
 - <Datenrate><Baseband/Broadband><Medium>

- Beispiele
 - **10Base5** (initiale Variante)
 - Datenrate: 10 Mbit/s
 - Baseband
 - Topologie: Bus
 - „dickes Koax“ (10 mm Kabeldurchmesser)
 - **10Base2**
 - Datenrate: 10 Mbit/s
 - Baseband
 - Topologie: Bus
 - „dünnes Koax“ (5 mm Kabeldurchmesser)

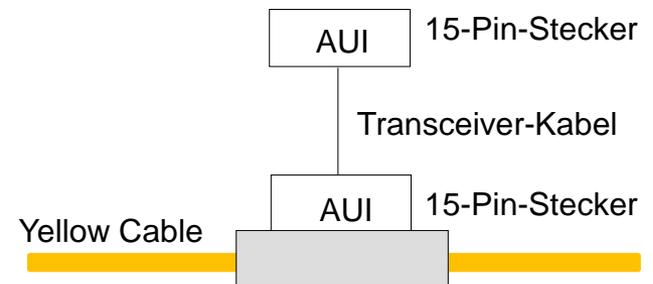
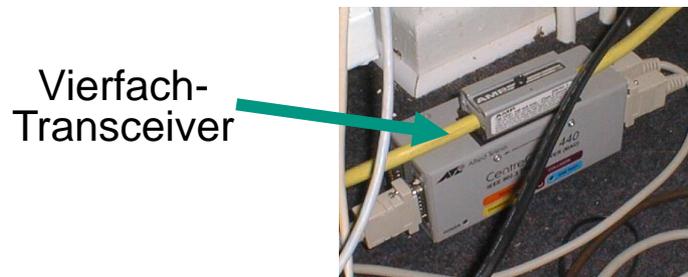
- Invariante
 - **Format** des Ethernet-Rahmens



Technische Realisierung: 10Base5

■ 10Base5, Thick Ethernet

- Fingerdickes, gelbes, 4-fach abgeschirmtes Koaxialkabel (Yellow Cable)
- 10Base5: 10 Mbit/s, Basisbandübertragung, 500 Meter-Segmente
- Segment-Kopplung über Repeater (max. 5 Segmente)
- Höchstens 100 Systeme pro Segment mit mindestens 2,5 m Abstand
- Anschluss der Systeme über Transceiver (Transmitter & Receiver), entspricht MAU (Medium Attachment Unit). Transceiver enthält Sende-/Empfangslogik, Kollisionserkennung, „Carrier Sensing“-Funktion. Transceiver-Kabel max. 50 m, 78 Ohm. Ein-, Zwei- oder Vierfach-Transceiver
- Bitfehlerrate $< 10^{-8}$
- Manchester Kodierung
- Lösung: robust, teuer, unflexibel

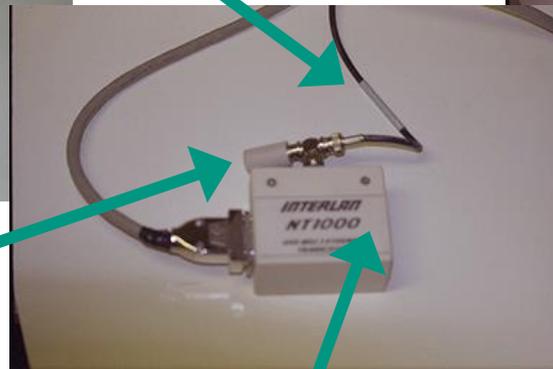
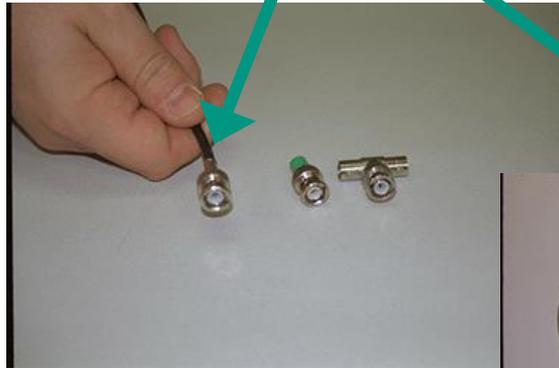


AUI: Attachment Unit Interface
(mediumunabhängige Schnittstelle)

MAU: Medium Attachment Unit

Technische Realisierung: 10Base2

- 10Base2, Thin Wire Ethernet, Cheapernet
 - 10Base2: 10 Mbit/s, Basisbandübertragung, 185 Meter-Segmente
 - 30 Systeme pro Segment im Abstand von mindestens 0,5 m
 - Transceiver meist direkt auf Ethernet-Adapter im Rechner (BNC-Buchse, T-Stück)
 - Koaxialkabel



Abschlusswiderstand zur Signalvernichtung

Transceiver

Varianten: Überblick

Ethernet

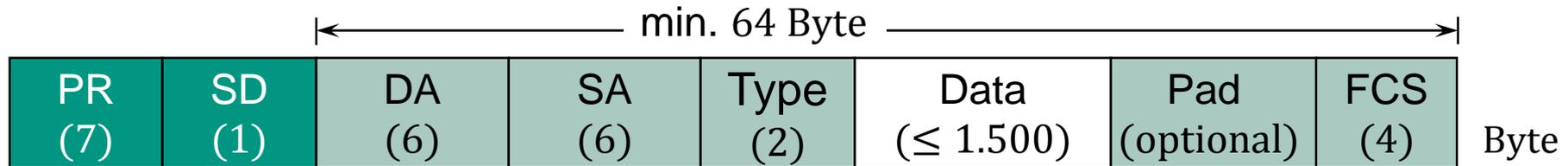
	10Base5	10Base2	10Base-T
Medium	Koaxialkabel		Twisted Pair
Kodierung	Manchester		
Topologie	Bus		Stern

Fast Ethernet

	100Base-T	100Base-T4	100Base-Tx	100Base-Fx
Medium	Twisted Pair			Glasfaser
Kodierung	Manchester	8B/6T NRZ	4b/5B NRZI & MLT-3	4B/5B NRZI
Topologie	Stern			

Gigabit Ethernet and beyond

	1000Base-SX	1000Base-T	10GBase-SR	10GBase-T
Medium	Glasfaser	Twisted Pair	Glasfaser	Twisted Pair
Kodierung	8B/10B NRZ	PAM-5 & Trellis	66B/68B	PAM-16 & DSQ128
Topologie	Stern			



- PR = Präambel zur Synchronisierung (1010101010...)
- SD = Start-of-frame Delimiter zeigt Beginn an (10101011)
- DA = Destination Address, Zieladresse
- SA = Source Address, Quelladresse
- Type/Length
 - Typ = darüber liegendes Protokoll
 - Length = Länge der Nutzdaten
- Data = Datenfeld
- PAD = Padding
- FCS = Frame Check Sequence

Zwischen aufeinanderfolgenden Rahmen liegt **Inter Frame Space (IFS)** – 96 Bit

Type vs. Length

■ Type

- Ursprüngliches Format
- Identifiziert Protokoll oberhalb von Ethernet
 - Z.B. IP, AppleTalk ...
- Keine Nutzung von LLC

■ Length

- Länge der Nutzdaten
 - PAD-Feld damit einfach identifizierbar
- Bei IEEE 802.3 verwendet
- Nutzung von LLC Identifikation des oberhalb genutzten Protokolls

■ In der Praxis: Koexistenz

- Werte von 0 ... 1500 repräsentieren Länge
 - Werte von 1536 ... 65535 repräsentieren Type
- ... IEEE 802.3 unterstützt heute beide Varianten*

<http://pingo.upb.de/>

Exponentieller Backoff

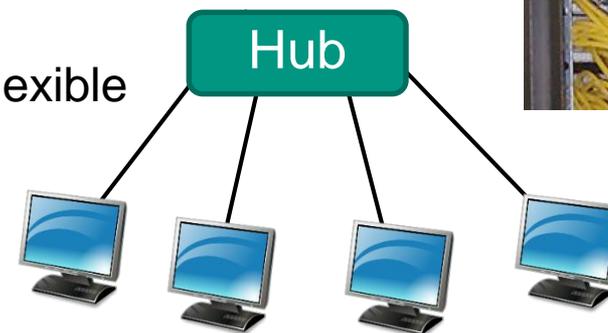
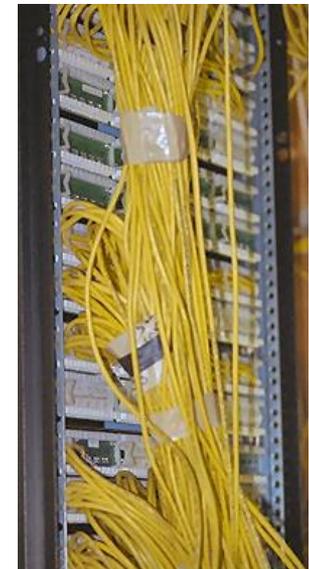
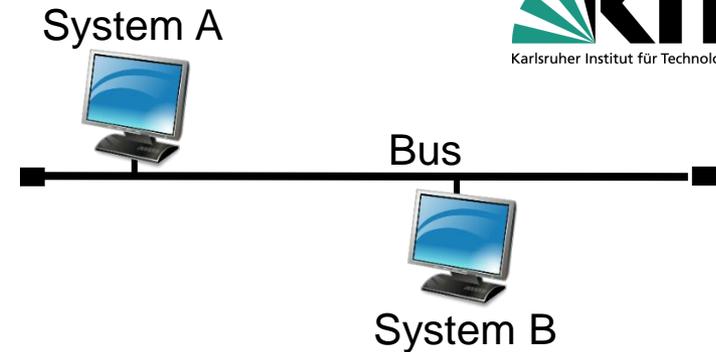
- Regelt Wartezeit bis zur nächsten Sendewiederholung
 - Station wählt **randomisiert** Anzahl zu wartender Zeitschlitzze nach folgendem Schema
 - 1. Kollision
 - Wartezeit: 0/1 Zeitschlitzze
 - 2. Kollision
 - Wartezeit: 0/1/2/3 Zeitschlitzze
 - ...
 - i . Kollision
 - Wartezeit: 0/1/.../ $2^i - 1$ Zeitschlitzze

i ist nach oben begrenzt auf 16, danach wird Systemfehler angenommen

- Erinnerung: wichtiger Parameter
 - Maximale Ausbreitungsverzögerung
- Zeitschlitz
 - Kanal wird logisch in Zeitschlitz fester Länge aufgeteilt
 - Dauer entspricht minimaler Länge eines Rahmens
 - Eventuelle Kollision kann vor Ende des Zeitschlitzes erkannt werden
- Bei 10Base5 Ethernet
 - Länge Zeitschlitz: 512 Bitzeiten = 51,2 μs = Länge minimale Rahmen
 - Parameter zur Netzkonfiguration
 - Maximale Segmentlänge: 500 m
 - Maximale Anzahl Repeater: 4
 - Damit maximale Gesamtlänge: 2,5 km
 - Maximale Ausbreitungsverzögerung im Medium: $t_{a,max} = \frac{2,5 \text{ km}}{\frac{2}{3} c} = 12,5 \mu\text{s}$
 - Maximale Umlaufzeit im Medium: 25 μs
 - Plus Verzögerung in Repeatern, Präambel, IFS ...: 51,2 μs erhöht

Ethernet im Wandel der Zeit

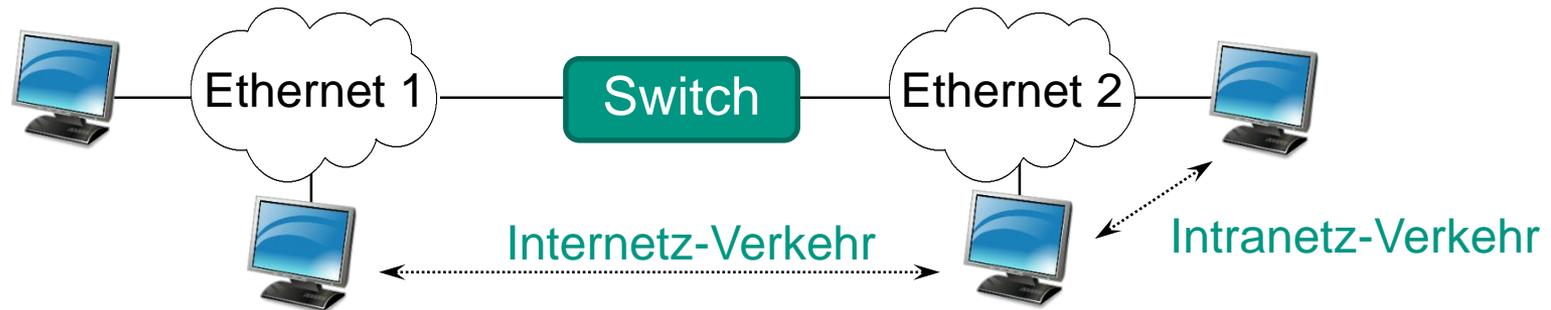
- Konfigurationen/Betriebsarten von Ethernet haben sich im Laufe der Zeit stark verändert
- Zu Beginn
 - Ethernet mit geteiltem Medium (Bus)
 - Eine Kollisionsdomäne
 - Halbduplexbetrieb
- Einführung von Brücken
 - Verbinden mehrerer Ethernets
- Übergang zu Sternförmiger Verkabelung
 - Hubs oder Switches
 - Hierarchie von Switches ermöglicht flexible Verkabelung



Kapitel 5.5.4 Ethernet-Switch

Ethernet-Switch

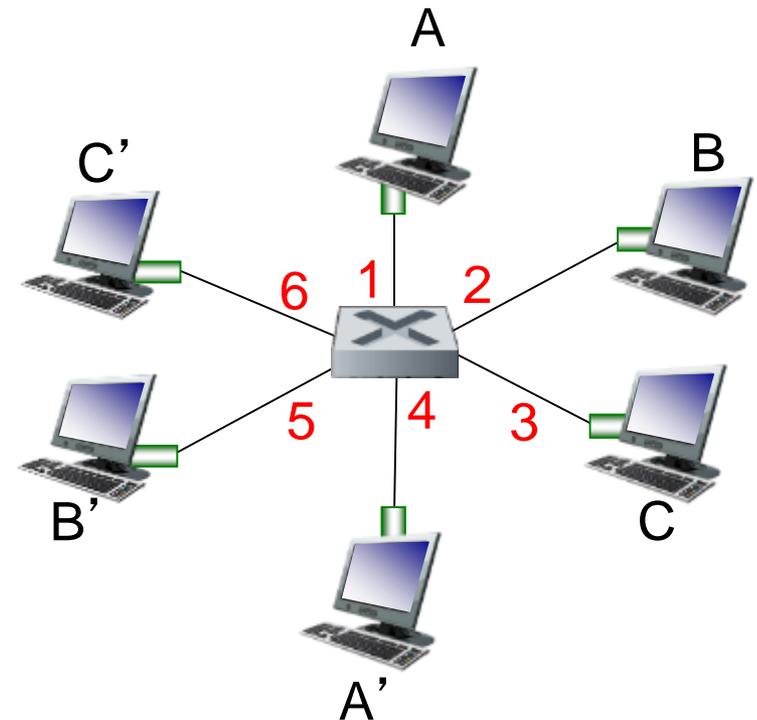
- Kopplung von mehreren Ethernet-Netzen auf Schicht 2
 - Leitet Ethernet-Rahmen weiter und puffert sie ggfs. zwischen
 - Trennung von Internetz- und Intranetz-Verkehr
 - Erhöht Netzkapazität



- Switches sind **transparent** für Endsysteme
 - Endsysteme wissen nicht, ob Switches auf dem Pfad liegen
- **Plug-and-play**
 - Müssen nicht konfiguriert werden
 - Sind selbstlernend

Ethernet-Switch

- Endsysteme haben direkten, dedizierten Link zum Switch
- Ethernet-Protokoll auf den Links
 - Bei Vollduplex-Links keine Kollisionen
- Switching
 - Weiterleitung von Eingangs-Interface an Ausgangs-Interface
 - Simultane Übertragungen möglich, z.B. A nach A', B nach B' und C nach C'



Switch mit 6 Interfaces

(1,2,3,4,5,6)

Halbduplex vs. duplex

- Anschluss der Endsysteme per Punkt-zu-Punkt-Verbindung
 - Halbduplex-Betrieb dieser Punkt-zu-Punkt-Verbindung



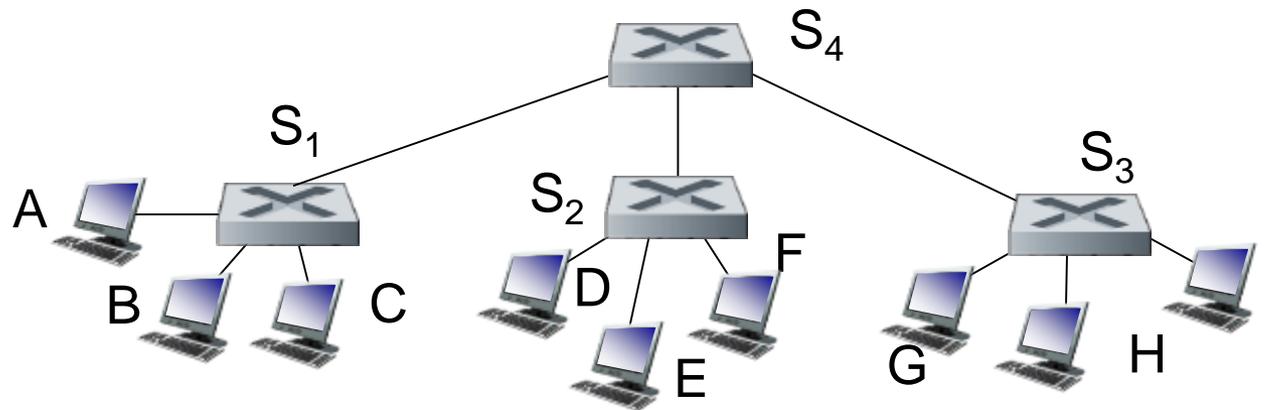
- Nutzung von CSMA/CD
- Kollision
 - Während des Sendens wird zu empfangender Rahmen erkannt

- Duplex-Betrieb dieser Punkt-zu-Punkt-Verbindung



Invariante:
Ethernet-
Rahmen

- Kein CSMA/CD erforderlich
- Separater Kanal für Sende- und Empfangsrichtung (z.B. separate Adernpaare)
- Minimale Länge des Rahmens eigentlich nicht erforderlich
 - Aus Interoperabilitätsgründen aber noch vorhanden



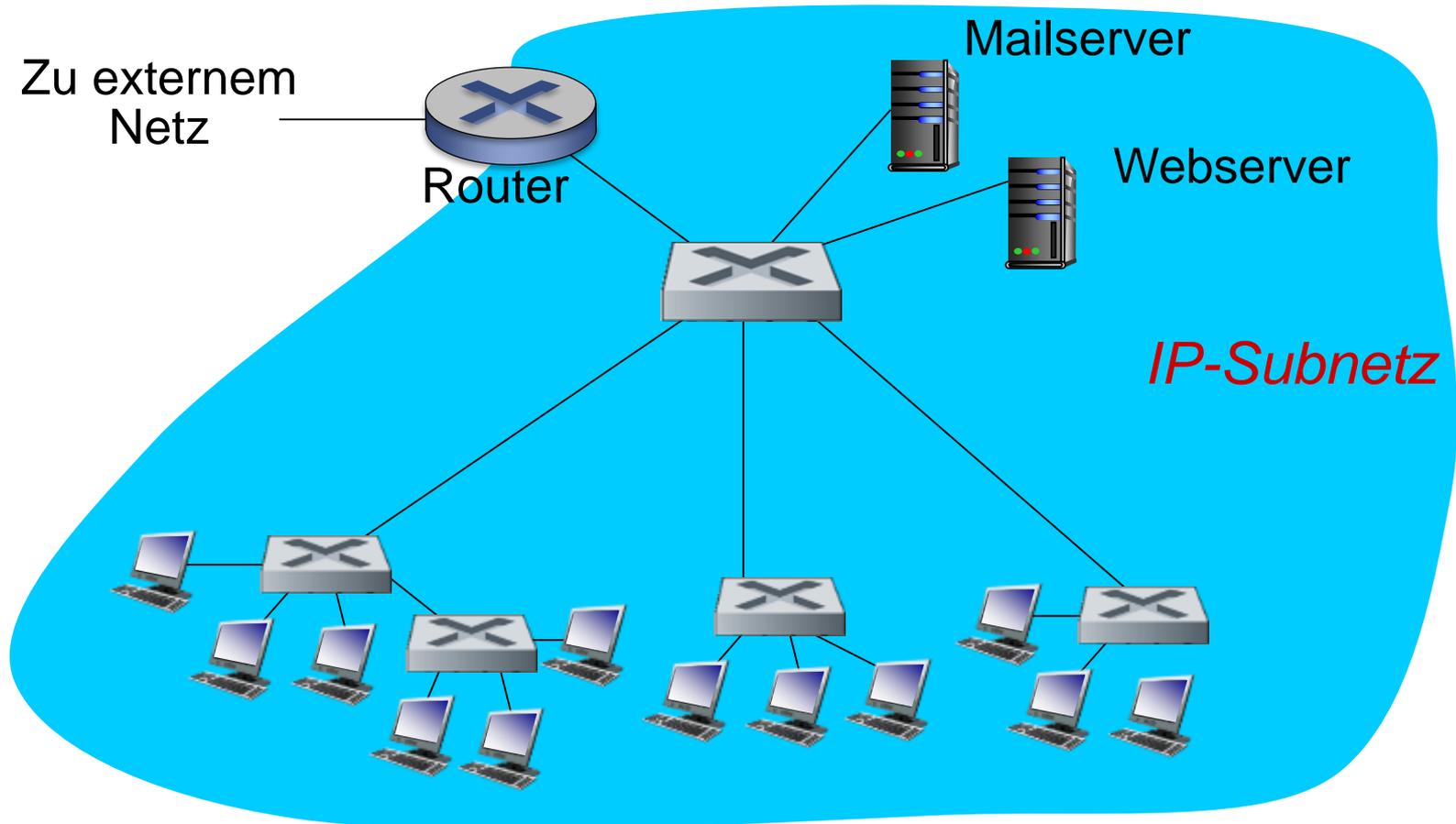
■ Ziel

- Selbstorganisierende Konfiguration eines Netzes mit Switches
 - ... ohne Eingriffe eines Systemadministrators

■ Aufgaben

- Etablierung einer Netztopologie ohne Schleifen
 - [Spanning Tree Algorithmus](#)
- Etablierung von Wegen zwischen Endsystemen
 - [Selbstlernende Switches](#)

Beispiel: Enterprise-Netz



■ Ziel

- „Wege“ etablieren

■ Vorgehensweise

- *Kein* extra Protokoll hierfür

1) Switch empfängt Rahmen und kennt Ziel-Adresse nicht

- **Flutet** Rahmen auf allen aktiven Interfaces

- **Lernt** „Lokation“ des Endsystems mit dieser Ziel-Adresse

- Merkt sich, dass Endsystem über dieses Interface erreichbar ist

- Eintrag in Tabelle <MAC-Adresse, Interface, Lebenszeit>

2) Switch empfängt Rahmen und kennt Ziel-Adresse

- Leitet Rahmen über entsprechendes Interface weiter

Spanning Tree Algorithmus

■ Ziel

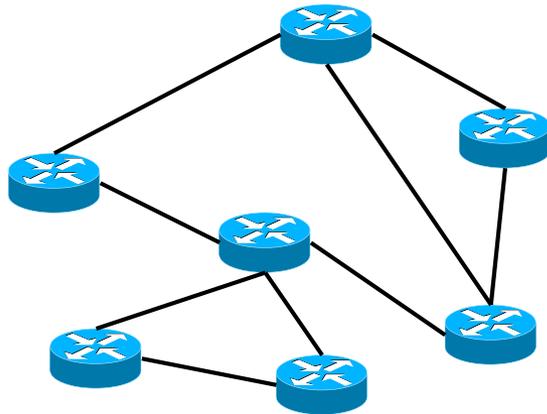
- Aufbau eines minimalen Spannbaums

... hat keine Schleifen

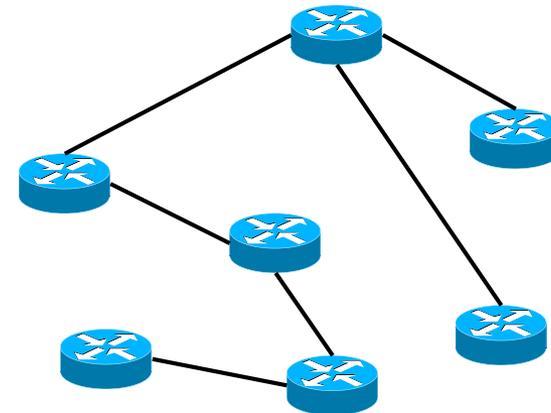
... Details in



■ Beispiel



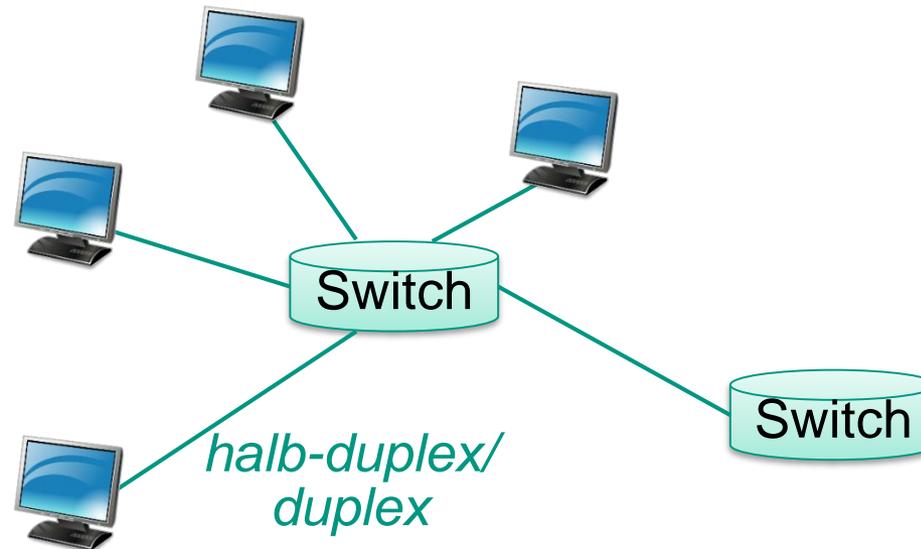
Graph mit Switches



Ein minimaler Spannbaum

Sterntopologie mit Ethernet-Switches

- Zentrale Sternkomponente
 - Anschluss der Endsysteme per **Punkt-zu-Punkt** Medium
... heute i.d.R. verwendete Topologie



- Varianten für zentrale Sternkomponente
 - Hub (Schicht 1)
 - Switch/Brücke (Schicht 2)
 - Router (Schicht 3)

Kollisionsdomäne

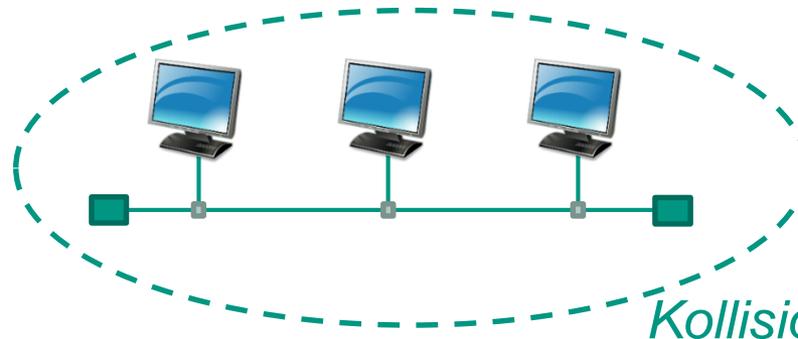
■ Kollisionsdomäne

- Bereich des Netzes, der vom Auftreten einer Kollision betroffen ist



■ Bei Bustopologie

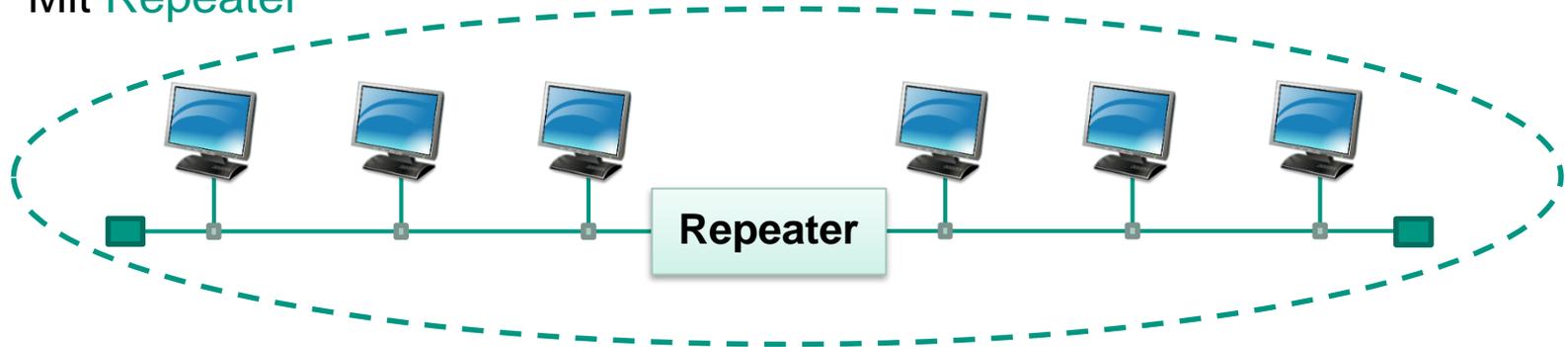
- Gemeinsames Broadcast-Medium
 - CSMA/CD regelt Zugriff auf dieses Medium



...gesamtes Segment stellt die Kollisionsdomäne dar

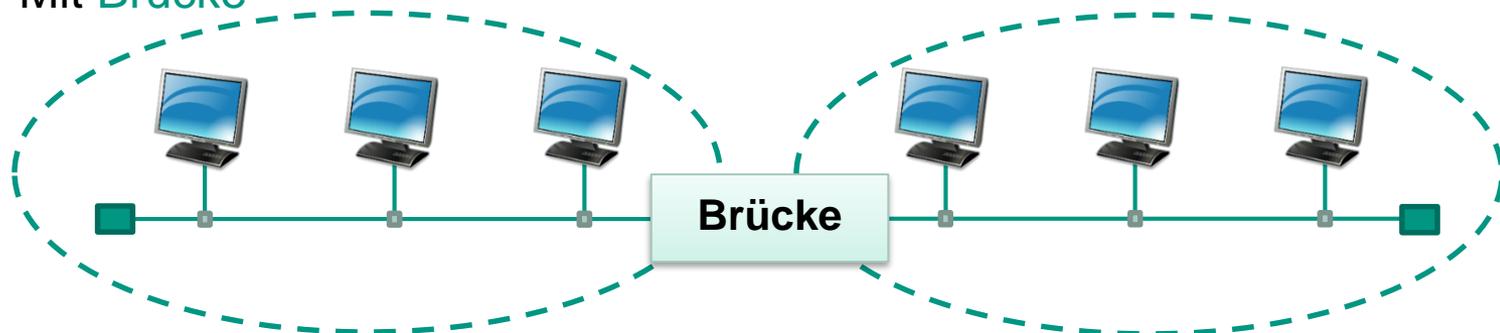
Kollisionsdomäne

- Kopplung busbasierter Segmente
 - Mit Repeater



... Kollisionsdomäne erstreckt sich auf komplettes Netz

- Mit Brücke



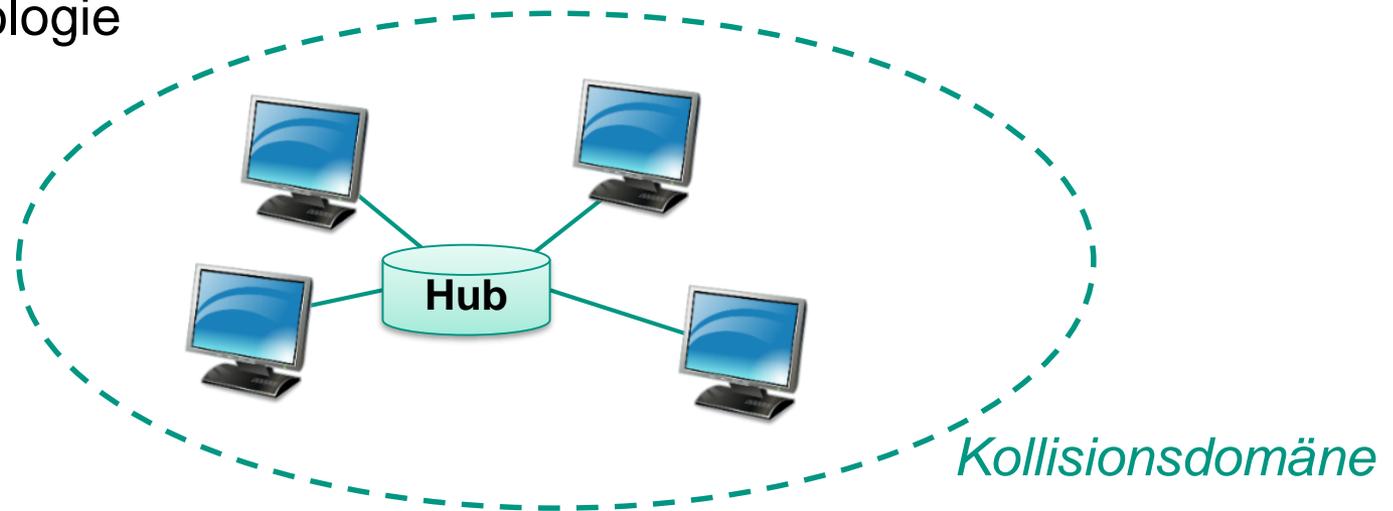
Kollisionsdomäne 1

... getrennte Kollisionsdomänen

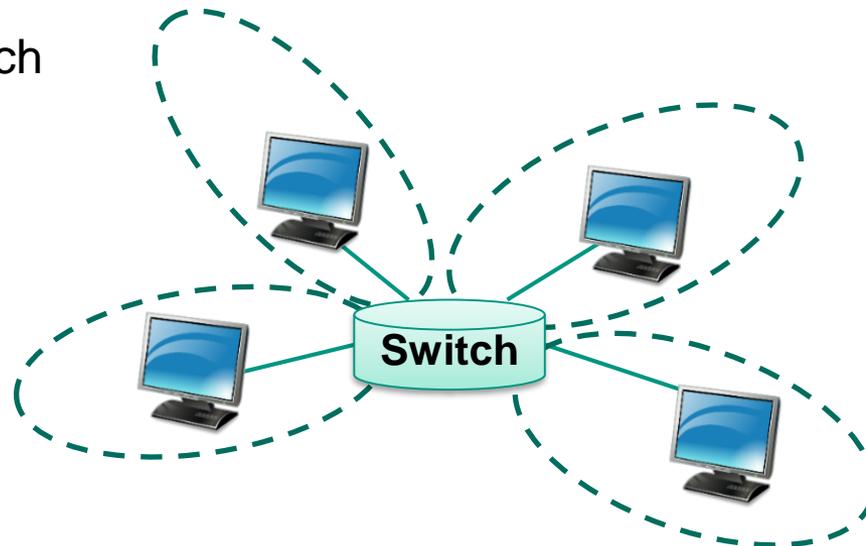
Kollisionsdomäne 2

Kollisionsdomäne

- Bei Sterntopologie
 - Mit Hub

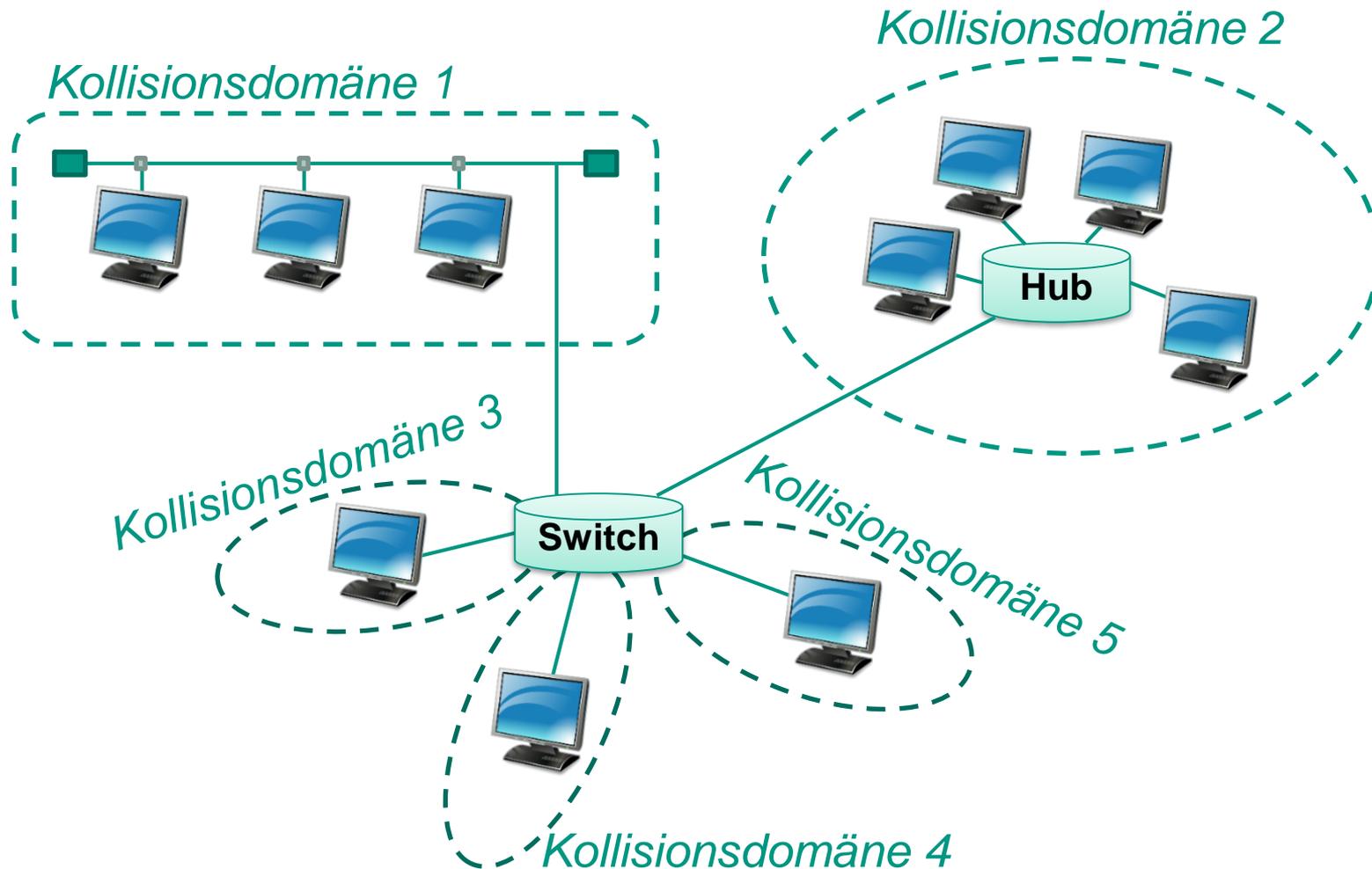


- Mit Switch



Kollisionsdomäne

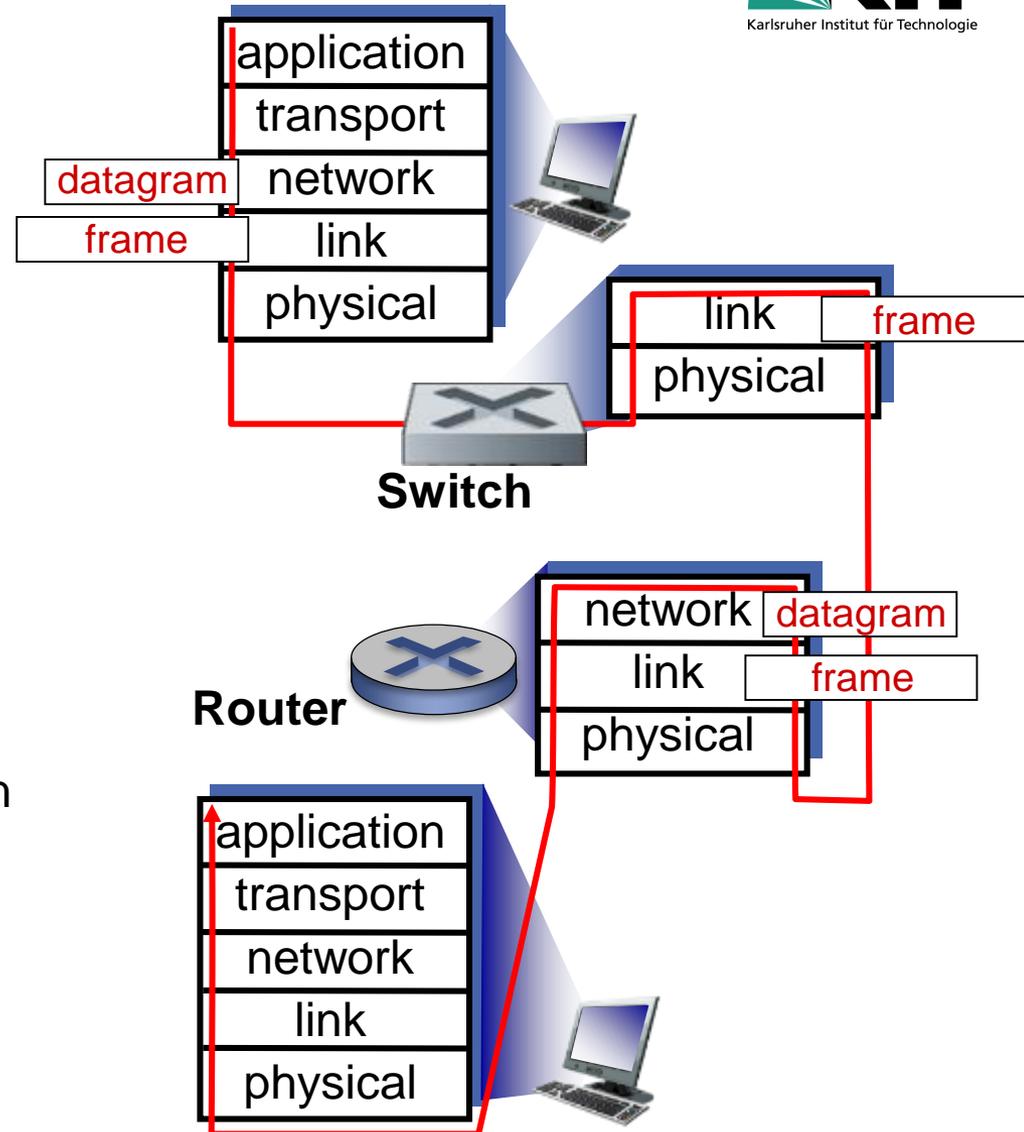
- Mehrere kombiniert mit Switch



Switch vs. Router

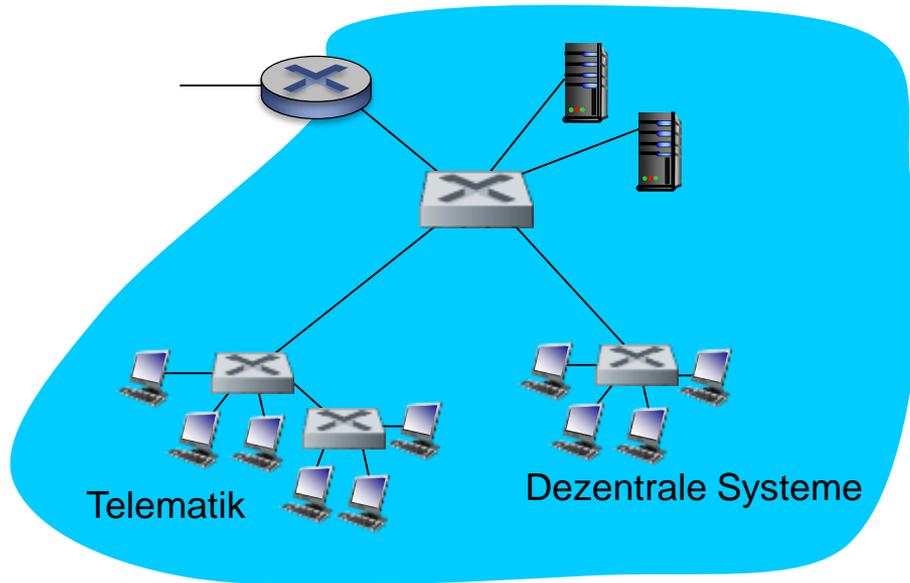
- Beide: **Store-and-forward**
 - Router: Vermittlungsschicht
 - Arbeiten auf Kopf der IP-Datagramme
 - Switch: Sicherungsschicht
 - Arbeiten auf Kopf der Sicherungsschicht-Rahmen

- Beide: **Weiterleitungstabelle**
 - Router: Verwenden Routingalgorithmen, basierend auf IP-Adressen
 - Switches: Selbstlernend, basierend auf MAC-Adressen



Kapitel 5.5.5 VLAN

VLANs: Beispiel zur Motivation



- Mehrere Institute befinden sich im gleichen Netz
 - Sämtliche Schicht-2-Broadcasts breiten sich im ganzen Netz aus (DHCP, ARP, Rahmen an unbekannte MAC-Adressen)
 - Verursacht Probleme mit Sicherheit und Privatsphäre, verursacht niedrige Effizienz

VLAN (Virtual Local Area Network)

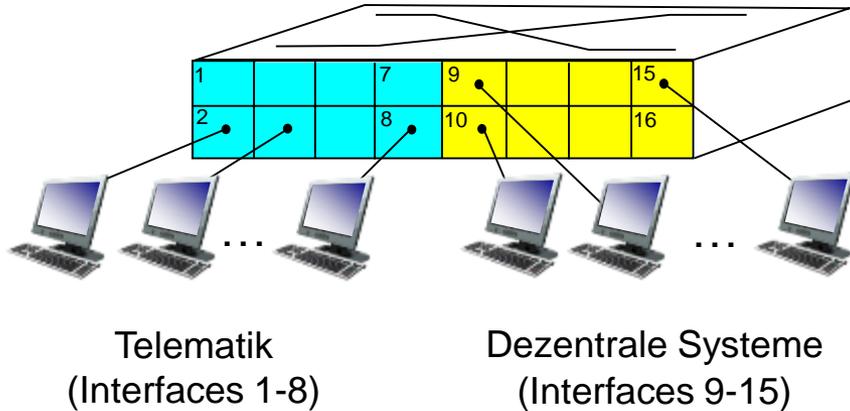
- Was ist ein VLAN?
 - VLAN = Virtuelles LAN
 - Auf Ethernet-Ebene wird der Datenverkehr logisch getrennt
→ Virtuelle Leitung

- Wieso werden VLANs eingesetzt?
 - **Sicherheit**
 - Broadcast-Medium kann jedes angeschlossene System mithören
 - Trennung eines physikalischen Mediums in logische Medien ermöglicht gezielte Gruppierung von Systemen
 - Bessere Kontrolle über Größe und Zusammensetzung eines Netzes
 - **Flexibilität**
 - Einfache Reorganisation der logischen Medien möglich
 - Keine Änderung an physikalischem Medium, z.B. neue Verkabelung, notwendig
 - **Performance**
 - Broadcast-Last eines Netzes sinkt, wenn ein physikalisches Medium in mehrere logische Medien aufgeteilt wird

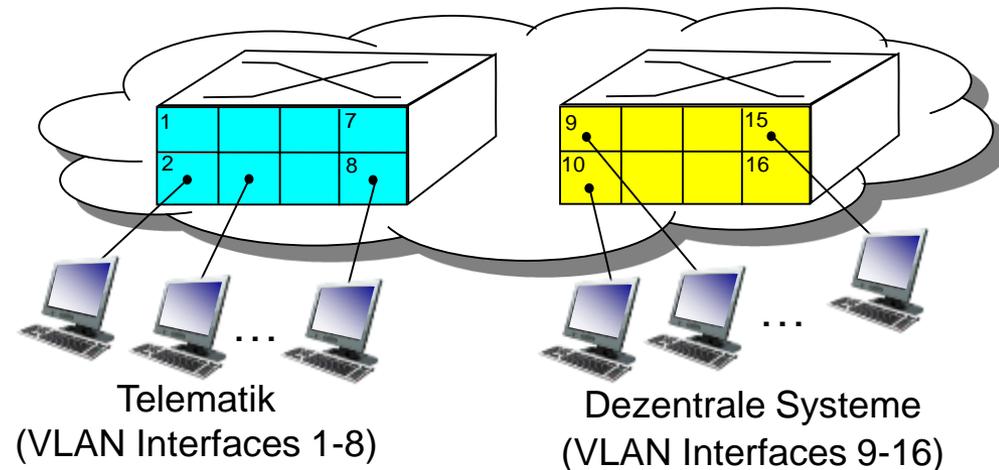


Interface-basierte VLANs

Interfaces des Switchs sind per Software so konfiguriert, dass ein einzelner **physikalischer** Switch...

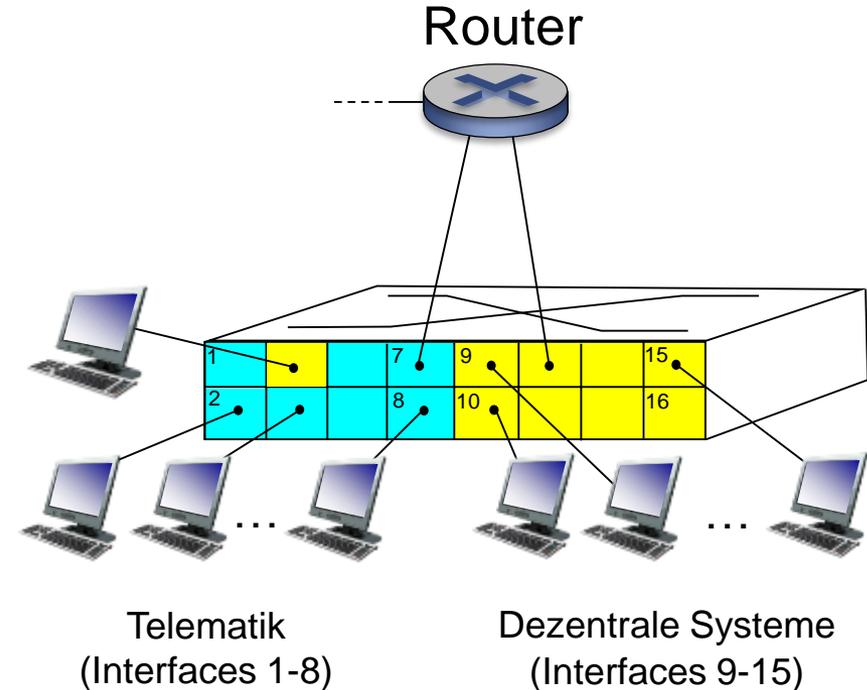


... als mehrere **virtuelle** Switches arbeitet

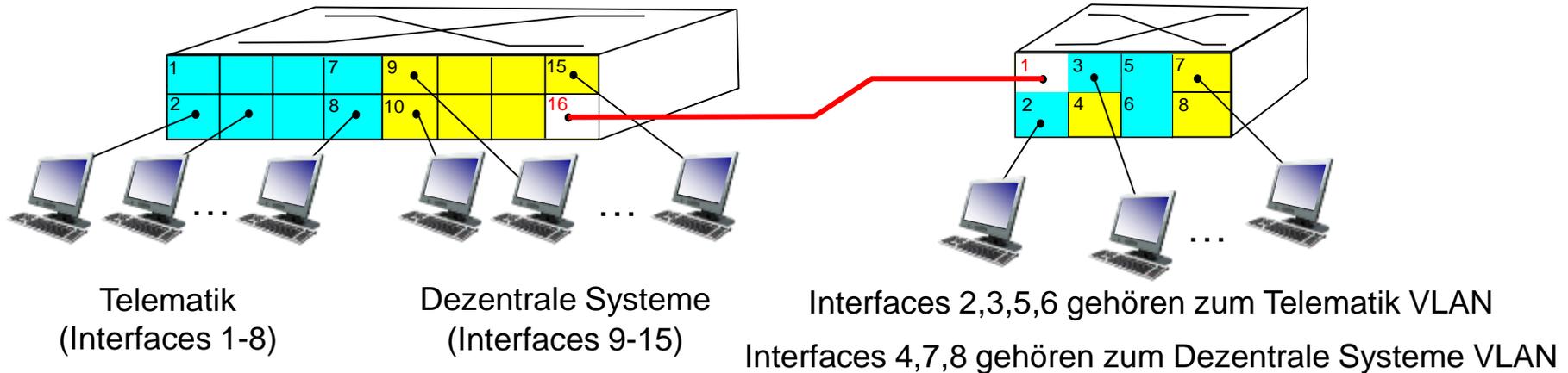


Interface-basierte VLANs

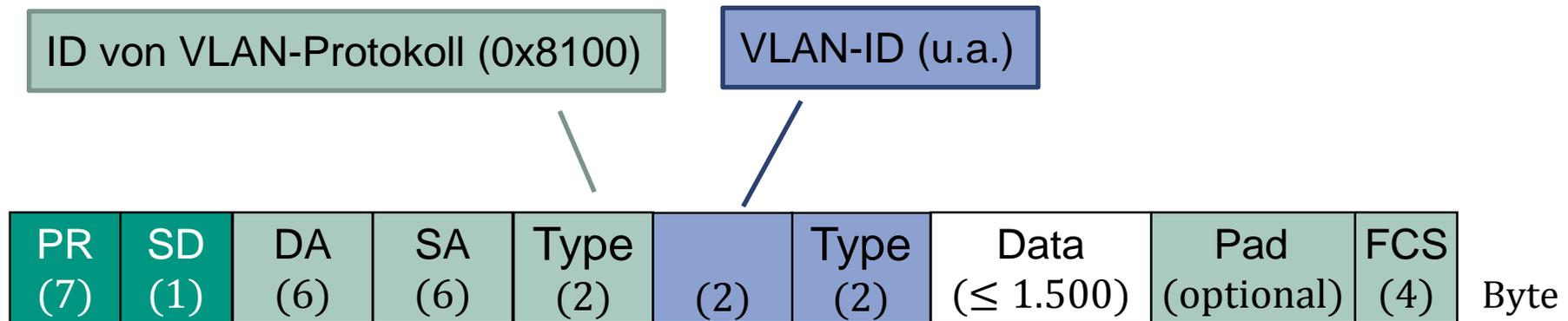
- **Verkehrsisolation:** Rahmen von den Interfaces 1-8 können **nur** die Interfaces 1-8 erreichen
→ Sicherheit, Performance
- **Dynamische Zuweisung:** Interfaces können dynamisch zu anderen VLANs zugewiesen werden
→ Flexibilität
- **Weiterleitung** zwischen VLANs erfolgt über Routing
 - Oftmals über einen Router, der im Switch integriert ist



VLANs über mehrere Switches



- **VLAN-Trunks:** Transportieren Rahmen zwischen VLANs, die durch mehrere physikalische Switches erzeugt werden
 - Transportierte Rahmen können keine normalen Ethernet-Rahmen sein
 - Jedes VLAN erhält eine eindeutige Kennung (**VLAN-ID**)
 - Tagging von Ethernet-Frames mit der ID des angesprochenen VLANs
 - Switches entfernen Tagging vor Auslieferung an Endsystem
 - Es existieren unterschiedliche Protokolle zur Unterstützung von VLANs
 - IEEE 802.1q
 - Cisco Inter-Switch Link (ISL)



- Hinweis: VLAN-Rahmen können trotz zusätzlicher Felder weiterhin bis zu 1.500 Byte an Nutzdaten transportieren



Ethernet-
Rahmen

- ▷ Frame 52 (90 bytes on wire, 90 bytes captured)
- ▽ Ethernet II, Src: 00:07:e9:23:e7:07, Dst: 00:0c:6e:40:8d:0e
 - Destination: 00:0c:6e:40:8d:0e (141.3.70.246)
 - Source: 00:07:e9:23:e7:07 (141.3.71.126)
 - Type: 802.1Q Virtual LAN (0x8100)
- ▽ 802.1q Virtual LAN
 - 000. = Priority: 0
 - ...0 = CFI: 0
 - 0000 0110 0110 = ID: 102
 - Type: IPv6 (0x86dd)
- ▽ Internet Protocol Version 6
 - Version: 6
 - Traffic class: 0x00
 - Flowlabel: 0x00000
 - Payload length: 32
 - Next header: TCP (0x06)
 - Hop limit: 63
 - Source address: 2001:638:204:6:207:e9ff:fe17:3ald (2001:638:204:6:207:e9ff:fe17:3ald)
 - Destination address: 2001:638:204:5:20c:6eff:fe40:8d0e (2001:638:204:5:20c:6eff:fe40:8d0e)
- ▷ Transmission Control Protocol, Src Port: 34183 (34183), Dst Port: ssh (22), Seq: 80, Ack: 208, Len: 0

VLAN-ID

CFI – Canonical Format Identifier (bei Ethernet 0)

Weitere Entwicklungen – Drahtlose lokale Netze

- Heute allgegenwärtig: lokale Netze auf Funkbasis
- Meistverwendeter Standard: IEEE 802.11
 - Viele unterschiedliche Unterstandards
- Herausforderungen
 - Eigenschaften des Funkkanals
 - Vielfältige Störungen durch die Umgebung sowie andere Funknetze
 - Bitfehlerraten weit höher als in drahtgebundenem Medium
 - Kodierung und Fehlerkorrekturmechanismen unerlässlich
 - Konkurrierender Zugriff auf gemeinsamen Kanal
 - Medienzugriff durch das Verfahren CSMA/CA
 - CA: Collision Avoidance
 - Abhörbarkeit des Funkkanals
 - Kryptographische Verfahren notwendig
- Details in der Vorlesung Mobilkommunikation



■ Medienzuteilungsstrategien

- Kontrolliert
 - Token Ring
 - Token Bus
- Konkurrierend
 - ALOHA
 - Slotted ALOHA
 - CSMA/CD

■ Ethernet

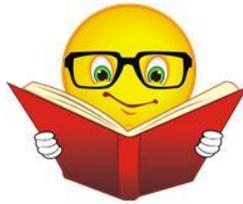
- Ursprünglich CSMA/CD-basiert
- Heute meist „geswitched“ mit Punkt-zu-Punkt-Links
- Einfaches, kostengünstiges Design hat sich durchgesetzt
- Konzeptuell auch in drahtlosen Netzen verwendet



- 1) Vergleichen Sie die Prüfsummen CRC, Hamming Codes und die Internet Prüfsumme bezüglich
 - Datenverbrauch
 - Berechnungsaufwand
 - Fähigkeiten (Erkennung/Behebung von Fehlern)
- 2) Erläutern Sie verschiedene Multiplex-Techniken und geben Sie Beispiele für deren Anwendung.
- 3) Nennen Sie unterschiedliche Medienzuteilungsverfahren und kategorisieren Sie diese.
- 4) Beschreiben Sie die Funktionsweise von CSMA/CD.
- 5) Kann bei CSMA/CD eine Kollision auftreten? Falls ja, wie? Warum existiert bei CSMA/CD eine minimale Länge der Rahmen?
- 6) Geben Sie verschiedene Topologien für lokale Netze an.
- 7) Welche Netztopologien werden heutzutage wo verwendet?



- 8) Können in einem Token Ring Kollisionen auftreten? Falls ja, wie?
- 9) Vergleichen Sie Ethernet und Token Ring bezüglich
 - Medienanschluss
 - Quittierung einer Nachricht
 - Eignung für den Realzeitbetrieb
 - Identifizierung der Länge bzw. des Endes eines Rahmens
- 10) Welche Funktion erfüllt ARP? Welchem bereits bekannten Protokoll ähnelt diese Funktionalität?
- 11) Was ist ein VLAN?
- 12) Erläutern Sie die Vorteile von VLANs.
- 13) Nennen Sie die Herausforderungen von drahtlosen lokalen Netzen sowie Techniken zu deren Bewältigung.



- [Cisc06] Cisco, LAN-Switching
 - <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ics/cs010.htm>

- [Hals05] F. Halsall, Computer Networking and the Internet, Addison Wesley, 5/e; 2005
 - Kapitel 3

- [Hoff14] Dirk W. Hoffmann, Einführung in die Informations- und Codierungstheorie, Springer, 2014

- [KuRo17] James Kurose, Keith Ross, Computer Networking, 7/e, Pearson; 2017
 - Kapitel 6

- [MeBo76] R. Metcalfe, D. Boggs; Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks; Communications of the ACM; July 1976

- [Rech07] J. Rech; Ethernet – Technologien und Protokolle für die Computervernetzung; Heise, 2nd Edition, Dez. 2007