

# Kommunikation und Datenhaltung

## 7. Sicherungsschicht: Lokale Netze



**Prof. Dr. Martina Zitterbart**  
Dipl.-Inform. Martin Röhrich  
[zit | roehricht]@tm.uka.de



1. Einführung
2. Physikalische Grundlagen
3. Protokollmechanismen
4. Geschichtete Architekturen
5. Sicherungsschicht: HDLC
6. Beschreibungsmethoden
7. Sicherungsschicht:  
Lokale Netze
8. Netzkopplung und Vermittlung
9. Die Transportschicht
10. Anwendungssysteme
11. Middleware

- 7.1 Medienzugriff
  - 7.1.1 Zufallsstrategien
  - 7.1.2 CSMA/CD
  - 7.1.3 Zirkulierendes Senderecht
- 7.2 Strukturierung der Datenübertragung

## 2 Sicherungsschicht

- Verfälschungs- und Verlustsicherung
  - Strukturierung des Datenstroms
  - Medienzugangskontrolle bei geteilten Medien
- ⇒ Sicherungsschicht bietet abstraktes Medium „gesicherten Kanal“



## 1 Einige Probleme der physikalischen Schicht

- unerwünscht hohe Störungen der Übertragung
- kaum beeinflussbare Übertragungsqualitäten
- keine Pufferung möglich
- oft keine globale (nur kanalbeschränkte) Adressierung

3 IP und andere

### 2b Logical Link Control (LLC)

(einheitlich für alle Medien)

- Verfälschungssicherung
- Verlustsicherung
- Reihenfolgesicherung
- Flusskontrolle
- Strukturierung der Übertragung

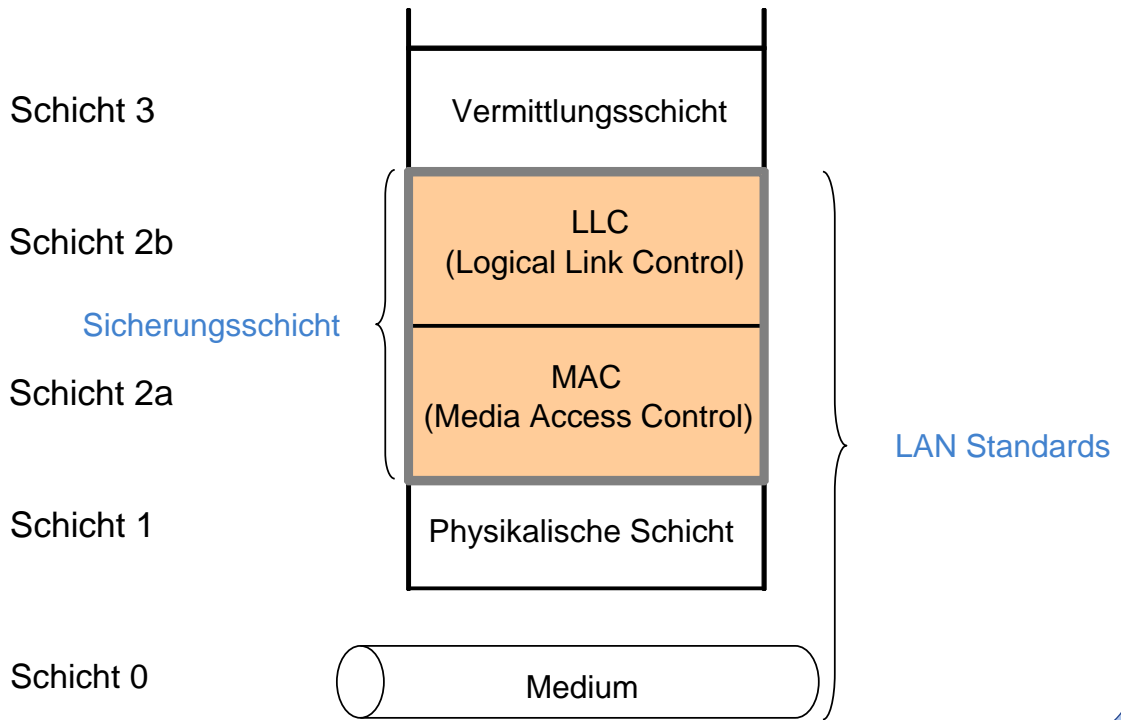
### 2a Medium Access Control (MAC)

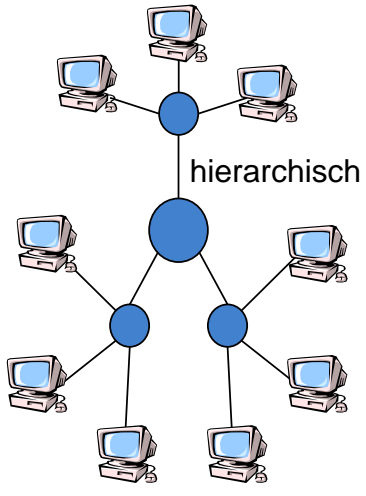
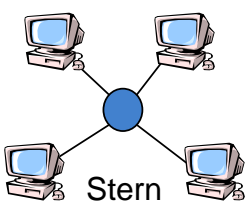
(Zugangskontrolle für geteiltes Medium)

- konkurrierender Zugriff
- kontrollierter Zugriff

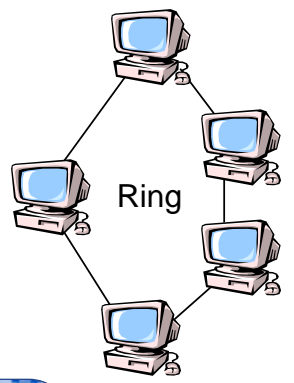
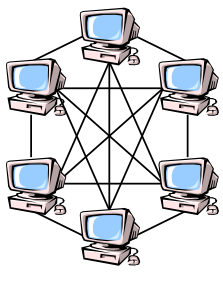
### 1 Bitübertragungsschicht

- Medien
  - Verdrillte Kupferadern, Koaxialkabel, Glasfasern, ...
- Codierung (Leitungscode)

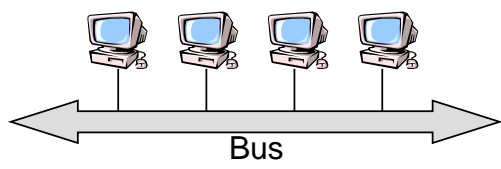
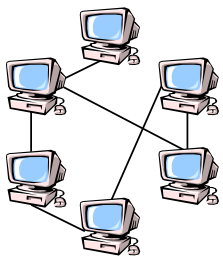




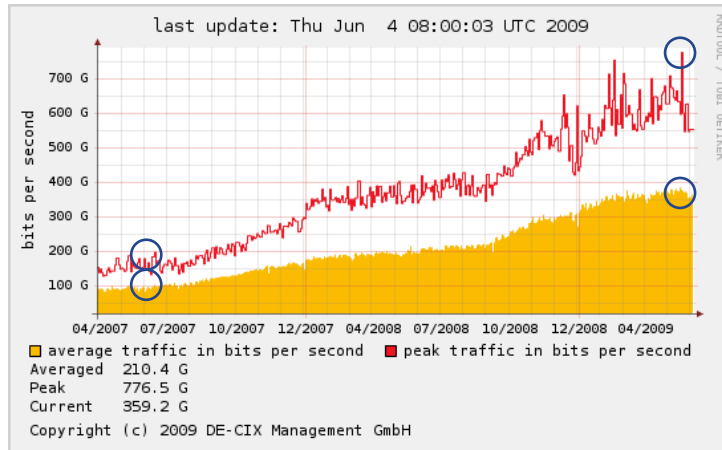
vollvermascht



teilvermascht



- Beispiel für Umstieg auf Stern-Topologie
  - ( ... allerdings nicht im lokalen Netz)
  - Ziel: höhere Flexibilität und Ausfallsicherheit
- Ausbau des Frankfurter Internet-Austauschknotens DE-CIX, April 2008
  - Gestiegene Bedeutung für osteuropäischen Breitbandmarkt
  - Fast 4-faches Verkehrsaufkommen 06/2007 – 06/2009
  - Bis zu 776 Gbit/s, 285 angeschlossene autonome Anbieter



[DECI09]

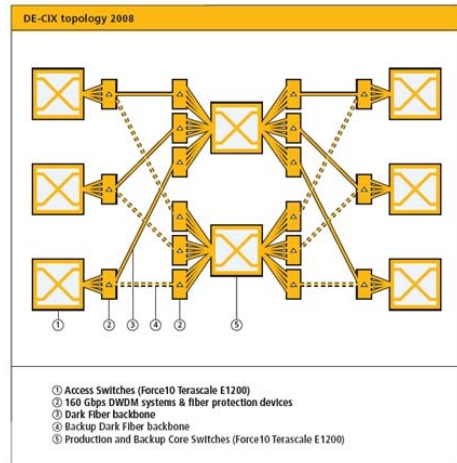
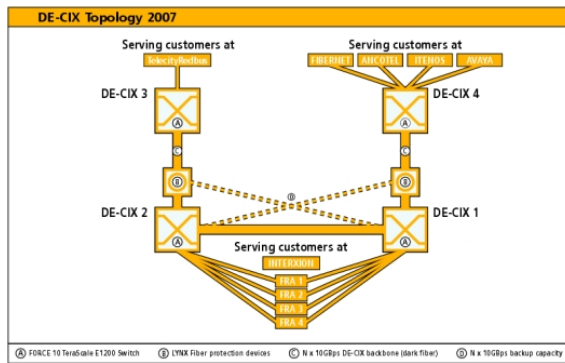
- Umstieg auf Sterntopologie
  - Verbindung mit Kunden-Netzen über 6 Access-Switches
    - ▶ Jeweils zwei 160 Gbit/s Glasfasern zur Mitte des Sterns (Core-Switch)
  - Core-Switch: Redundanz durch identisches Gerät im „Hot-Standby“
  - Soll maximalen Datendurchsatz von 1,4 Tbit/s ermöglichen
- Wechsel vom Kunden unbemerkt
  - *"Für uns ist das, als ob man bei einem Auto, das 200 km/h fährt, die Reifen wechselt – und keiner merkt es."*

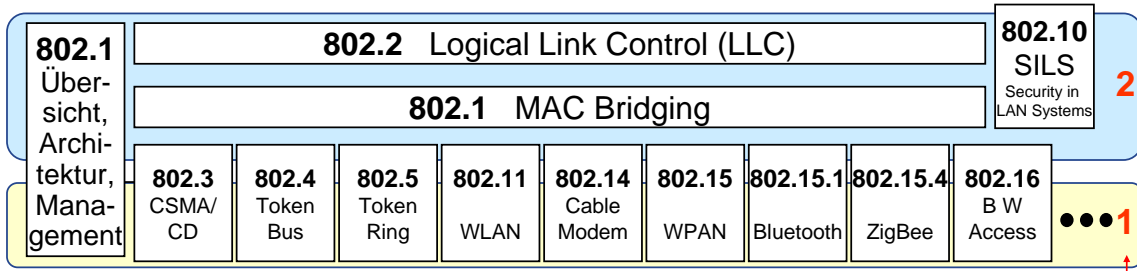


[Heis08, DECI09]

2007

2008



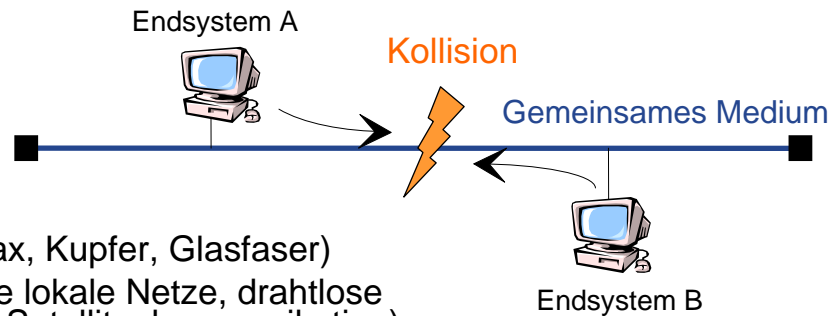


- Themen:*
- 802.1: Zusammenhang der Standards und MAC Bridging
  - 802.2: Logical-Link-Control-Dienste/Protokolle (LLC)
  - 802.3: CSMA/CD-Protokoll auf Bustopologie
  - 802.4: Token-Bus-Protokoll auf Bustopologie
  - 802.5: Token-Ring-Protokoll auf Ringtopologie
  - 802.10: Sicherheitsstruktur für 802-Protokolle
  - 802.11: Wireless LANs
  - 802.14: Cable Modem: Datenübertragung über TV-Kabelmodems
  - 802.15: Wireless Personal Area Networks: Kurzdistanz-Netze, Bluetooth
  - 802.16: Broadband Wireless Access: Drahtloser Breitbandzugriff (WiMAX)

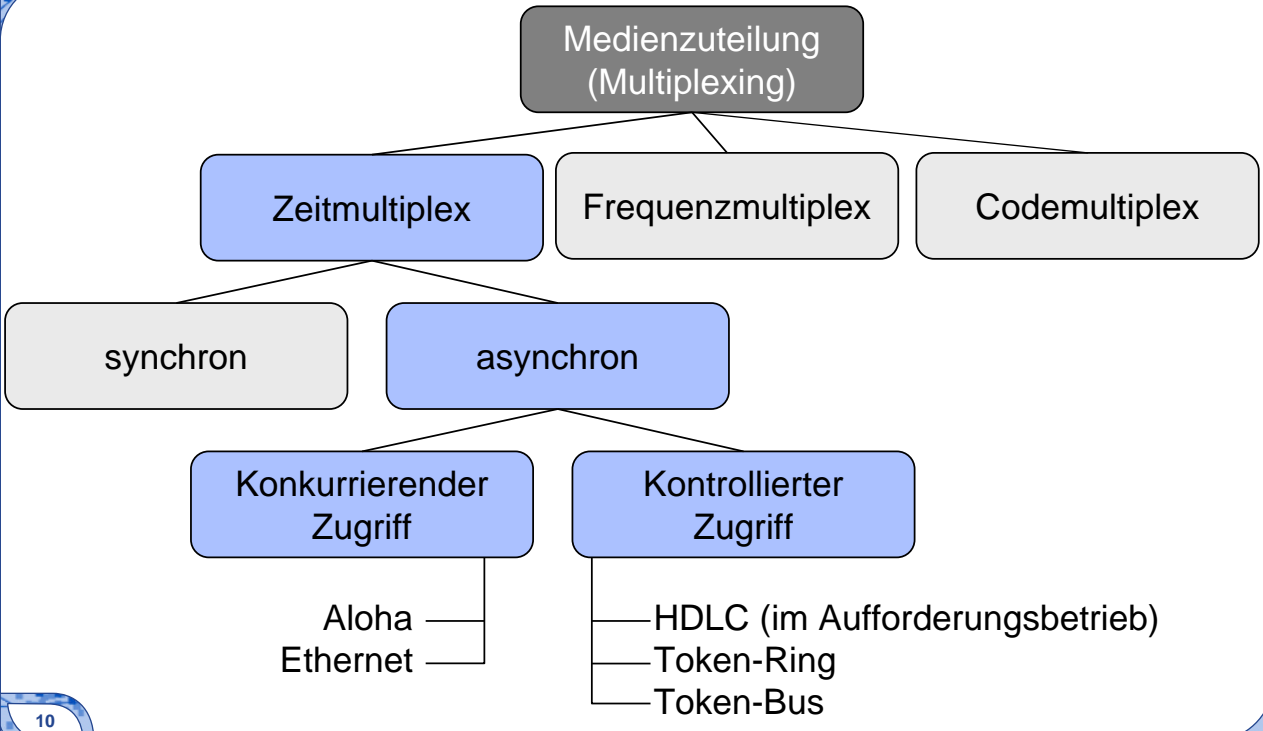
ISO/OSI-Schicht

Informationen zu weiteren Standards der 802-Serie:  
<http://grouper.ieee.org/groups/802/>

- Problem
  - Mehrere Geräte benutzen ein gemeinsames Medium
    - ▶ Wie wird der Zugriff auf dieses Medium kontrolliert?
  - Situation



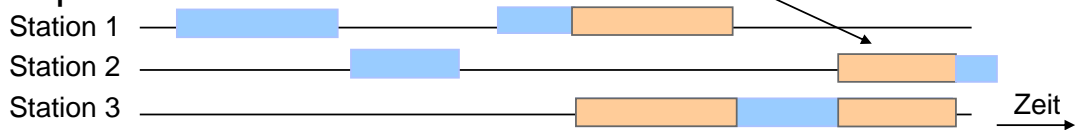
- Medium
  - Kabel (z.B. Koax, Kupfer, Glasfaser)
  - Äther (drahtlose lokale Netze, drahtlose Zugangsnetze, Satellitenkommunikation)
- Wichtige Aspekte
  - Durchsatz
  - Verzögerung
  - Stabilität
  - Fairness



## 7.1.1 Konkurrierender Zugriff: Zufallsstrategien

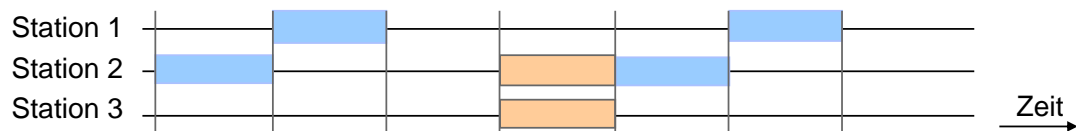
- Zufälliger Zugriff auf das Kommunikationsmedium
  - Zunächst zur Zugriffskontrolle auf gemeinsamen Satellitenkanal verwendet
  - An der Uni Hawaii eingesetzt, um Rechner auf verschiedenen Inseln zu verbinden
  - Keine Medienüberwachung

- Beispiel: Aloha



- Funktioniert nur, wenn Sendewünsche zufällig und unabhängig voneinander verteilt sind und die Wahrscheinlichkeit überlappender Sendewünsche gering ist

- Verbesserte Variante: Slotted-Aloha



- Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)
- Ablauf
  - **Listen before Talk**: Endsystem prüft, ob das Medium frei ist
  - Falls Medium frei ist, kann prinzipiell gesendet werden
  - Beginnen mehrere Endsysteme praktisch gleichzeitig zu senden, so können Kollisionen auftreten:
    - ▶ Erkennung von Kollisionen durch Abhören während der Sendung (**Listen while Talk**)
    - ▶ Im Kollisionsfall:
      - ▶ Sendeunterbrechung, sowie Senden eines **Jamming-Signals**
      - ▶ Sendung später erneut versuchen
  - Das wiederholte Senden regelt ein **Backoff-Algorithmus**

- Voraussetzungen für Kollisionserkennung
  - Mindestlänge der 802.3-MAC-Dateneinheiten (siehe Beispielablauf nächste Folie)
    - ▶ Das Senden der Dateneinheit darf nach Signallaufzeit durch Medium und zurück noch nicht beendet sein
    - ▶ Mindestlänge der Dateneinheiten erforderlich
      - ▶ Abhängig von maximaler Ausdehnung des Netzes und Ausbreitungsgeschwindigkeit
        - ▶ Bestimmt die Zeit, die ein Bit für die Übertragung vom Sender zum Empfänger benötigt. Wird als Ausbreitungsverzögerung bzw. Signallaufzeit bezeichnet.
      - ▶ Wird durch ein so genanntes Stopffeld *PAD(ding)* sichergestellt

- $t_L$  Signallaufzeit von A nach B (Propagation Delay)
- $2 t_L$  Signallaufzeit von A nach B und zurück (Round Trip Delay, Round Trip Time)
- $e$  Zeitabschnitt zwischen Übertragungsbeginn von B und Kollisionserkennung durch B

A beginnt Übertragung ( $t_0$ )

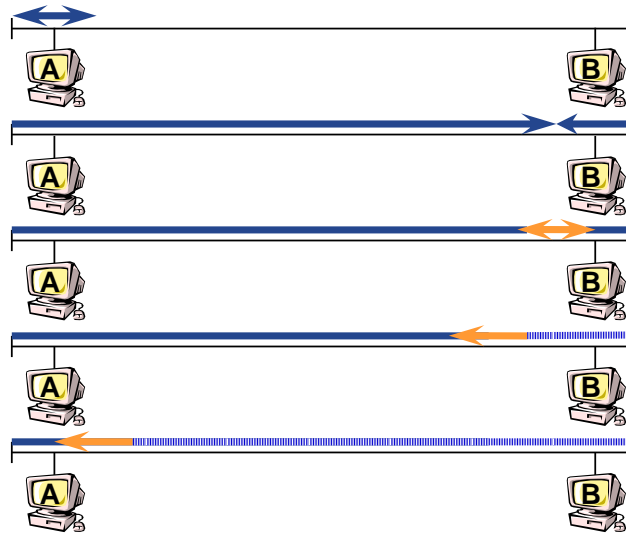
B beginnt Übertragung ( $t_0 + t_L - e$ )  
(bevor Signal von A eintrifft)

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

B schickt Jam-Signal, Kollision läuft weiter; B führt Backoff-Algorithmus aus

A entdeckt Kollision ( $t_0 + 2t_L - e$ )  
(muss dafür noch das Medium abhören,  
⇒ Grund für Mindestlänge von Dateneinheit)

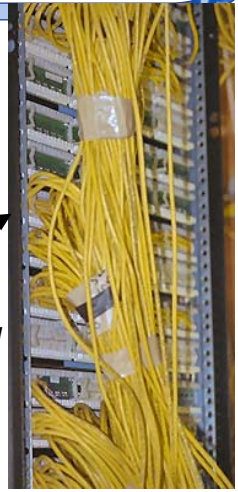
A führt Backoff-Algorithmus aus



- Charakteristika

- Datenrate 10 bzw. 100 Mbit/s
- Medienzugriffsverfahren und Format der Dateneinheiten wird von CSMA/CD übernommen
  - ▶ „Backward Compatibility“
- Flexibles Verkabelungskonzept (Hierarchie von Hubs)
- Multiport-Bridges („Switches“) ermöglichen Vollduplexbetrieb
  - ▶ kein CSMA/CD am Zugangslink mehr erforderlich

„patch-panels“ für die Sternverkabelung



- Varianten

Bezeichnung	Kabel	Segmentlänge	Vorteile
100Base-T4	Vier verdrehte Aderpaare	Max. 100m	Gängige Kabel
100Base-TX	Zwei verdrehte Aderpaare	Max. 100m	Vollduplex bei 100 Mbit/s
100Base-FX	Glasfaser	Max. 2.000m	Vollduplex, lange Strecken



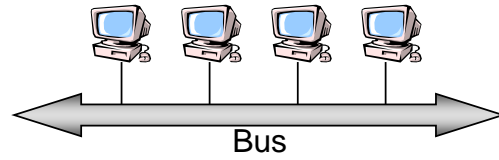
- Grundgedanke
  - logischer Schritt von 10 Mbit/s Ethernet über Fast-Ethernet (100 Mbit/s) zu Gigabit-Ethernet (1.000 Mbit/s)
  - Ziel: Beibehaltung des CSMA/CD-Verfahrens
    - ▶ „Backward Compatibility“
  - Ideale Ergänzung zu (Fast-) Ethernet zur Fortführung im Backbone-Bereich
  - Einsatz auf Glasfaser und Kupferadern
- Probleme
  - Minimales Länge der Dateneinheiten von (Fast-) Ethernet zu klein, um Kollisionen zu erkennen
    - ▶ Kompatibilität zu (Fast-) Ethernet möglich?
  - Strenge Normen zur elektromagnetischen Verträglichkeit
  - Elektro-physikalische Eigenschaften der Kupferadern
    - ▶ Übersprechen, Dämpfung, ...

- Duplex-Betrieb und Halbduplex-Betrieb möglich
  - Praktisch alle neueren Komponenten sind vollduplexfähig
- Problem: Beim Halbduplex-Betrieb Kollisionserkennung notwendig  
⇒ minimale Länge der Dateneinheiten von (Fast-) Ethernet zu klein!
- Lösung
  - Bei Gigabit-Ethernet musste minimale Länge der Dateneinheiten von 64 Byte auf 512 Byte erhöht werden
  - Auffüllen kleinerer Dateneinheiten mit Füllzeichen (Extension Symbols), die an die FCS angehängt werden, jedoch keine Bedeutung haben
    - ▶ Weiterhin minimale Länge der „ursprünglichen“ Dateneinheit von 64 Byte
    - ▶ Problem: „hoher Verschnitt“
  - Packet Bursting
    - ▶ Zusammenfassen mehrerer kleiner Dateneinheiten eines Senders in einer MAC-Dateneinheit
    - ▶ Maximale Sendedauer pro individuellem Sendevorgang

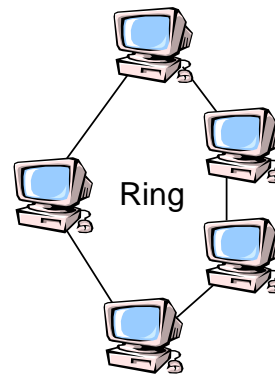
- Burst Limit
  - Beschränkung der max. Sendezeit auf 65.536 bit
- Format der Dateneinheiten entspricht demjenigen von (Fast-) Ethernet auf MAC-Ebene
  - Auf der physikalischen Ebene jedoch leichte Unterschiede, die aber für MAC transparent sind
- Umschalten zwischen 10, 100, 1.000 Mbit/s mittels **Autonegotiation** möglich

## 7.1.3 Kontrollierter Zugriff: zirkulierendes Senderecht

- Beispiel: Token-Ring (IEEE 802.5)
- Ausgangspunkt bei Ethernet:

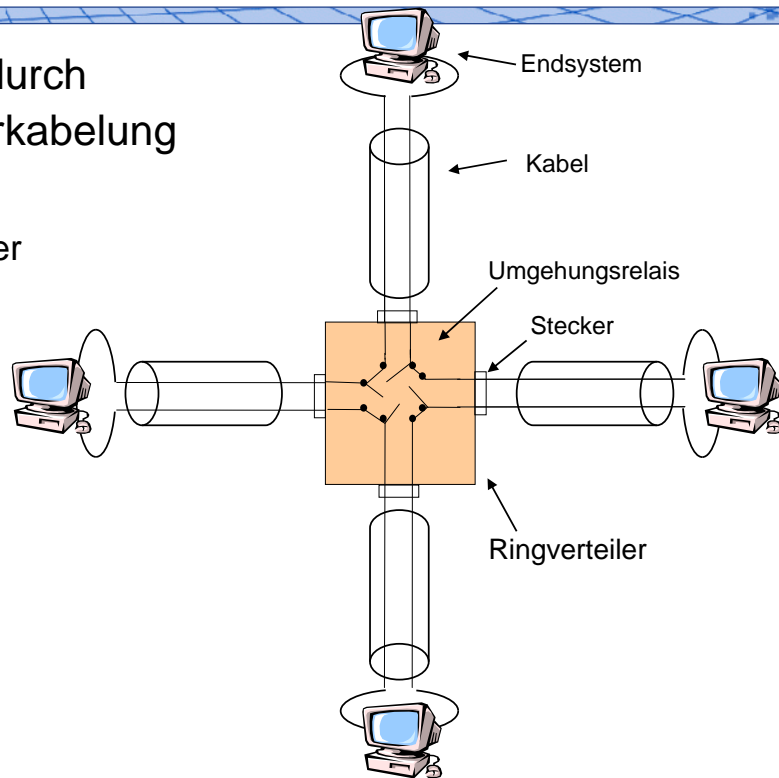


- Ausgangspunkt bei Token-Ring:



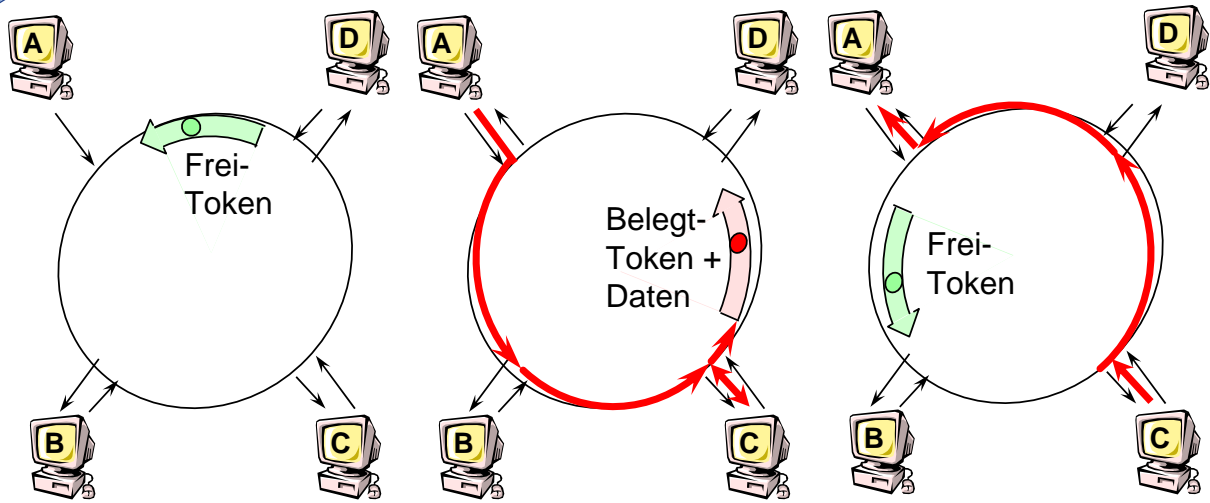
- Beispiel: **Token-Ring** (IEEE 802.5)
  - Endsyste~~m~~e sind jeweils **Punkt-zu-Punkt** zu einem **Ring** verbunden
  - Jedes Endsyste~~m~~ hat somit Vorgänger und Nachfolger
  - Unidirektionaler Betrieb von Endsyste~~m~~ zu Endsyste~~m~~
  - Endsyste~~m~~e sind **aktiv** an das Medium gekoppelt, d.h. sie können die einkommenden Daten regenerieren und evtl. modifizieren
  - Zuteilung des **Senderechts** erfolgt durch zirkulierende spezielle Steuerdateneinheit, das so genannte **Token**
    - ▶ Ein Endsyste~~m~~, das das Token empfängt, hat das Recht, Daten zu verschicken
    - ▶ Verfahren wird auch **Token-Passing** genannt
  - Die verschickten Daten kommen aufgrund der Ringstruktur wieder bei dem sendenden Endsyste~~m~~ an, das diese wieder vom Ring nimmt
  - Danach gibt es das Senderecht, d.h. das Token, an das nachfolgende Endsyste~~m~~ weiter
- ⇒ Es wird ein umfangreiches Token-Management benötigt

- Token-Ring oft durch sternförmige Verkabelung realisiert
  - Mit Ringverteiler



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

- Monitor
  - „Zentrales“ Endsystem zur Überwachung der Funktionsfähigkeit des Rings
    - ▶ Z. B. Token-Verlust, Token-Verdopplung, Ringbruch
    - ▶ Jedes Endsystem kann diese Aufgabe übernehmen
  - Einfügen einer minimalen Verzögerung, falls der Ring zu klein ist
  - Generell: Fehlermanagement recht komplex



- Frei-Token kreist
- A hat Sendewunsch

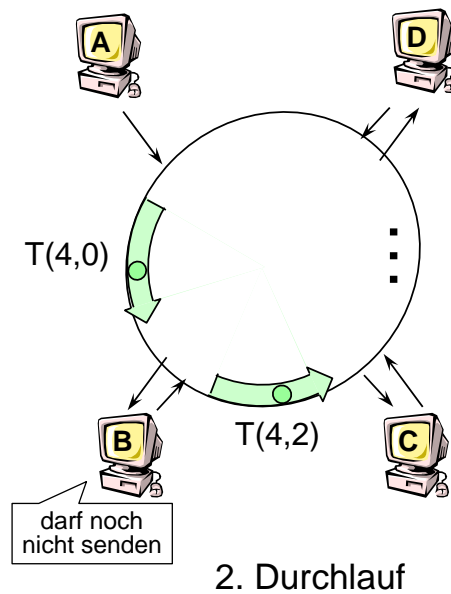
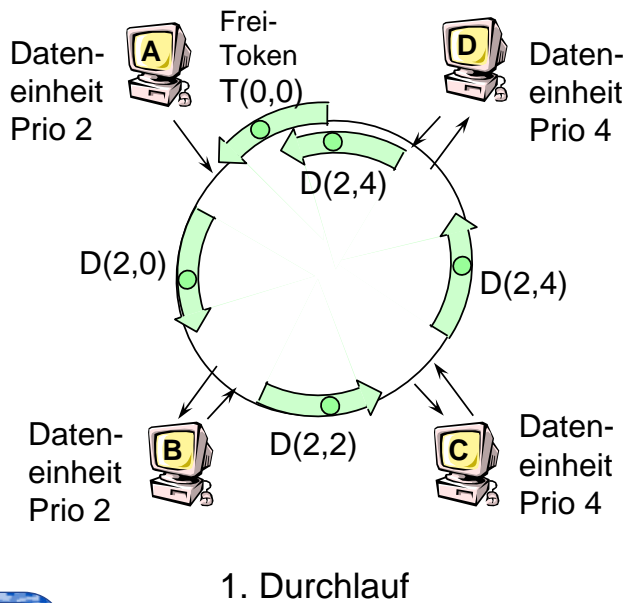
- A hat Token belegt
- A sendet an C
- C kopiert
- C leitet weiter

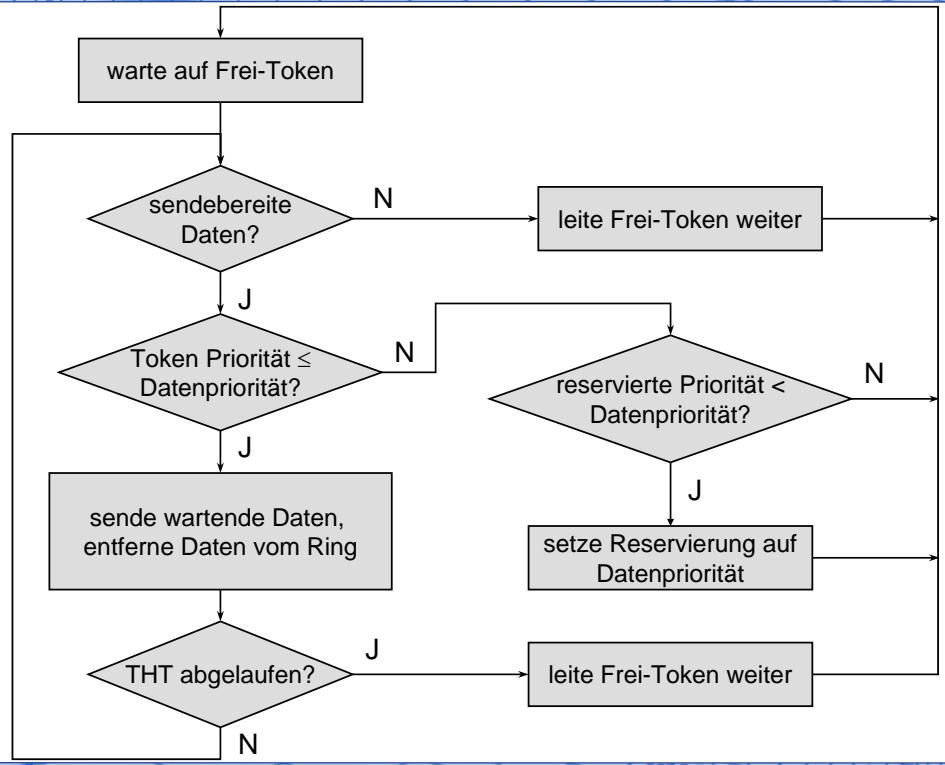
- A nimmt Daten vom Ring
  - Weshalb?
- C kopiert und setzt Quittungsbits
- Token wird von A auf frei gesetzt

- Daten mit hoher Priorität werden zuerst gesendet
  - Gleichberechtigter Zugriff innerhalb einer Prioritätsebene
  
- Erhöht ein Endsystem die Priorität am Ring, so muss dieses Endsystem die Priorität auch wieder zurücksetzen
  
- Jedes Endsystem verwaltet hierzu die folgenden Variablen
  - Prioritätsregister
    - ▶ Für die höchste Priorität der wartenden Dateneinheit
    - ▶ Für die Priorität im Zugriffskontrollfeld
    - ▶ Für die Reservierung im Zugriffskontrollfeld
  - Keller
    - ▶ Für die Speicherung der alten Priorität
    - ▶ Für die Speicherung der neuen Priorität
    - ▶ Erlaubt mehrfaches Erhöhen der Priorität

# Beispiel zu Prioritäten

Schreibweise:  $T(P,R)$  bzw.  $D(P,R)$ ;  $P$ =Priorität,  $R$ =Reservierung  
 Token                      Daten





- Genau ein aktiver Monitor pro Ring zur Fehlerkorrektur bei
  - Zirkulierenden Daten
  - Zirkulierendem Token mit hoher Priorität
  - Verlorengegangenem Token
  - Vorhandensein mehrerer aktiver Monitore
- In jedem anderen Endsystem ist ein Monitor in Bereitschaft, um größere Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu erreichen
- Die Fehlerkorrektur benutzt spezielle Managementdateneinheiten
  - **Claim Token**: benutzt, um neuen aktiven Monitor zu bestimmen
  - **Duplicate Address Token**: während Initialisierungsphase
  - **Active Monitor Present**: regelmäßig vom aktiven Monitor versendet
  - **Standby Monitor Present**: während Initialisierungsphase, um Adresse der Nachbarn zu bestimmen
  - **Beacon**: beim Beaconing-Prozess (Fehlersituation)
  - **Purge**: benutzt von neuem aktiven Monitor, um alle Endsysteme zurückzusetzen

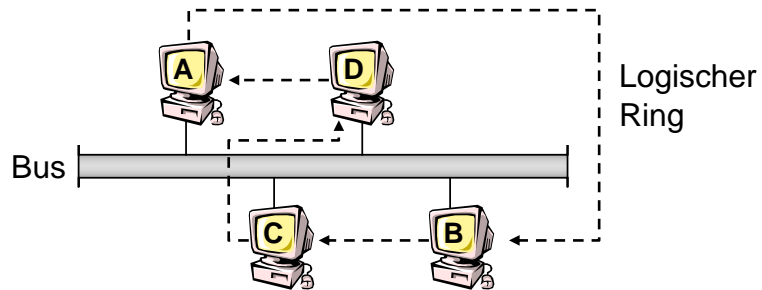
- Sender erzeugt Daten oder Token mit Monitorbit  $M=0$
- Der aktive Monitor setzt das Monitorbit  $M$  auf 1, wenn die Daten bzw. das Token ihn durchlaufen
- Falls der aktive Monitor Daten oder Token mit  $M=1$  sieht, löscht er alle Daten auf dem Ring
  - Wie kann es zu solch einer Situation kommen?
- Nachdem das Löschen beendet ist, erzeugt der aktive Monitor ein neues Token

- Der aktive Monitor benutzt einen Timer, um den Verlust eines Tokens oder den Verlust von Daten zu entdecken
- Wann wird dieser Timer gestartet? Wie muss er dimensioniert sein?
- Falls der Timer abläuft, löscht der aktive Monitor alle Daten auf dem Ring und erzeugt ein neues Token

- Verfahren läuft in vier Schritten ab:
  - Selbsttest des neuen Endsystems vor dem Einfügen
  - Einfügen in den Ring und prüfen, ob ein aktiver Monitor vorhanden ist
    - ▶ Wieso ist das Überprüfen des aktiven Monitors erforderlich?
  - Test, ob die Adresse im Ring eindeutig ist
  - Teilnahme an der „Neighboring Notification“ Prozedur, um sich bei den Nachbarn bekannt zu machen

- Erlaubt eine 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
- Flexibilität
  - Konfiguration gemäß den Ansprüchen der Benutzer
  - Ortswechsel von Systemen problemlos
- Natürliche Anwendung für Glasfaser

- Token-Bus (IEEE 802.4)
  - 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) ähnlich 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 adressiert werden
    - ▶ Abweichendes Format des Tokens
  - Nur die Nachfolgestation darf Token entgegennehmen
    - ▶ Falls Daten zu senden sind, kann dies dann 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

- Token-Management unterscheidet sich von Token-Ring
  - Durch Bus-Medium begründet
  - Z.B. Generierung des initialen Tokens oder Behandlung von verlorenen Token unterschiedlich zu Token-Ring
- Prioritätsmechanismus ähnlich Token-Ring
  - Allerdings nur vier unterschiedliche Prioritätsklassen
- Anwendungsgebiete
  - Aufgrund deterministischer Sendezeitgarantien v.a. in der Produktionssteuerung, Fabrikautomatisierung

- CSMA/CD

- Vorteile

- ▶ Sehr weit verbreitet, dadurch sehr große Erfahrung
- ▶ Einfaches Protokoll
- ▶ Installation im laufenden Betrieb einfach möglich
- ▶ Passive Kabel
- ▶ Keine Verzögerung bei niedriger Last

- Nachteile

- ▶ Minimale Größe einer Dateneinheit von 64 Byte, maximal 1.500 Byte
- ▶ Nicht deterministisch, keine Prioritäten
- ▶ Begrenzte Kabellänge
- ▶ Geringe Effizienz durch viele Kollisionen problematisch bei höherer Last

- Token-Ring

- Vorteile

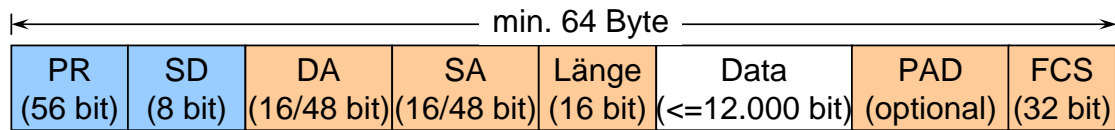
- ▶ Automatische Erkennung und Elimination von Kabelbruch durch Ringverteiler
- ▶ Prioritäten möglich
- ▶ Kurze Dateneinheiten möglich, Länge nur durch THT begrenzt
- ▶ Sehr guter Durchsatz und hohe Effizienz unter hoher Last

- Nachteile

- ▶ Zentralisierter Monitor
- ▶ Unnötige Verzögerung unter niedriger Last
- ▶ Fehlerhafter Monitor kann den gesamten Ring in Mitleidenschaft ziehen
- ▶ Hoher Aufwand durch das Ringmanagement

- Ausgangssituation
  - Zu übertragende Daten werden in so genannte **Dateneinheiten** gegliedert
- Problematik
  - Anfang und Ende der Dateneinheiten muss erkannt werden
  - Dateneinheiten müssen neben den reinen Nutzdaten noch Zusatzinformation transportieren (z.B. Adressen)
  - Grundlegende Gliederung
    - ▶ Kopf
    - ▶ Nutzdaten
    - ▶ Anhang

- Wichtig: Transparenz
    - Ziel: Übertragung jeglicher Kombination von Daten der darüber liegenden Schicht
  
  - Beispiele für Formate von Dateneinheiten
    - CSMA/CD (Ethernet)
    - Token-Ring
- ⇒ Die meisten grundlegenden Prinzipien lassen sich auf andere Protokolle übertragen (auch anderer Schichten)



- PR = Präambel zur Synchronisation (1010101010...)
- SD = *Start-of-frame Delimiter* zeigt Beginn an (10101011)
- DA = *Destination Address*, Zieladresse
- SA = *Source Address*, Quelladresse
- Länge = Anzahl der Oktette im Datenfeld
- Data = Datenfeld, das maximal 1.500 Oktette umfassen darf
- PAD = *Padding*, um zu kurze Datenfelder auf die nötige Länge zu ergänzen
- FCS = *Frame Check Sequence*, Polynomdivision mittels CRC32-Polynom zur Fehlererkennung
- **Wichtig**
  - Einzelne Realisierungen von CSMA/CD (z.B. Ethernet 1.0, Ethernet 2.0 oder IEEE 802.3) verwenden manche Felder in leicht unterschiedlicher Bedeutung

## Token:

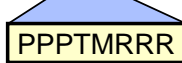
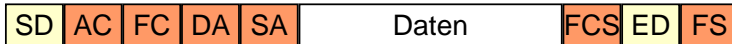
1 1 1 Byte



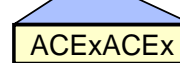
SD	Start Delimiter	AC	Access Control
FC	Frame Control	DA	Destination Address
SA	Source Address	FCS	Frame Check Sequence
ED	End Delimiter	FS	Frame Status

## Dateneinheit mit Nutzdaten:

1 1 1 2/6 2/6 typ. < 5000 4 1 1 Byte



P: Prioritätsbit  
 T: Token oder Daten  
 M: Monitorbit  
 R: Reservierungsbit (für Priorität)



A: Adresse erkannt  
 C: Daten kopiert  
 E: Fehler entdeckt

## Transparenz und Rahmenerkennung durch Coderegolverletzung:

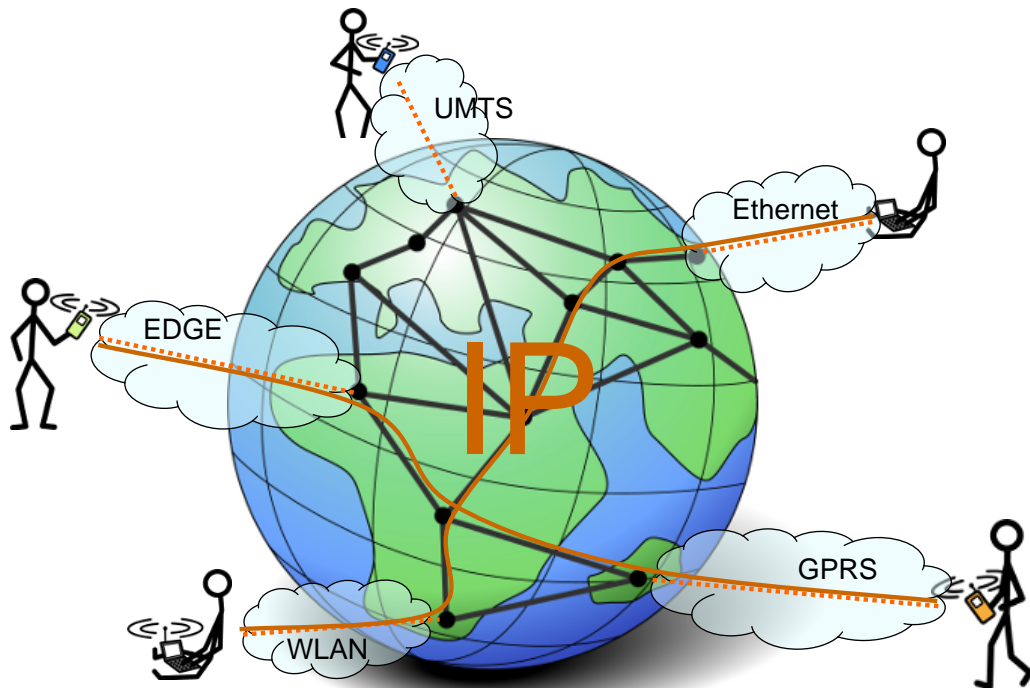
Taktraster



Vorgeschriebener Signalwechsel  
 in der Mitte des Taktrasters fehlt  
 ⇒ Verletzung der differentiellen  
 Manchester-Codierung (ähnlich in ED)

**Folge:** keine Mechanismen wie Stopfen/  
 Längenfeld nötig, um Transparenz und  
 Erkennung der Rahmengrenzen zu  
 gewährleisten.

- **Medienzugriff (MAC)**
  - Konkurrierend
    - ▶ ALOHA
    - ▶ Slotted ALOHA
    - ▶ CSMA/CD
  - Kontrolliert
    - ▶ Token-Ring
    - ▶ Token-Bus
  
- **Dateneinheiten**
  - CSMA/CD-basierte Verfahren
  - Token-Ring
  
- **Ausblick (Mobilkommunikation, Sensornetze)**
  - MAC-Verfahren für drahtlose und mobile Szenarien
  - MAC-Verfahren für Sensornetze



- 7.1 Geben Sie verschiedene Topologien für lokale Netze an.
- 7.2 Nennen Sie unterschiedliche Medienzuteilungsverfahren und kategorisieren Sie diese.
- 7.3 Beschreiben Sie die Funktionsweise von CSMA/CD.
- 7.4 Kann bei CSMA/CD eine Kollision auftreten? Falls ja, wie? Warum existiert bei CSMA/CD eine minimale Länge der Dateneinheiten?
- 7.5 Beschreiben Sie die Prinzipien der Zuteilungsstrategie durch Tokens und zeigen Sie, wie diese Strategie sowohl in einer Ringtopologie eingesetzt werden kann.
- 7.6 Können in einem Token-Ring Kollisionen auftreten? Falls ja, wie?
- 7.7 Auf einem Token-Ring entfernt der Sender obsolete Rahmen. Welche Änderungen müsste man vornehmen, damit der Empfänger den Rahmen entfernt? Was hätten die Änderungen für Konsequenzen?
- 7.8 Gesetzt den Fall, ein Teilnehmer in einem Token-Ring hat Daten auf den Ring gelegt und wird danach irrtümlich aus dem Ringverteiler ausgesteckt. Wie muss der Ringverteiler reagieren? Wie werden die Daten wieder vom Ring genommen?
- 7.9 Vergleichen Sie Ethernet und Token-Ring bezüglich
  - Medienanschluss
  - Quittierung einer Nachricht
  - Eignung für den Realzeitbetrieb
  - Identifizierung der Länge bzw. des Endes eines Rahmens

- [BeGa91] D. Bertsekas, R. Gallager; Data Networks; Prentice-Hall 1991, 2nd Edition
- Kapitel 4 (Schwerpunkt liegt hier auf Leistungsanalyse)
- [DECI09] DE-CIX – German Internet Exchange; <http://www.de-cix.net>
- [FrJo99] H. Frazier, H. Johnson; Gigabit Ethernet: From 100 to 1000 Mbit/s; IEEE Internet Computing; January/February, 1999
- [Hals05] F. Halsall; Computer Networking and the Internet, 2005, 5th Edition
- Kapitel 3
- [Heis08] heise Newsticker;  
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/105917/>
- [Kesh97] S. Keshav; An Engineering Approach to Computer Networking; Addison-Wesley, 1997
- Kapitel 7
- [KoBu94] P. Kowalk, M. Burke; Rechnernetze; Teubner-Verlag, 1994
- Kapitel 7
- [KuRo07] J. Kurose, K. Ross; Computer Networking; Addison Wesley 2007, 4th Edition
- Kapitel 5
- [Stal07] W. Stallings; Data & Computer Communications, Prentice Hall, 2007, 8th Edition
- Kapitel 15 und 16