

Telematik

4. Medienzuteilung



Prof. Dr. Martina Zitterbart

Dipl.-Inform. Thomas Gamer

Dipl.-Inform. Martin Röhrich

[zit | gamer | roehricht]@tm.uka.de



I. Einführung

1. Einführung

II. Internet

2. Ende-zu-Ende Datentransport
3. Routingprotokolle und -architekturen

4. *Medienzuteilung*

5. Brücken

III. Übertragungstechnik

6. Datenübertragung

IV. Telekommunikationsnetze

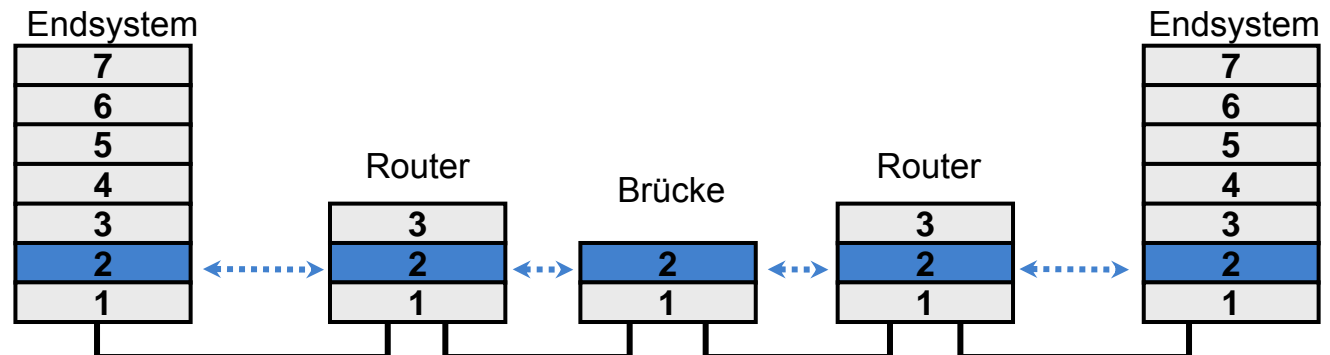
7. ISDN
8. Weitere ausgewählte Beispiele

V. Netzmanagement

9. Netzmanagement

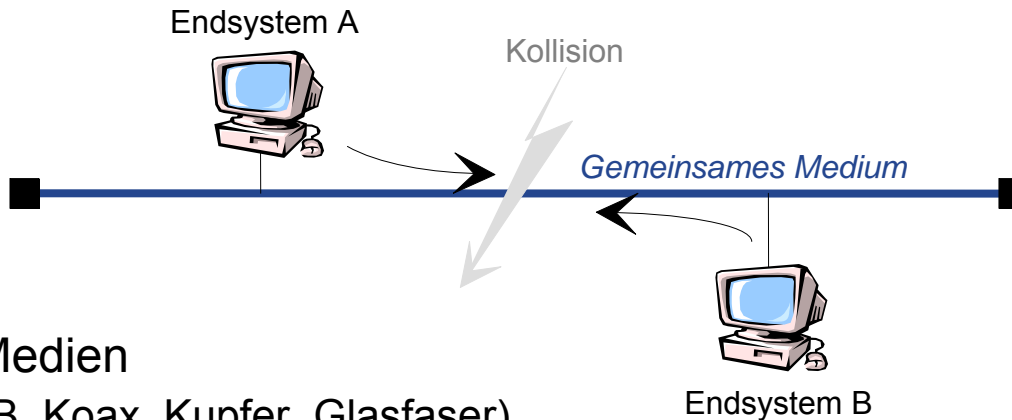
- 4.1 Logical Link Control (LLC)
- 4.2 Zuteilungsstrategien (Übersicht)
 - 4.2.1 Feste Zuteilungsstrategie
 - 4.2.2 Variable Zuteilungsstrategie
 - 4.2.3 Zufallsstrategie
- 4.3 Ethernet
 - 4.3.1 Funktionsprinzip
 - 4.3.2 Exkurs: „Ethernet-Varianten“
- 4.4 Leistungsfähigkeit von Zuteilungsstrategien
 - 4.4.1 Bedienzeit
 - 4.4.2 Auslastung
- 4.5 Zusammenfassung

- Medienzuteilung in lokalen Netzen im Schichtenmodell
 - Schicht 2: Sicherungsschicht (Data Link Layer)
 - ▶ Übertragung von Daten zwischen Dienstnehmern direkt verbundener Systeme
 - ▶ Hop-by-Hop-Prinzip
 - ▶ Erkennung und Behebung von Fehlern der Bitübertragungsschicht möglich (zuverlässiger Dienst)
 - ▶ Gliederung eines Bitstroms in Dateneinheiten
 - ▶ Pufferung sowohl beim Sender als auch beim Empfänger



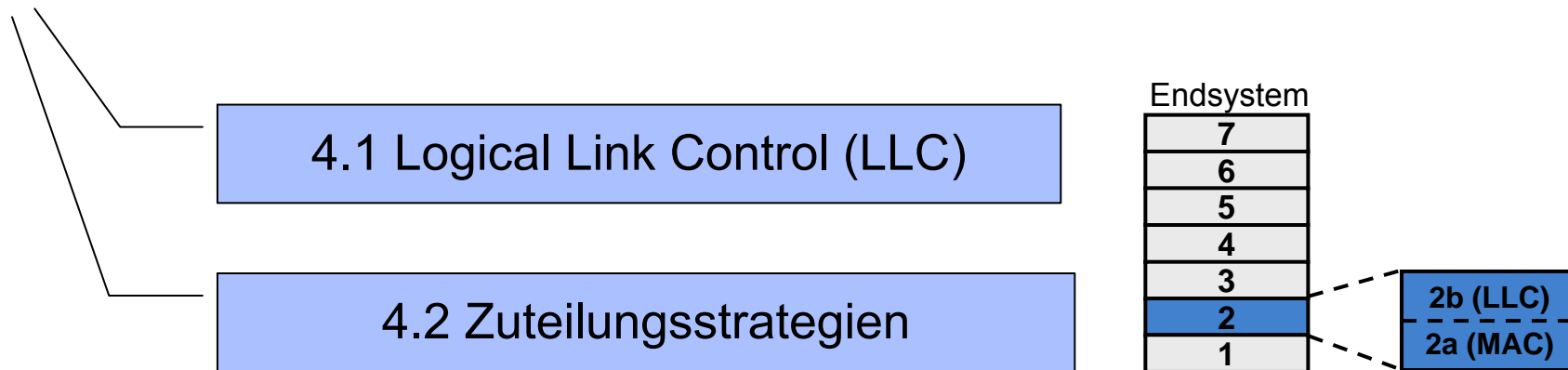
- Beobachtung
 - Zur Vernetzung wird ein gemeinsam benutztes Medium herangezogen
 - ▶ Unterschiedliche Topologien möglich, z.B. Bus, Ring, Stern
 - Die Benutzung dieses Mediums durch die angeschlossenen Systeme muss geregelt werden
 - ▶ Strategien für die Zuteilung des Mediums an die einzelnen Systeme sind erforderlich

- Beispielszenario



- Eingesetzte Medien
 - Kabel (z.B. Koax, Kupfer, Glasfaser)
 - Äther (drahtlose lokale Netze, drahtlose Zugangsnetze, Satellitenkommunikation)
- Wichtige Aspekte, die von der Zuteilungsstrategie berücksichtigt werden müssen
 - Durchsatz, Verzögerung, Stabilität, Fairness

- Unterteilung der Sicherungsschicht in
 - Logical Link Control (LLC)
 - ▶ Dienstzugangspunkt für höhere Schichten
 - ▶ Zuverlässiger und unzuverlässiger Dienst möglich
 - ▶ Transparenz für unterschiedliche Medienzuteilungsverfahren
 - Medium Access Control (MAC)
 - ▶ Einsatz eines konkreten Zuteilungsverfahrens
 - ▶ Fehlererkennung, z.B. Bitfehlererkennung mittels CRC



4.1 Logical Link Control (LLC)

- Ziel
 - Transparenz für unterschiedliche Verfahren zur Medienzuteilung auf MAC-Schicht
- Diensttypen
 - Unbestätigter verbindungsloser Dienst (LLC 1)
 - ▶ Unbestätigte Übertragung von Dateneinheiten
 - ▶ Höhere Schichten sind für die Erhaltung der Reihenfolge, Fehlerbehebung und Flusskontrolle verantwortlich
 - ▶ Wird typischerweise in lokalen Netzen eingesetzt
 - Verbindungsorientierter Dienst (LLC 2)
 - ▶ Verbindungsauf- und -abbau
 - ▶ Datenübertragung mit Bestätigung
 - ▶ Garantierte Ablieferung beim Empfänger
 - ▶ Garantierte Reihenfolge der Dateneinheiten
 - ▶ Flusskontrolle
 - ▶ Stark an HDLC (High Level Data Link Control) angelehnt
 - Bestätigter verbindungsloser Dienst (LLC 3)
 - ▶ Auf jede Dateneinheit kann genau eine Bestätigung folgen
 - ▶ Kein Verbindungsauf- und -abbau

- Grundlegendes

- LLC basiert auf dem HDLC-Protokoll
 - Funktionen und Formate sind ähnlich



- Unterschiede zu HDLC

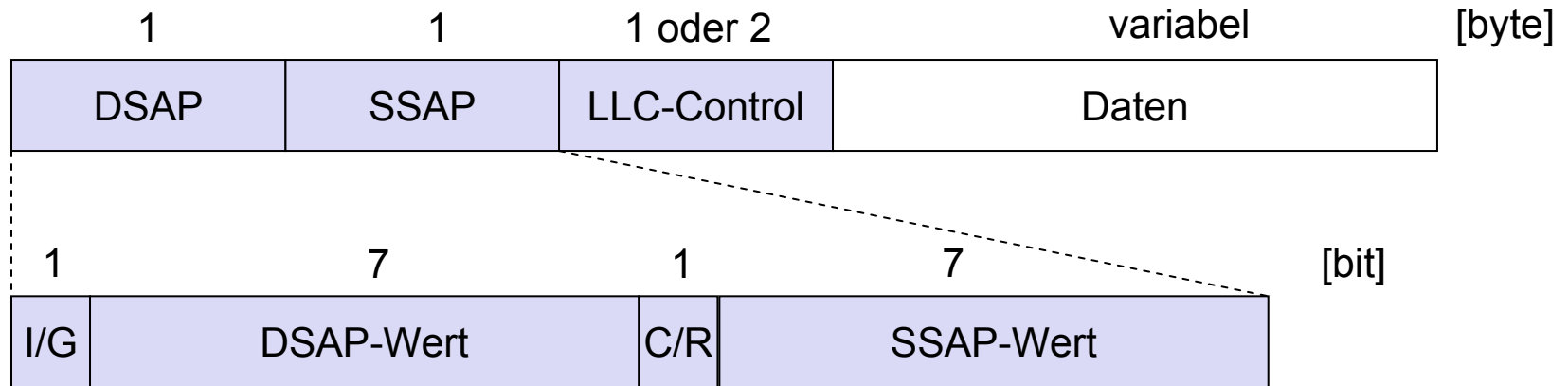
- Unterstützung von Managementfunktionen
 - ▶ LLC kann zwei Arten von Kommandos initiieren (C/R=1)
 - ▶ XID, um Operationstyp und Fenstergröße auszutauschen
 - ▶ TEST, um den Übertragungsabschnitt zwischen den beiden LLC-Instanzen zu testen
 - ▶ Gegenstelle antwortet entsprechend

- Datentransfer
 - ▶ LLC 1 verwendet die UI-Dateneinheit
 - ▶ LLC 2 verwendet den ABM-Modus von HDLC. Die anderen HDLC-Modi werden nicht eingesetzt.
 - ▶ SABME zum Aufbau einer Verbindung; UA als Antwort
 - ▶ I-Dateneinheiten für den Datentransfer
 - ▶ S-Dateneinheiten für Fluss- und Fehlererkennung
 - ▶ DISC zum Abbau einer Verbindung
 - ▶ LLC 3 führt zwei neue UI-Dateneinheiten ein
 - ▶ Acknowledged Connectionless (AC) Command- und Response-Dateneinheiten
 - ▷ Gesendete Daten werden vom Empfänger quittiert
 - ▷ Stop-and-Wait; Sequenznummern 0 und 1 zur Duplikaterkennung

UI-Dateneinheit: Unnumberd Information
I-Dateneinheit: Information
S-Dateneinheit: Supervisory

ABM: Asynchronous Balanced Mode
SABME: Set Asynchronous Balanced Mode extended
DISC: Disconnect

- Format einer LLC-Dateneinheit



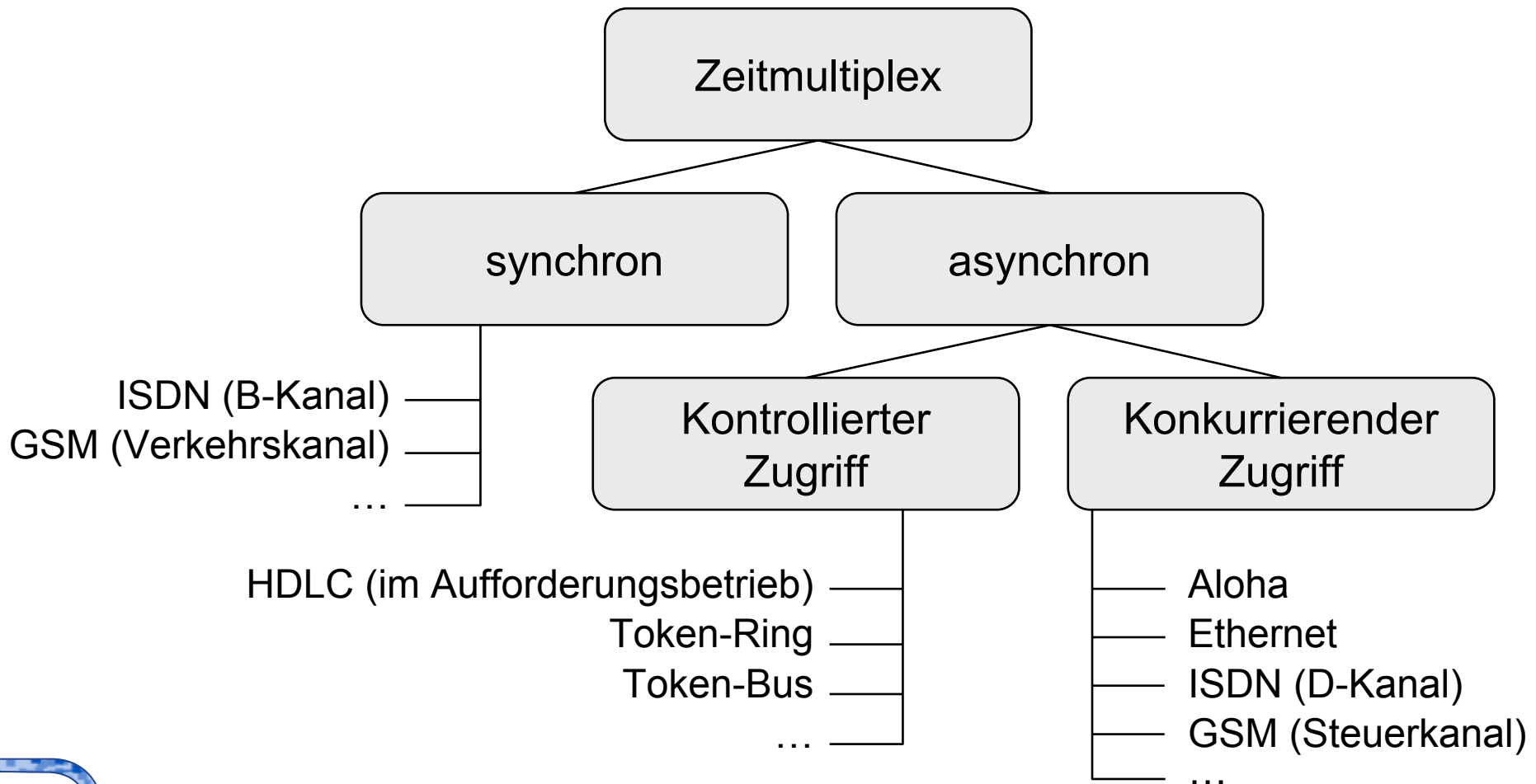
I/G: Individual/Group

C/R: Command/Response

DSAP: Empfängeradresse (*Destination service access point*)

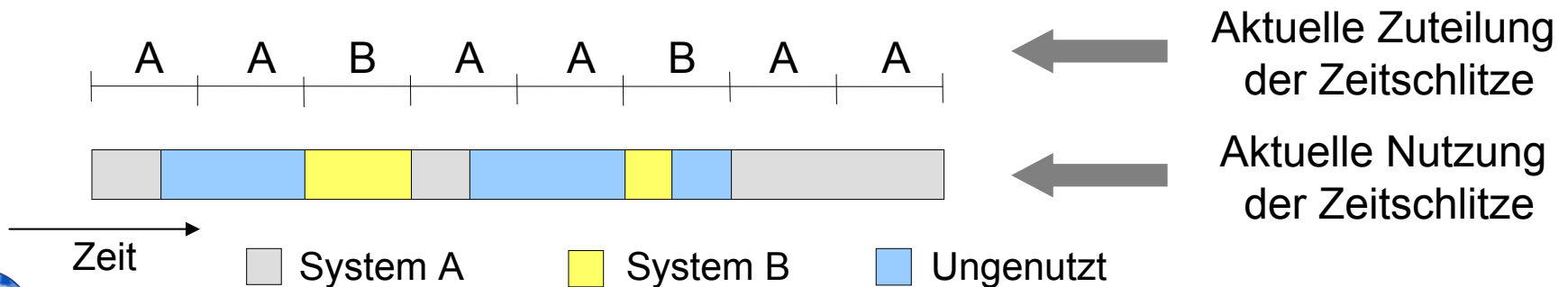
SSAP: Senderadresse (*Source service access point*)

- Hier betrachtet: **asynchroner** Zeitmultiplex

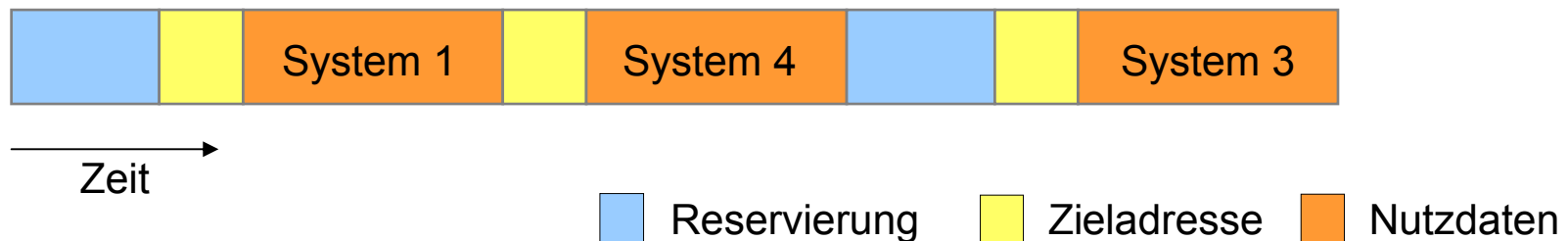


- Folgende Formen der Zuteilungsstrategien lassen sich unterscheiden
 - **Feste Zuteilungsstrategien**
 - ▶ Systeme können zu festen Zeiten senden (synchrones Zeitmultiplexen)
 - **Variable Zuteilungsstrategien**
 - ▶ Systeme können zu beliebigen Zeiten senden (asynchrones Zeitmultiplexen mit kontrolliertem Zugriff)
 - ▶ Zentrale versus dezentrale Kontrolle
 - **Zufallsstrategien**
 - ▶ Systeme können zu beliebigen Zeiten senden (asynchrones Zeitmultiplexen mit konkurrierendem Zugriff)
 - ▶ Keine Medienüberwachung
 - ▶ Kollisionen bei gleichzeitigem Zugriff

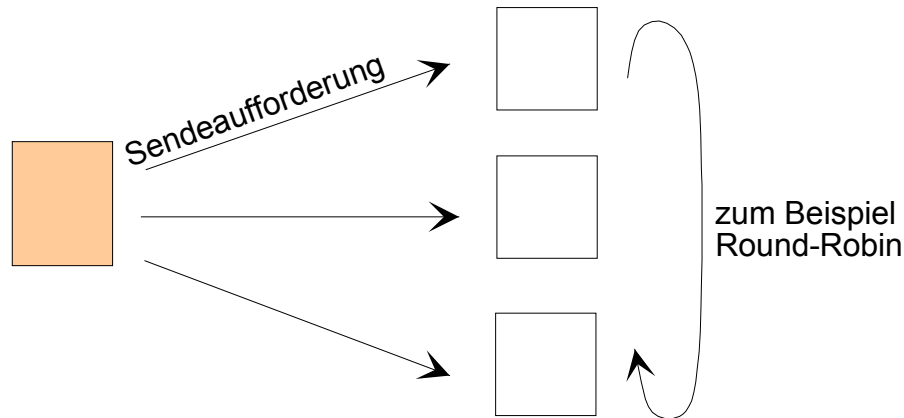
- Prinzip
 - Den Systemen (bzw. Anwendungen) werden feste Zeitintervalle, sog. **Zeitschlitz**, zugeordnet, in denen sie senden dürfen
- Charakteristika und Verwendung
 - Z.B. bei ISDN, Rahmenstruktur mit 30 Zeitschlitz (PCM)
 - Geringer Overhead durch Kontrollinformation
 - Datenrate ist nur in Stufen variierbar, z.B. jeder 30., 15. oder 10. Zeitschlitz
 - Nachteile
 - ▶ Kapazität ist einem System fest zugeordnet, auch falls sie nicht genutzt wird
 - ▶ Beispiel? Für welche Verkehrstypen ist dies ungünstig?
- Grundlegendes Schema



- Prinzip
 - Systeme haben keine fest zugeordneten Zeitschlitz
 - Nutzer muss sich bei jedem Senden identifizieren
- Charakteristika
 - Relativ hoher Overhead durch Kontrolldaten (z.B. Zieladresse)
 - Datenrate flexibel regulierbar
 - Variabel lange Wartezeiten
- Grundlegendes Schema



- Prinzip
 - Ausgewähltes System (Master) fordert andere Systeme (Slaves) über spezielle Dateneinheiten zum Senden auf
- Beispiel

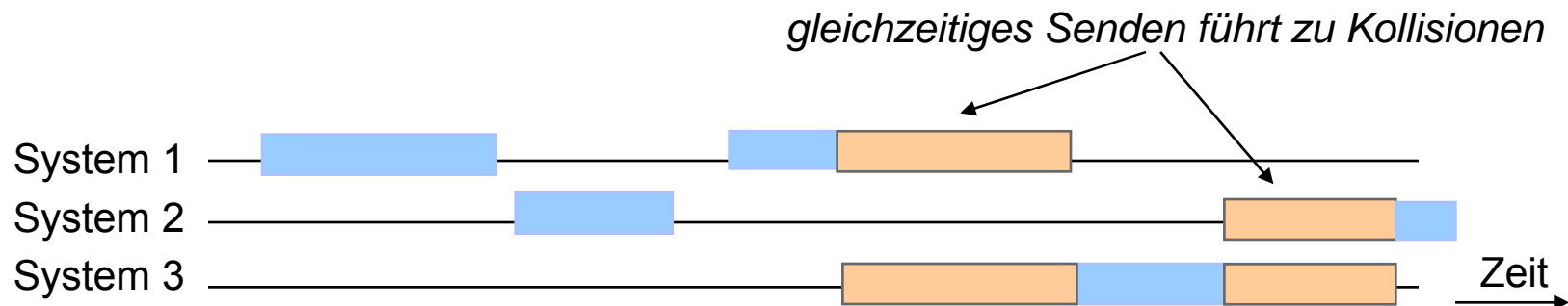


- Empfänger einer Sendeaufforderung darf Daten senden
 - Sendedauer muss geregelt werden
- Zyklus von Sendeaufrufen kann bei großer Anzahl von Systemen sehr lang werden
 - Resultiert eventuell in langen (aber vorhersagbaren) Wartezeiten auf die Zuteilung
- Einsatzbeispiele:
 - Das Protokoll HDLC bzw. Bluetooth.

- Prinzip
 - Sendeberechtigung wird durch Marken (Token) vergeben. Nur dasjenige System, das im Besitz eines Tokens ist darf senden.
- Zuteilung
 - Dezentral vom gerade Sendeberechtigten, wenn dieser keine Daten mehr senden will bzw. darf
- Organisation
 - Netz wird als logischer oder physikalischer Ring organisiert
 - ▶ Jedes System kennt Vorgänger bzw. Nachfolger
 - ▶ Token wird immer an Nachfolger im Ring weitergegeben
 - Problem: Ringmanagement aufwändig, z.B.
 - ▶ Überwachung des Rings,
 - ▶ Verlust von Token,
 - ▶ Ausfall eines Rechners

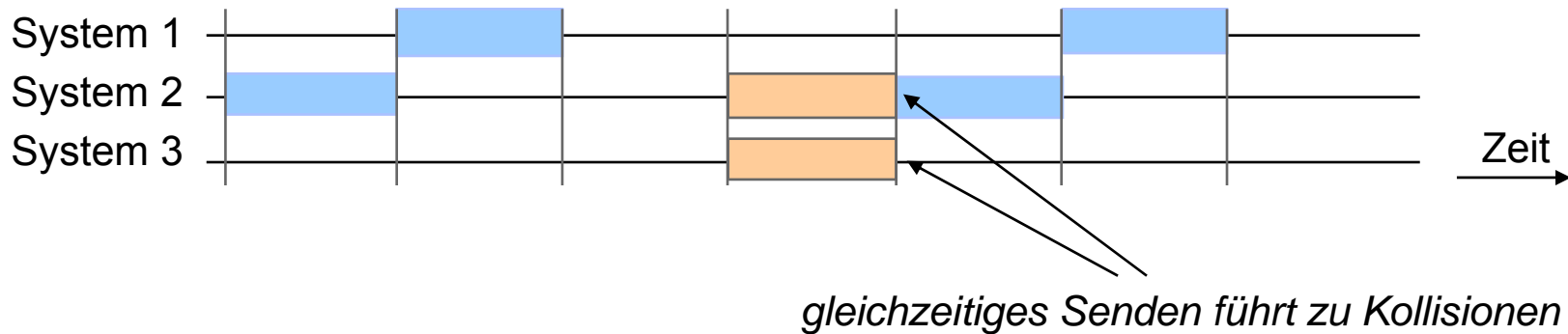
- Zufälliger Zugriff auf das Kommunikationsmedium
 - Systeme senden, sobald Sendewunsch vorliegt
 - ▶ Keine Kontrolldaten notwendig
 - ▶ Keine ungenutzte Kapazität, z.B. durch feste Zuteilung von Zeitschlitz an Systeme ohne Sendewunsch
 - Beobachtung
 - ▶ Bei gleichzeitigem Zugriff können Kollisionen auftreten
 - ▶ Diese müssen vom Sender erkannt werden
 - ▷ Welche Voraussetzungen müssen hierfür erfüllt sein?
 - ▶ Im Fall einer Kollision müssen die Daten erneut gesendet werden
 - ▶ Weitere Kollisionen sollten vermieden werden, z.B. durch zufällige Wartezeit

- Zunächst zur Zugriffskontrolle auf gemeinsamen Satellitenkanal verwendet
- An der Uni Hawaii eingesetzt, um Rechner auf verschiedenen Inseln zu verbinden
- Keine Medienüberwachung
 - System sendet sobald Sendewunsch anliegt



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

- Verbesserte Variante im Vergleich zu Aloha
- Zeit wird in Zeitschlitzte fester Länge unterteilt
 - Senden nur zu Beginn eines Zeitschlitzes möglich
- Keine Medienüberwachung
 - System sendet zu Beginn des nächsten Zeitschlitzes nachdem der Sendewunsch anliegt
 - Im Fall einer Kollision wird bis zur erfolgreichen Übertragung in jedem folgenden Zeitschlitz mit Wahrscheinlichkeit p ein weiterer Sendeversuch gestartet



- Die Wahrscheinlichkeit eines Fehlversuchs sinkt im Vergleich zu Aloha



- Norm Abramson
 - Passionierter Surfer & Interesse an Paketvermittlung
 - Kam 1969 an die Universität Hawaii
 - Entwarf ein drahtloses paketvermitteltes Netz
 - ▶ Zentrales System
 - ▶ Entfernte Systeme sind über zwei Übertragungskanäle angeschlossen
 - ▶ Upstream und Downstream
 - ▶ Zentrales System sendet downstream Quittungen für korrekt empfangene Dateneinheiten
 - Kollisionen auf dem Upstream
 - Entwicklung von Aloha

- Alohanet und ARPAnet
 - 1970 Verbindung von Alohanet und ARPAnet
 - ▶ Metcalfe hat die Ideen von Alohanet aufgegriffen und CSMA/CD entwickelt

- Ablauf

- System prüft, ob das Medium frei ist
- Falls Medium frei ist, kann prinzipiell gesendet werden
- Beginnen mehrere Systeme zu senden, so können Kollisionen auftreten
 - ▶ Wie können diese erkannt werden?

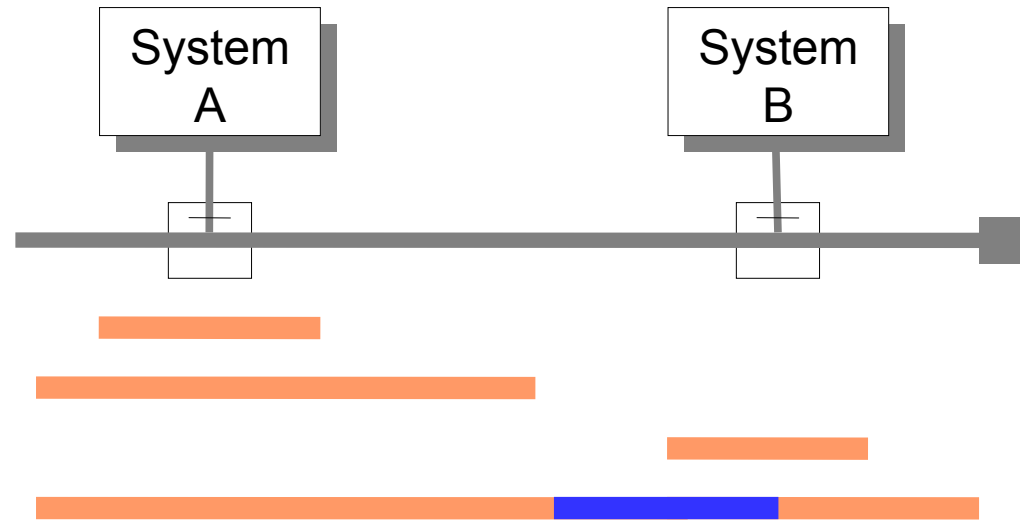
- Das wiederholte Senden regelt ein Backoff-Algorithmus



[s. Folie 4.27]

- CSMA/CD

- Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
- „Listen before talk, listen while talk“

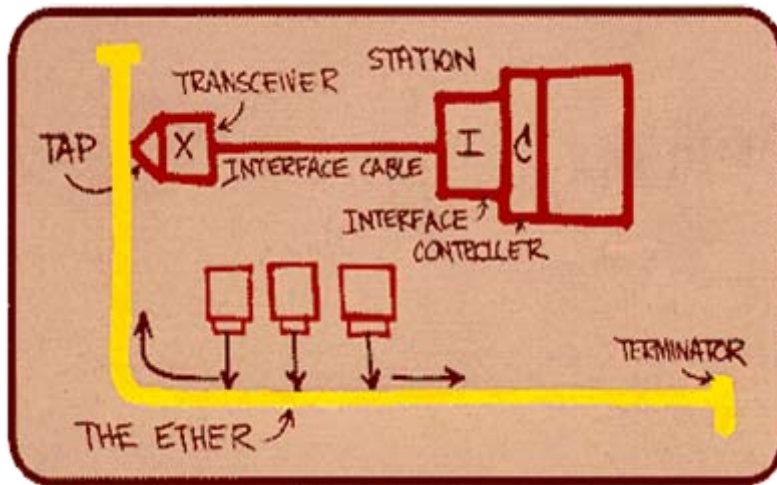




- Beispiel: IEEE 802.11b
 - Datenrate: 11 Mbit/s (effektiv ca. 5.5 Mbit/s)
 - Ad hoc- und Infrastrukturnetze
 - 2 Zuteilungsverfahren
 - ▶ CSMA-basiertes zufälliges Zuteilungsverfahren
 - ▶ DCF: Distributed Coordination Functions
 - ▶ Variables Zuteilungsverfahren mit zentraler Kontrolle
 - ▶ PCF: Point Coordination Functions
 - ▶ Medienzuteilung erfolgt zentral gesteuert durch Pollingverfahren
 - Einsatz einer Zuteilungsstrategie mit Kollisionsvermeidung (Collision Avoidance, CA)
 - Standard 1999 endgültig verabschiedet
- Befindet sich heute breit im Einsatz
 - z.B. Uni-Campus, „Hotspots“ in Flughäfen und Hotels
 - Öffentliche Zugänge durch Privatleute (Free Wireless Networking) in großen Städten, z.B. New York, London, Lokationshinweise über „Warchalking“

- Zuteilungsstrategien in lokalen Netzen
 - Feste Zuteilungsstrategien
 - ▶ Nicht im Einsatz
 - Variable Zuteilungsstrategien
 - ▶ Zentrale Zuteilung durch Polling
 - ▶ Bluetooth
 - ▶ Dezentrale Zuteilung durch Token
 - ▶ Token-Ring
 - ▶ FDDI-Ring (Fiber Distributed Data Interface)
 - ▶ Token-Bus
 - ▶ ...
 - Zufallsstrategien
 - ▶ Aloha
 - ▶ Slotted Aloha
 - ▶ CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)
 - ▶ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)

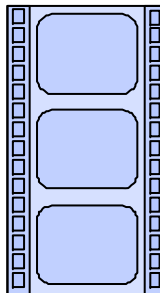
- Bob Metcalfe: der Vater des Ethernet
 - Nach seiner Promotion besuchte Metcalfe Abramson an der Universität von Hawaii und bekam einen guten Einblick in Alohanet. Hat bei Xerox dann zusammen mit David Boggs Ethernet erfunden.
 - ▶ Forscher bei Xerox nutzten vernetzte Computer
 - ▶ Allianz von Xerox, 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



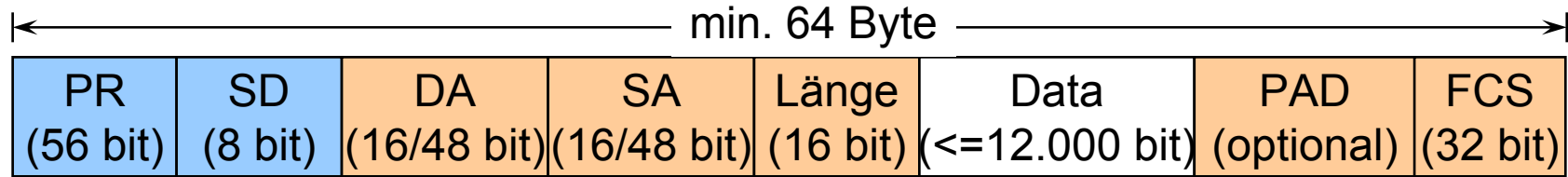
“The diagram ... was drawn by Dr. Robert M. Metcalfe in 1976 to present Ethernet ... to the National Computer Conference in June of that year. On the drawing are the original terms for describing Ethernet. Since then other terms have come into usage among Ethernet enthusiasts.”

The Ethernet Sourcebook, ed. Robyn E. Shotwell (New York: North-Holland, 1985),

Metcalfe, Boggs;
„Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks“;
Communications of the ACM; July 1976



- Funktionsprinzip
 - Listen before Talk (Carrier Sense Multiple Access, CSMA)
 - Listen while Talk (with Collision Detection, CD)
 - Bustopologie mit zufälligem Zuteilungsverfahren
 - Konkurrierendes Zuteilungsverfahren (Wettbewerb)
- Ablauf
 - Wenn Medium aktuell frei, dann senden
 - Bei Kollision: Jamming-Signal; Abbruch des Sendevorgangs
 - Kollisionserkennung erfordert Mindestlänge der 802.3-MAC-Dateneinheiten
 - ▶ Sendung darf nach Signallaufzeit von A nach B und zurück noch nicht beendet sein. Weshalb? Wie schnell ist ein Signal?
 - Nach Kollision erneuter Versuch (1-persistent); Backoff-Algorithmus
 - Mindestlänge der Dateneinheiten hängt von der maximalen Ausdehnung des Netzes und von der Ausbreitungsverzögerung ab. Sie wird durch ein sogenanntes Stopffeld (PAD) in der Dateneinheit sichergestellt.

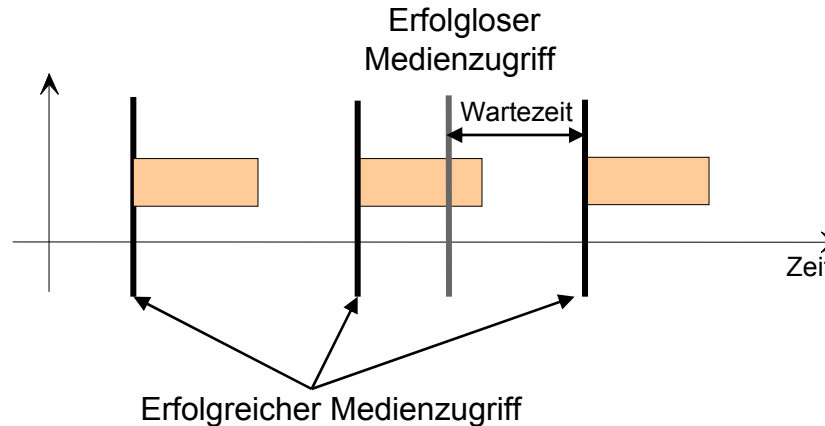


- PR = Präambel zur Synchronisation (1010101010...)
- SD = *Start-of-frame Delimiter* zeigt Beginn an (10101011)
- DA = *Destination Address*, Zieladresse
- SA = *Source Address*, Quelladresse
- Länge = Anzahl der Oktette im Datenfeld
- Data = Datenfeld, das maximal 1.500 Oktette umfassen darf
- PAD = *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

- Regelt Wartezeit der Systeme nach Kollision bis zum nächsten Sendeversuch
 - 1. Kollision
 - ▶ Wartezeit: 0/1 Zeitschlitz
 - 2. Kollision
 - ▶ Wartezeit: 0/1/2/3 Zeitschlitz
 - i . Kollision
 - ▶ Wartezeit: 0/1/ ... / $2^i - 1$ Zeitschlitz
 - i ist nach oben begrenzt auf 16, danach wird Systemfehler angenommen.
- Zeitschlitz
 - Kanal wird logisch in Zeitschlitz fester Länge aufgeteilt. Ein Zeitschlitz ist 512 Bit lang, das entspricht 51.2 μ s.
 - Weshalb diese Länge der Zeitschlitz?
 - ▶ Größte Ausbreitungsverzögerung (Ende-zu-Ende): 12,5 μ s.
 - ▶ Im schlechtesten Fall benötigt die Signalisierung einer Kollision zwischen Sender und Empfänger 25 μ s.
 - ▶ Repeater zwischen Segmenten erzeugen Verzögerung: Verzögerung auf 50 μ s erhöht.
 - ▶ Bei 10 Mbit/s ergibt dies $10 \times 10^6 \times 50 \times 10^{-6} = 500$ [Bit]
 - ▶ Sicherheit von 12 Bit addiert \rightarrow 512 Bit

- Problem

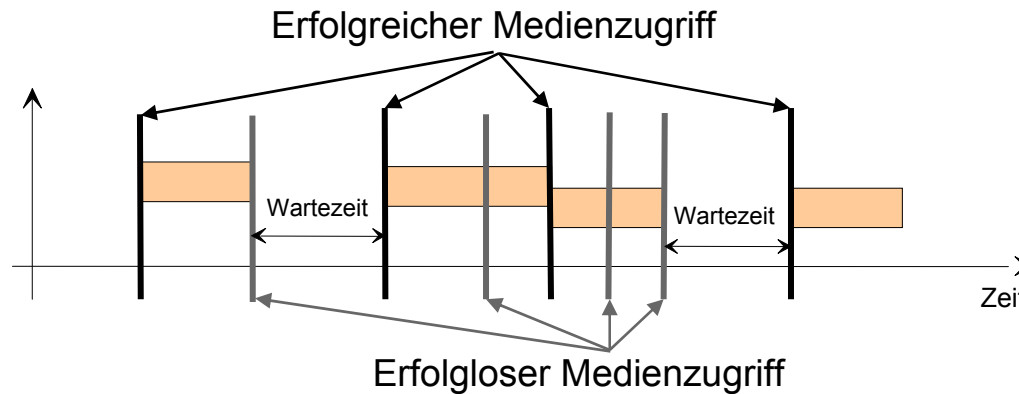
- Wie wird nach einem erfolglosen Medienzugriff, d.h. das Medium war belegt, verfahren?



- Strategien

- Nicht persistent
 - ▶ Ist das Medium frei, so wird sofort wieder gesendet
 - ▶ Ist das Medium belegt, so wartet das System eine zufällig berechnete Zeitspanne und startet einen neuen Versuch für den Medienzugriff
- 1-persistent
 - ▶ System hört das Medium weiterhin ab und startet den eigenen Medienzugriff sofort nach Abschluss der laufenden Übertragung (Sendewahrscheinlichkeit = 1)

- p -persistent ($0 < p < 1$)
 - Ist das Medium belegt, so hört das System weiterhin das Medium ab. Nach Ende der laufenden Übertragung sendet es seine Daten mit einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit p sofort oder wartet mit Wahrscheinlichkeit $1 - p$ eine festgelegte Zeitspanne t . Falls das Medium bei der ersten Überprüfung frei ist, wird ebenso verfahren.

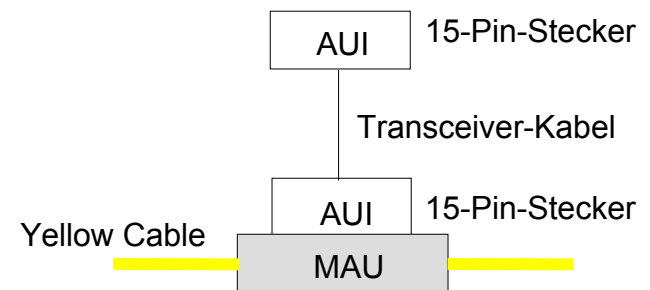
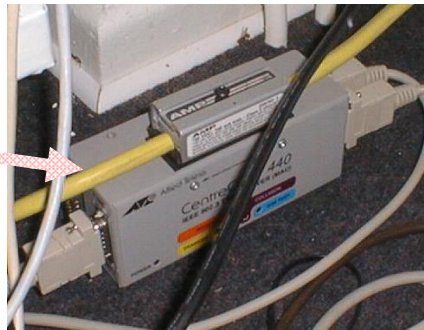


- Implementierung muss einen Kompromiss finden zwischen
 - der Minimierung der Anzahl von Kollisionen und
 - einer möglichst permanenten Nutzung des Mediums.
- In der Praxis (Ethernet) wird
 - beim **ersten Sendeversuch** eine 1-persistente Strategie und
 - beim erneuten Sendeversuch **nach einer Kollision** ein Backoff-Algorithmus mit anschließender 1-persistenter Strategie verwendet.

- Ausgehend vom ursprünglichen Ethernet entwickelten sich im Laufe der Zeit weitere Varianten
 - z.B. da höhere Geschwindigkeiten im Bereich der Endsysteme benötigt werden
 - ▶ Die Geschwindigkeit der Endsystem-Anbindung steigt
 - ▶ ISDN → DSL → DSL-16000
 - ▶ Die Bandbreiten-Anforderungen der Anwendungen steigen
 - ▶ z.B. Hochqualitatives Videostreaming
 - Günstiger Aufbau von Metropolitan Area Networks (MAN)
 - ▶ Vernetzung von Providern oder geographisch entfernten Gebäuden, z.B. für Interbuilding Backbones
 - ▶ Mindestens die Datenrate bestehender Links muss erreicht werden
 - ▶ Ethernet auf der gesamten Strecke
 - ▶ Keine Umsetzung z.B. in ATM notwendig
- Im Folgenden werden diese Varianten und ihre technischen Realisierungen vorgestellt
 - Ethernet
 - Fast Ethernet
 - Gigabit Ethernet
 - 10-Gigabit Ethernet and beyond

- Technische Realisierung: Ethernet (in zwei Versionen 1.0 und 2.0)
 - 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 Codierung (vgl. Kapitel 6)
 - ▶ Lösung: robust, teuer, unflexibel

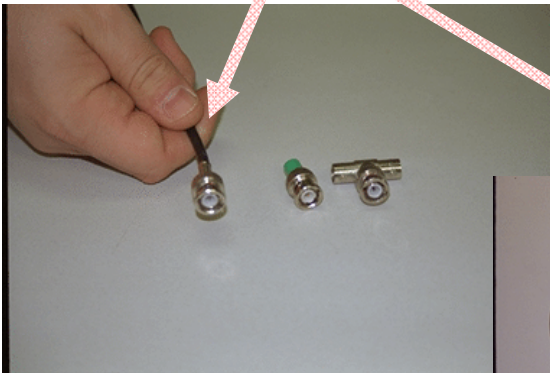
Vierfach-Transceiver



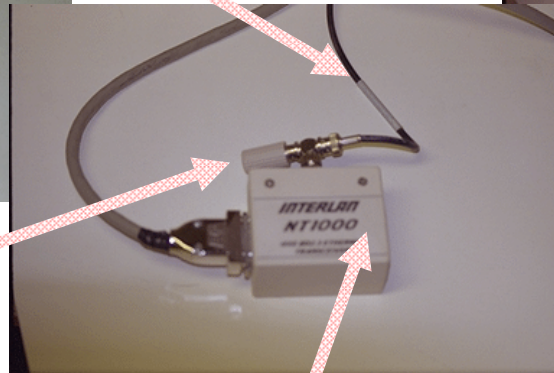
AUI: Attachment Unit Interface
(mediumunabhängige Schnittstelle)

MAU: Medium Attachment Unit

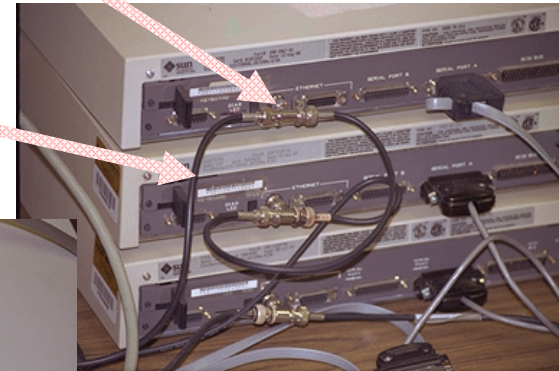
- 10Base2, Thin Wire Ethernet, Cheapernet
 - ▶ 10Base2: 10 Mbit/s, Basisbandübertragung, 185 Meter-Segmente
 - ▶ 30 Systeme pro Segment im Abstand von mindestens 0,5 m
 - ▶ Transceiver meist direkt auf Ethernet-Adapter im Rechner (BNC-Buchse, T-Stück)
 - ▶ Koaxialkabel



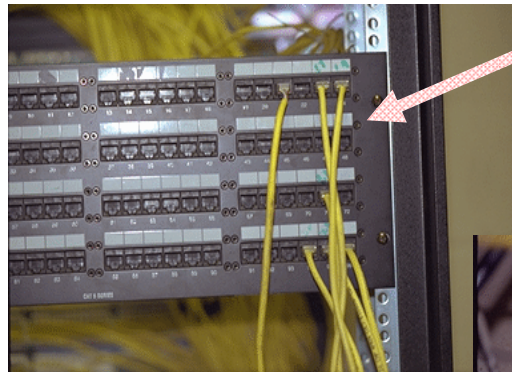
Abschlusswiderstand
zur Signalvernichtung



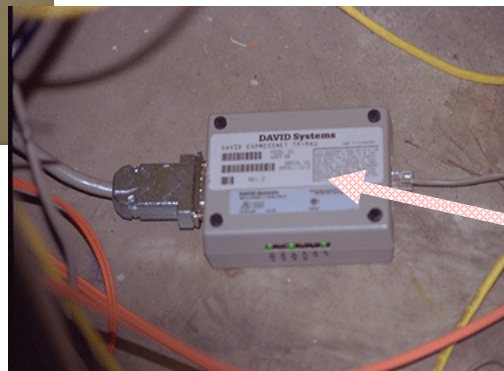
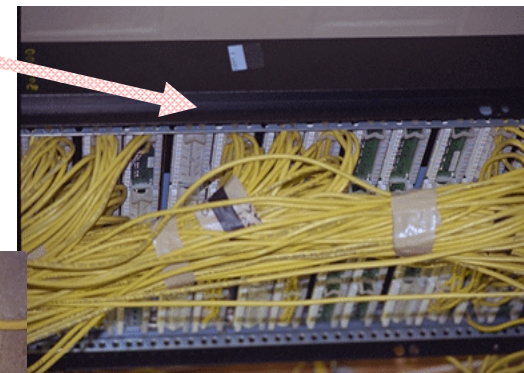
Transceiver



- 10Base-T, Twisted Pair
 - ▶ 10 Mbit/s, Basisbandübertragung
 - ▶ Verdrillte Leitungen
 - ▶ Zwei Adernpaare, eines je Richtung
 - ▶ Kollision: Empfang von Daten während des Sendens (getrennte Adernpaare)
 - ▶ Jedes System (max. 1024) ist über (max. 100 m) Punkt-zu-Punkt-Verbindung an Multiport-Repeater angeschlossen (Hub, Verteilerkasten, Konzentrator)
 - ▶ In USA als Telefonkabel einsetzbar



„patch-panels“ für
die Sternverkabelung




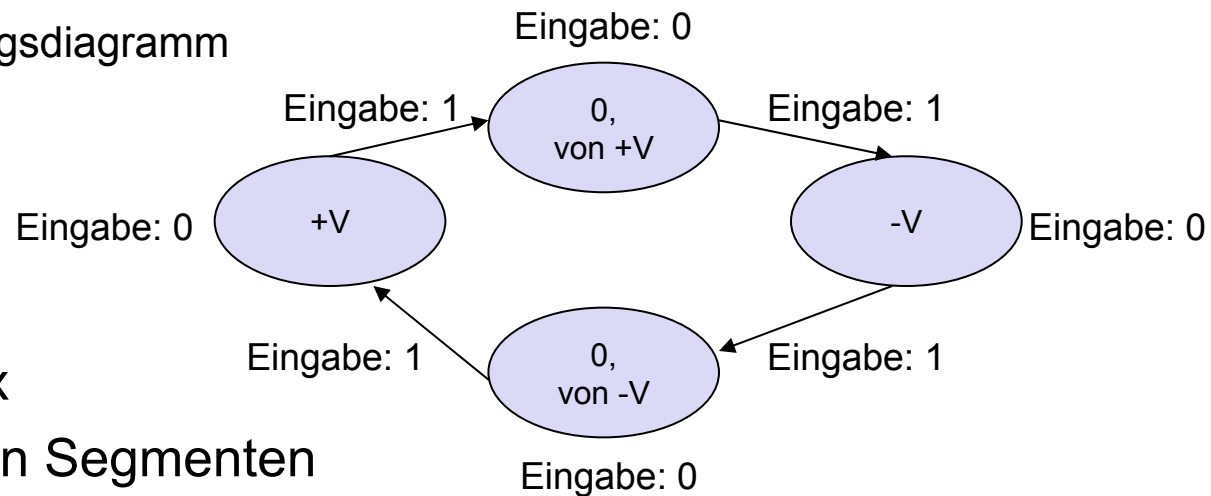
Transceiver

- IEEE 802.3u: 100Base-T-Technologie
 - 1995 standardisiert („Fast Ethernet“)
 - Vertreter: Grand Junction Networks, Digital, Intel, SUN, 3Com, ...
 - Charakteristika
 - ▶ Datenraten von 10-100 Mbit/s
 - ▶ Medienzuteilungsverfahren und Format der Dateneinheiten wird von CSMA/CD übernommen
 - ▶ Welche Probleme bringt dies mit sich?
 - ▶ Flexibles Verkabelungskonzept (Hierarchie von Hubs)
 - ▶ Kompatibilität zum existierenden Ethernet-Standard
 - einfache Migration
 - ▶ „Autonegotiation“
 - ▶ Protokoll zur automatischen Festlegung der Datenrate
 - ▶ Multiport-Bridges („Switches“):
 - ▶ Jeder Port des „Switches“ ist vergleichbar mit einem eigenen Netzsegment
 - ▶ Vollduplex-Betrieb möglich (kein CSMA/CD mehr erforderlich)
 - ▶ Senderate kann durch PAUSE-Dateneinheiten gedrosselt werden

- Basierend auf Twisted-Pair-Verkabelung der Kategorie 3 (16 MHz)
 - Max. 100m Kabellänge pro Segment (zwischen Netzwerkkarte und Hub)
 - Daten werden bei der Übertragung auf 4 Adernpaare aufgeteilt
 - ▶ Drei Adernpaare zum Senden und drei Adernpaare zum Empfangen
 - ▶ Zwei Adernpaare müssen bidirektional konfiguriert werden
 - Kollisionserkennung
 - ▶ Empfang von Daten auf einem der vier Adernpaare, während auf den anderen drei Adernpaaren gesendet wird
 - ▶ Gleiche Adernpaare wie bei 10Base-T
 - ▶ JAM-Signal wird bei Kollisionserkennung gesendet
- Nur Halbduplex-Verkehr möglich
- Kodierung
 - Ternärer Kode (8B6T)
 - ▶ Mit Manchester wären 66,6 MBaud (Nyquist: 33,3 MHz) erforderlich. Das Kabel limitiert auf 32 MBaud!
 - ▶ Mit 8B6T sind nur 25 MBaud (12,5 MHz) erforderlich

Max. 200 m bei mehreren Segmenten

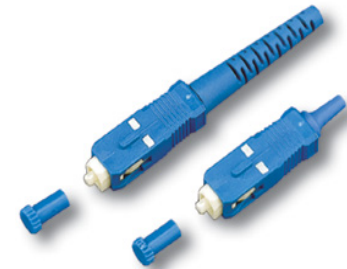
- Basiert auf Twisted-Pair-Verkabelung der Kategorie 5 (bis 100 MHz)
 - Max. 100m Kabellänge pro Segment (zwischen Netzwerkkarte und Hub)
 - Verwendung von zwei Adernpaaren: Je eines für Senden und Empfangen
- Kodierung
 - 4B5B-NRZI wird zu NRZ konvertiert  [s. Kapitel 6]
 - Bitstrom wird verwürfelt
 - Der verwürfelte Bitstrom wird mit MLT-3 (Multi level Threshold) codiert
 - ▶ Dreiwertiges Modulationsverfahren
 - ▶ Zustandsübergangsdiagramm



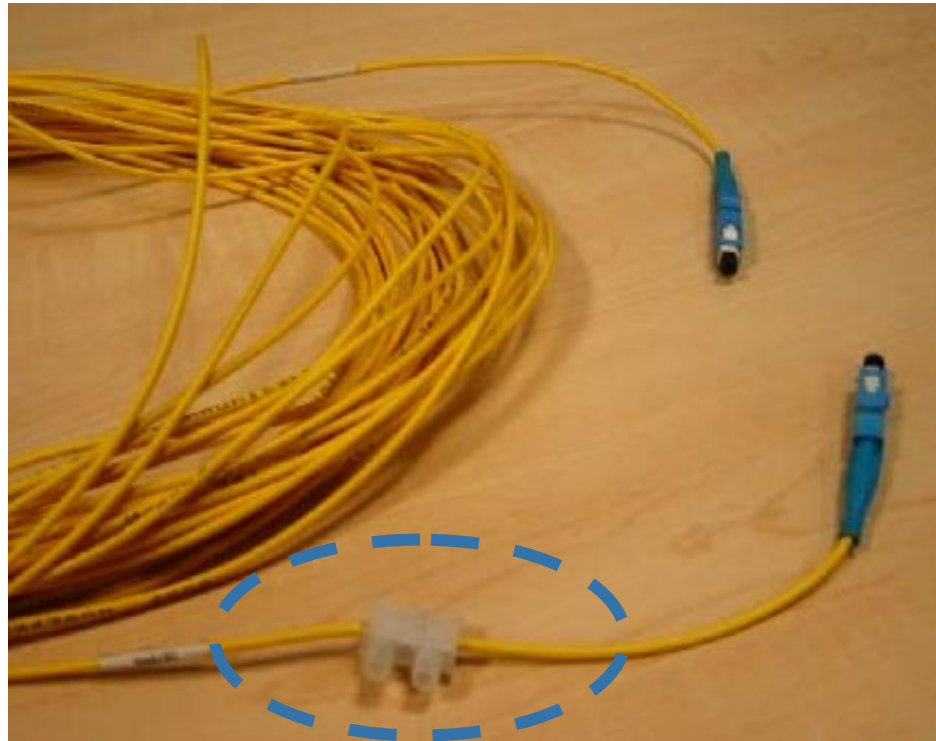
- Datenverkehr vollduplex
- Max. 200m bei mehreren Segmenten

- Multimode- oder Monomode-Fasern (benötigt zwei Lichtwellenleitungen)
- Datencodierung mittels 4B5B-NRZI
 - ▶ 4 bit werden mit 5 bit codiert
 - Schrittgeschwindigkeit von 125 Mbaud benötigt
- Sternförmige Verkabelung
- Datenverkehr vollduplex
- Max. 400 Meter

- Technische Realisierung: 1000Base-SX
 - Basierend auf Multimode-Glasfaser und kurzen Wellenlängen (830 nm)
 - ▶ Geeignet für Verkabelung innerhalb von Gebäuden, z.B. für Intrabuilding Backbones
 - ▶ Kostengünstiger als andere Glasfasertypen
 - ▶ Sternförmige Verkabelung
 - ▶ Datenverkehr vollduplex
 - Kodierung
 - ▶ 8B/10B-Codierung
 - ▶ Übertragung mit NRZ
 - ▶ Schrittgeschwindigkeit von 1,25 Gbaud



- Nachteil von 1000Base-SX
 - Glasfaserverkabelung und –handhabung kostspielig
 - ▶ Transceiver / Stecker / Kabelverspleißung
 - ▶ Suche nach Stellen mit erhöhter Dämpfung aufwendig



- Wegen der weiten Verbreitung der ungeschirmten verdrehten Doppeladern soll Gigabit-Ethernet auch für diese Kabeltypen (UTP-5) möglich sein. Aber:
 - Länge von bis zu 100 m soll beibehalten werden
 - Wegen 8B/10B-Codierung: 1.250 Mbaud zur Übertragung notwendig!
 - Probleme mit Übersprechen, Dämpfung, Abstrahlung, ...
 - Lösung: Parallele Nutzung aller vier Doppeladern
 - Sternförmige Verkabelung, keine Kollisionen
 - Steuerung des Senders durch Sternpunkt
 - Modulationsverfahren: PAM5 (Pulsamplitudenmodulation mit fünf Zuständen)
 - ▶ Über die 4 Adernpaare kann pro Signalschritt 1 Byte übertragen werden
 - Codierungsverfahren: Trellis-Codierung und Scrambling (Verwürfeln der Bits)
 - Duplexbetrieb durch Echokompensation
- Reduktion auf 125 Mbaud pro Adernpaar (UTP-5 ausreichend)

 [FrJo99]

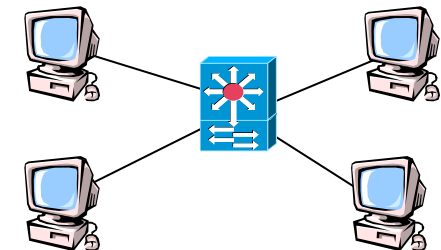
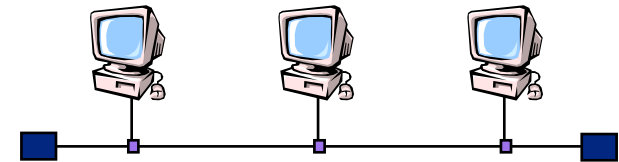
- Technische Realisierung
 - 10GBase-SR
 - ▶ Geeignet z.B. für die Verkabelung zwischen Gebäuden
 - ▶ Basierend auf Multimode-Glasfaser und kurzen Wellenlängen (830 nm)
 - ▶ Vollduplex-Betrieb
 - ▶ 66B/68B-Kodierung
 - 10GBase-T
 - ▶ Modulationsverfahren: PAM-16 (Pulsamplitudenmodulation mit 16 Zuständen)
 - ▶ Vollduplex-Betrieb
 - ▶ Max. Ausbreitung abhängig vom Kabeltyp
 - ▶ z.B. bis zu 100m mit UTP-6a
- Die Weiterentwicklung von Ethernet läuft bereits...
 - 40-Gbit Ethernet
 - ▶ Vergleichsweise kleiner Schritt von 10-Gbit auf 40-Gbit Ethernet
 - ▶ Zwischenschritt auf dem Weg zu 100-Gbit Ethernet
 - 100-Gbit Ethernet
 - ▶ Standardisierung läuft parallel zu 40-Gbit Ethernet

- Begriff der **Kollisionsdomäne**

- Bereich des Netzwerks, der vom Auftreten einer Kollision betroffen ist
 - ▶ CSMA/CD zur Kollisionserkennung benötigt

- Ausdehnung der Kollisionsdomäne

- Im Fall einer Bustopologie
 - ▶ Gesamtes Segment stellt die Kollisionsdomäne dar
 - ▶ Bei Nutzung eines Repeaters oder Hubs zur Kopplung von Segmenten erstreckt sich die Kollisionsdomäne auf alle Segmente
- Im Fall einer Sterntopologie
 - ▶ Begrenzung der Kollisionsdomäne hängt vom Typ des Sternverteilers ab
 - ▶ Repeater und Hubs begrenzen die Kollisionsdomäne nicht
 - ▶ Switch begrenzt die Kollisionsdomäne auf das angeschlossene Endsystem
 - ▶ Bei Nutzung des Vollduplexmodus können keine Kollisionen in den Endsystemen auftreten
 - ▶ CSMA/CD wird nicht mehr benötigt
 - ▶ Dennoch Kollisionserkennung im Sternverteiler notwendig
- 10GB-Ethernet und höher sieht CSMA/CD und Halbduplexmodus nicht mehr vor



- Ethernet**

	10Base5	10Base2	10Base-T
<i>Medium</i>	Koaxialkabel		Twisted Pair
<i>Kodierung</i>	Manchester		
<i>Topologie</i>	Bus		Stern

- Fast Ethernet**

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

- Gigabit Ethernet and beyond**

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

- Mögliche Bewertungskriterien:
 - Wie lange benötigt man, um eine gewisse Datenmenge zu übertragen?
 - ▶ Bedienzeit
 - Wie gut wird Medium genutzt?
 - ▶ Auslastung
 - Wie groß sind die Verzögerungsschwankungen?
 - Wie komplex sind die Verfahren in der Umsetzung?

Two lines originate from the list of criteria. One line points to the first criterion, "Wie lange benötigt man, um eine gewisse Datenmenge zu übertragen?", and the other points to the second criterion, "Wie gut wird Medium genutzt?".

4.4.1 Bewertungskriterium: Bedienzeit

4.4.2 Bewertungskriterium: Auslastung

- Überblick über die im Folgenden verwendeten Parameter:
 - r : Datenrate der Übertragungsstrecke [bit/s]
 - r_e : erzielte Datenrate [bit/s]
 - N : Anzahl der teilnehmenden Systeme
 - X : zu übertragende Datenmenge [bit]
 weitere Annahme: X sei auch mittlere Länge einer Dateneinheit [bit]
 - t_w : Wartezeit (bis das Medium zugeteilt wird) [s]
 - t_s : Sendezeit [s]
 - t_{bf} : Bedienzeit bei fester Zuteilungsstrategie [s]
 - t_{bv} : Bedienzeit bei variabler Zuteilungsstrategie [s]
 - U : Auslastung ($= r_e / r$)
 - d : maximale Distanz zwischen zwei Systemen [m]
 - t_a : Ausbreitungsverzögerung [s]
 - v : Ausbreitungsgeschwindigkeit [m/s]
 - a : t_a / t_s (Ausbreitungsverzögerung/Sendezeit)

- Feste Zuteilungsstrategie
 - Verfügbare Datenrate wird gleichmäßig auf N Systeme aufgeteilt
 - ▶ Alle Zeitschlitzze sind gleich lang
 - ▶ Jedes System erhält einen von jeweils N Zeitschlitzzen
 - ▶ Jedem System wird damit eine Datenrate von r/N [bit/s] zugeteilt
 - Die Bedienzeit t_{bf} für die Datenmenge X beträgt:

$$t_{bf} = Nt_s = N \frac{X}{r} [s]$$

- Wartezeit t_w muss mit berücksichtigt werden
- Bedienzeit setzt sich aus Wartezeit und Sendezeit zusammen:

$$t_{bv} = t_w + t_s$$

- Berechnung der Sendezeit:

$$t_s = X/r \text{ [s]}$$

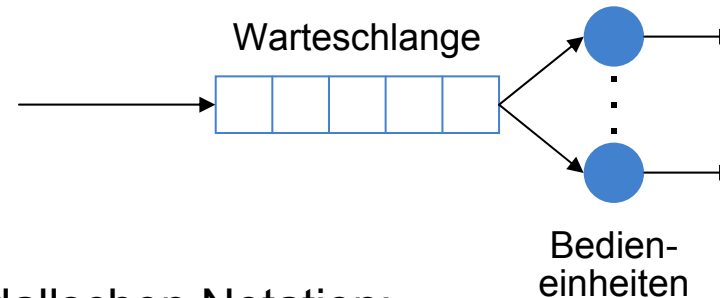
- Berechnung der Wartezeit:

- Wartezeit ist abhängig von der Auslastung U
- Annahme: Bedienzeiten seien negativ exponentiell verteilt
 - ▶ Gängige Annahme in traditionellen Telekommunikationssystemen
- Verwendung der P-K-Formel zur Berechnung der mittleren Wartezeit
 - ▶ Zusätzlicher Parameter:

t_{avg} : mittlere Zeit, die eine Datenübertragung benötigt

$$t_w = \frac{U t_{avg}}{1 - U}$$

- Kontext
 - Modellierung von Kommunikationssystemen auf der Basis von Wartesystemen
- **Wartesystem**: Kombination einer Warteschlange mit einer oder mehreren Bedieneinheiten



- Beschreibung in der Kennfallschen Notation:
Zwischenankunftszeiten/Verteilung der Bedienzeiten/Anzahl der Bedieneinheiten
- Beispiele:
 - ▶ **M/M/1** (M: Exponential-Verteilung),
 - ▶ **M/G/1** (G: Allgemeine Verteilung).
- P-K-Formel bestimmt mittlere Wartezeit in M/G/1-Systemen

- Bedienzeit: $t_{bv} = t_w + t_s$

▶ ... eingesetzt:
$$t_{bv} = \frac{U t_{avg}}{1-U} + \frac{X}{r} [s]$$

- Weitere Annahme:

- ▶ X sei zugleich mittlere Länge der Dateneinheiten. Deren mittlere Übertragungszeit beträgt:

$$t_{avg} = \frac{X}{r} [s]$$

- Damit ergibt sich insgesamt:

$$t_{bv} = \frac{U X/r}{1-U} + \frac{X}{r} = \frac{X}{r} \left(\frac{U}{1-U} + 1 \right) = \frac{X}{r} \frac{1}{1-U} [s]$$

- Damit direkter Vergleich der Bedienzeiten für feste und variable Zuteilungsstrategien möglich.

$$\frac{t_{bf}}{t_{bv}} = \frac{\frac{X}{r} N}{\frac{X}{r} \frac{1}{1-U}} = N(1-U)$$

- Beobachtung


- Ist t_{bf} größer als t_{bv} dann ist dieser Wert größer als Eins. Für die Auslastung gilt dann: $U < 1 - 1/N$
 - ▶ Damit gilt: Für eine Auslastung U bis zu 50% ist t_{bf} immer schlechter als t_{bv} . (Beachte: es gilt immer $N \geq 2$).
 - ▶ Für $N = 10$ Systeme ist eine Auslastung bis zu 90% erzielbar, bevor t_{bv} schlechter ist als t_{bf}
 - ▶ Für $N = 30$ Systeme ist eine Auslastung bis zu 97% erzielbar, bevor t_{bv} schlechter ist als t_{bf}

- Berechnung der Bedienzeiten für feste und variable Zuteilungsstrategien
 - Vergleich beider Strategien möglich
 - Entscheidung, welches die bessere Strategie ist, hängt von der Anzahl der Systeme und der Auslastung ab

4.4.1 Bewertungskriterium: Bedienzeit ☺

4.4.2 Bewertungskriterium: Auslastung

- Bewertung ausgewählter Verfahren im Hinblick auf
 - den Anteil an Zeitschlitzten, die für erfolgreiche Übertragungen genutzt wurden
 - ▶ Slotted Aloha
 - ▶ Aloha
 - Anteil der für Übertragungen genutzten Kapazität des Mediums im Vergleich zur verfügbaren Kapazität
 - ▶ Ethernet
 - ▶ Token Ring

- Annahmen
 - Alle Dateneinheiten haben gleiche Länge und passen in einen Zeitschlitz
 - Alle Systeme starten Übertragung nur am Beginn eines Zeitschlitzes  [Kuro07]
 - Alle Systeme arbeiten synchronisiert
 - Falls eine Kollision auftritt, wird diese von allen Systemen vor Ende des Zeitschlitzes erkannt
 - Jedes System versucht Übertragung in jedem Zeitschlitz mit Wahrscheinlichkeit p
 - ▶ Alle Systeme haben immer Daten zu senden
- Vereinfachter Ablauf
 - System wartet bis zum Beginn eines Zeitschlitzes mit dem Senden einer Dateneinheit und sendet diese dann mit Wahrscheinlichkeit p
 - Falls keine Kollision auftrat kann nachfolgend eine neue Dateneinheit gesendet werden
 - Falls Kollision auftrat, wird in allen nachfolgenden Zeitschlitzten die Dateneinheit mit Wahrscheinlichkeit p wiederholt, bis eine Übertragung ohne Kollision geglückt ist
- Bewertung
 - **Auslastung:** Anteil von Zeitschlitzten, die für erfolgreiche Übertragungen genutzt wurden

- Es befinden sich N aktive Systeme im Netz.
 - ▶ Wahrscheinlichkeit, dass ein System überträgt: p
 - ▶ Wahrscheinlichkeit, dass $N-1$ Systeme nicht übertragen: $(1 - p)^{N-1}$
 - ▶ Wahrscheinlichkeit für geglückte Übertragung eines zufälligen Systems

$$Np(1 - p)^{N-1}$$

- Gesucht: **Maximale Auslastung**

- ▶ Gesucht: p^* das obigen Ausdruck maximiert, so dass

$$p^* = \arg \max_{p \in \mathbb{R}} (Np(1 - p)^{N-1})$$

- ▶ Lösung: $p^* = 1/N$
- ▶ $Np^*(1 - p^*)^{N-1} = (1 - 1/N)^{N-1}$

- ▶ Beobachtung:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{N-1} = \frac{1}{e}$$

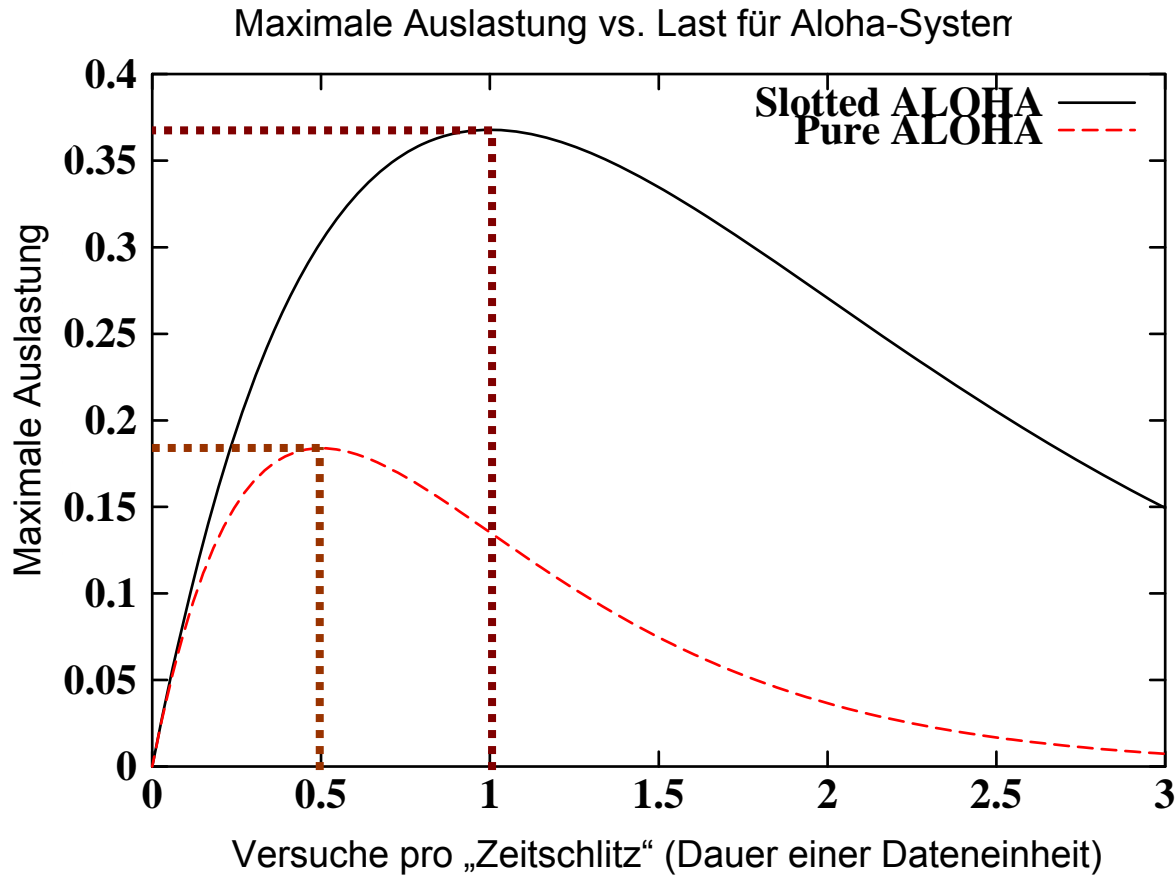
- ▶ Damit: Maximale Auslastung bei Slotted-Aloha: $1/e = 0,36$

- Annahmen
 - Alle Dateneinheiten haben gleiche Länge
 - Unmittelbare Rückmeldung über Kollisionen
- Ablauf
 - Nach Erkennen einer Kollision wird Dateneinheit sofort mit Wahrscheinlichkeit p wiederholt
 - Bei erfolgreicher Übertragung: Warten für Übertragungszeit einer Dateneinheit. Danach Übertragung mit Wahrscheinlichkeit p und weiteres Warten mit $1 - p$.
- Bewertung
 - Beobachtung: Kollision tritt auf,
 - ▶ (a) falls vorangegangene Dateneinheit eines anderen Systems noch nicht fertig gesendet ist oder
 - ▶ (b) falls anderes System mit Senden einer weiteren Dateneinheit beginnt bevor eigene Sendung abgeschlossen ist.
 - Wahrscheinlichkeit, dass ein System sendet: p
 - Wahrscheinlichkeit für (a) und (b) je $(1 - p)^{N-1}$

- Damit: Wahrscheinlichkeit für geglückte Übertragung eines zufälligen Systems: $Np(1 - p)^{2(N-1)}$
- Weitere Betrachtungen wie bei Slotted Aloha

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{2(N-1)} = \frac{1}{2e}$$

- Maximale Auslastung von Aloha: $1/2e = 0,18$



Slotted ALOHA: Max. Auslastung = 36,8%

Pure ALOHA: Max. Auslastung = 18,4%

- Ziel
 - Herleitung einer oberen Grenze für die Auslastung U
- Annahme
 - perfektes Protokoll
 - ▶ Störungs- und fehlerfreier Ablauf
 - ▶ Kein Overhead, keine Verarbeitungszeiten, ...
- Erzielte Datenrate: $r_e = \frac{X}{t_s + t_a} = \frac{X}{X / r + d / v}$
- Parameter a wird häufig bei Leistungsbetrachtungen verwendet
 - ▶ $a: t_a / t_s$ (Ausbreitungsverzögerung/Sendezeit)

$$a = \frac{t_a}{t_s} = \frac{d / v}{X / r} = \frac{r d}{X v}$$

- Auslastung unter Optimalbedingungen:

$$U = \frac{r_e}{r} = \frac{1}{1 + a}$$

- Ziel
 - Bestimmung der maximal erzielbaren Auslastung U
- Annahmen
 - Lokales Netz mit N aktiven Systemen
 - Maximale *normalisierte* Ausbreitungsverzögerung von a , d.h. Sendezeit t_s einer Dateneinheit ist auf 1 normiert
 - Jedes System kann immer eine Dateneinheit übertragen
 - Zeit ist logisch in Zeitschlitzte eingeteilt deren Länge der doppelten Ende-zu-Ende Ausbreitungsverzögerung entspricht
 - System sendet eine Dateneinheit mit Wahrscheinlichkeit p
- Beobachtung
 - Zwei Zeitintervalle lassen sich unterscheiden:
 - ▶ Übertragungsintervalle: $1/(2a)$ Zeitschlitzte
 - ▶ Kollisionsintervalle: Kollisionen oder keine Übertragung

- Bewertung

- Bestimmung der mittleren Länge l_k eines Kollisionsintervalls gemessen in Zeitschlitz

- ▶ Wahrscheinlichkeit A , dass genau ein System sendet:

$$A = Np(1 - p)^{N-1}$$

- ▶ Funktion hat Maximum bei $p^* = 1/N$

- ▶ System sollte bei hoher Last im Netz seine eigene Last auf $1/N$ limitieren.

$$A^* = (1 - 1/N)^{N-1}$$

- ▶ Wahrscheinlichkeit, dass in i Zeitschlitz in Folge eine Kollision oder keine Übertragung erfolgt, gefolgt von einem Zeitschlitz mit Übertragung

$$(1 - A^*)^i A^*$$

- ▶ Mittlere Länge l_k :

$$E[l_k] = \sum_{i=1}^{\infty} i(1 - A^*)^i A^*$$

- ▶ Konvergiert zu:

$$E[l_k] = \frac{1 - A^*}{A^*}$$

- ▶ Maximale Auslastung ergibt sich jetzt aus der Länge eines Übertragungsintervalls im Verhältnis zu einem Zyklus aus einem Übertragungs- und einem Kollisionsintervall

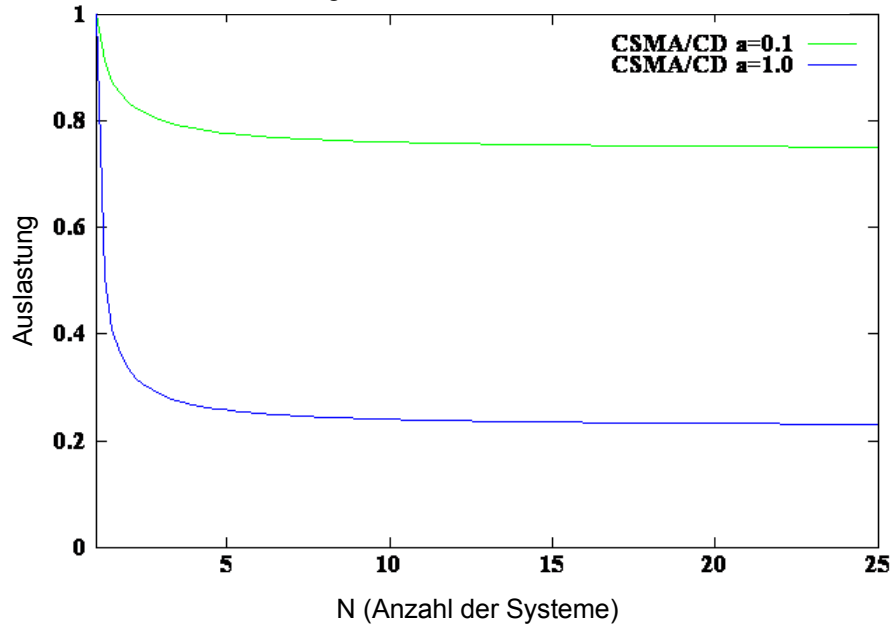
$$U = \frac{1/(2a)}{1/(2a) + (1 - A^*)/A^*} = \frac{1}{1 + 2a(1 - A^*)/A^*}$$

- Für wachsende Anzahl N an Systemen ergibt sich:

- ▶ Mit: $\lim_{N \rightarrow \infty} A^* = \lim_{N \rightarrow \infty} (1 - 1/N)^{N-1} = 1/e$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} U = \frac{1}{1 + 3.44a}$$

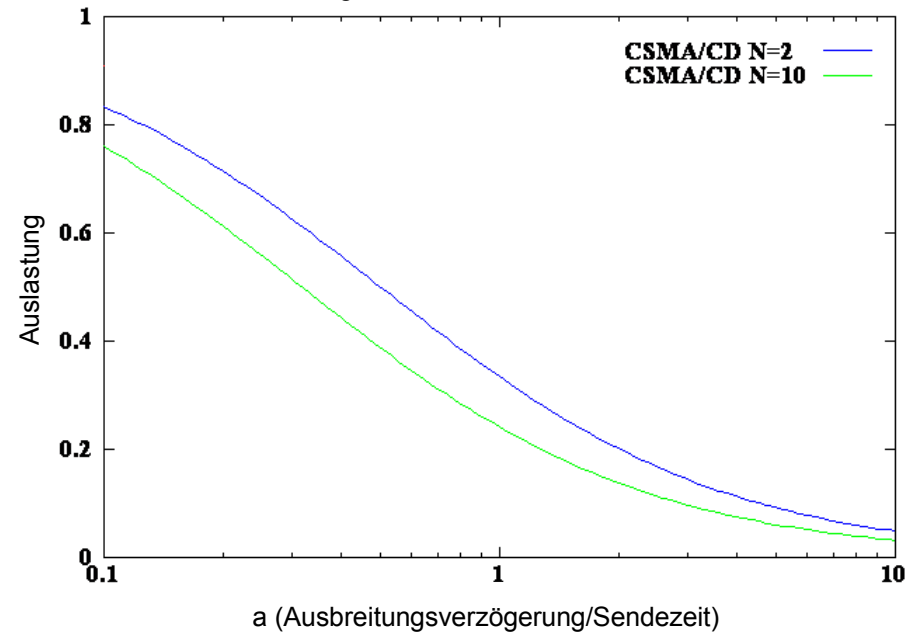
Auslastung als Funktion von N für CSMA/CD



Beobachtung: Auslastung sinkt bei CSMA/CD mit wachsendem a (bei festem N).

Beobachtung: Auslastung sinkt bei CSMA/CD mit wachsendem N (bei festem a).

Auslastung als Funktion von a für CSMA/CD



- Beobachtung
 - Auf dem Ring entweder Übertragung einer Dateneinheit oder Weitergabe des Tokens
- **Zyklus**: Dateneinheit gefolgt von einem Token
 - C = mittlere Zeitdauer eines Zyklus
 - t_s = mittlere Sendezeit für eine Dateneinheit
 - t_{st} = mittlere Sendezeit für die Weiterleitung eines Tokens

- Mittlere Zyklusrate:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{t_s + t_{st}}$$

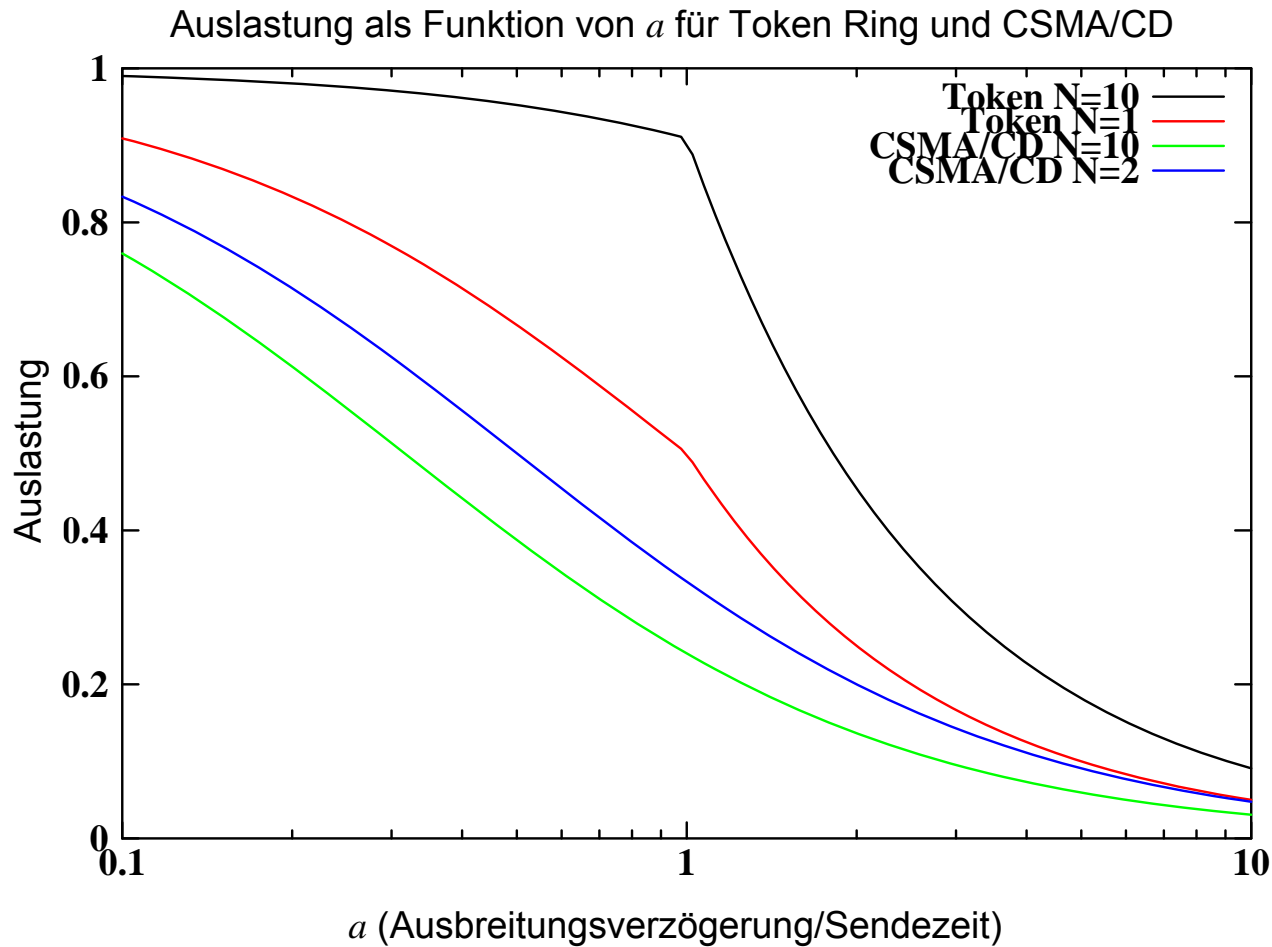
- und, intuitiv, Auslastung:

$$U = \frac{t_s}{t_s + t_{st}}$$

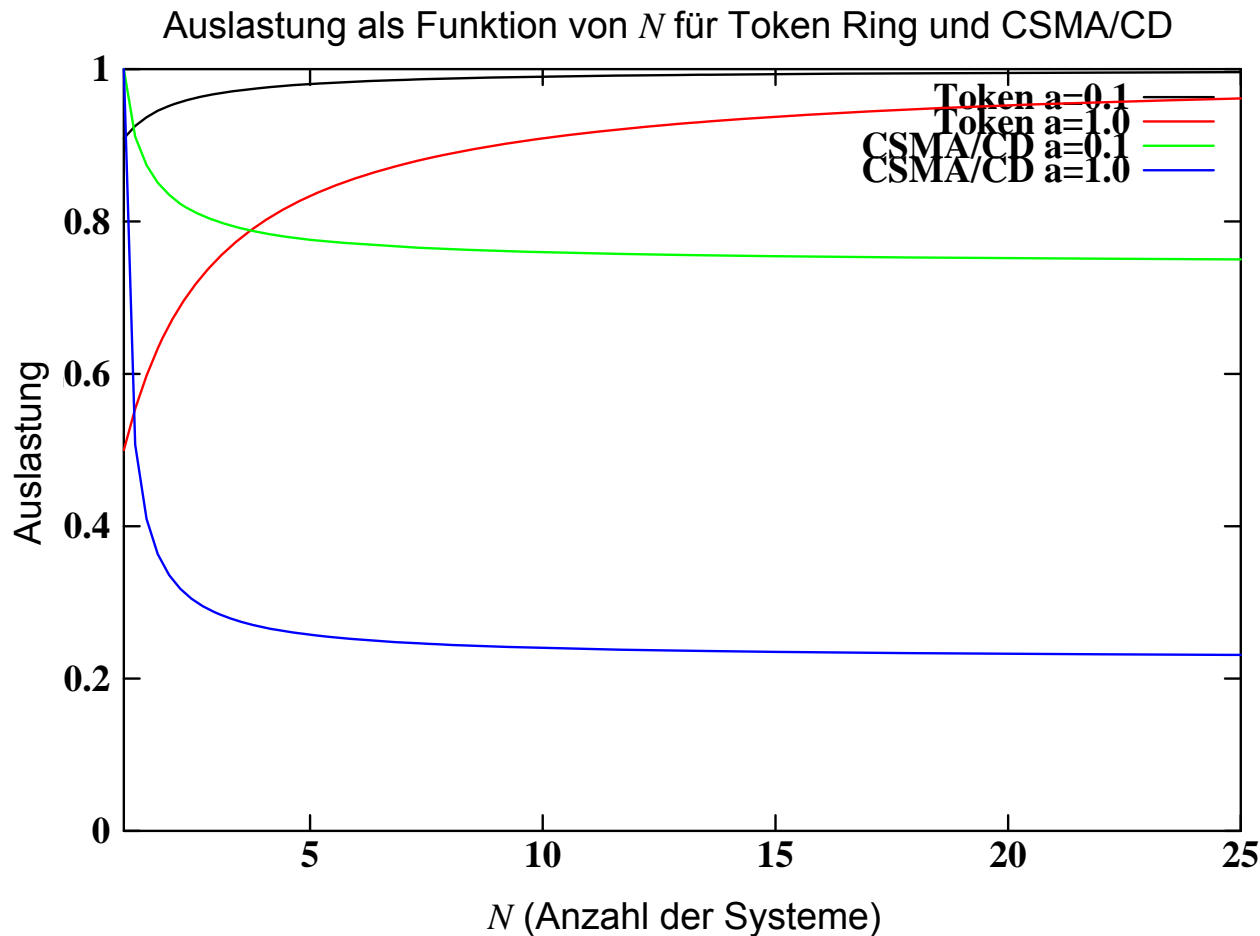
- Normalisierte Sendezeit, d.h. $t_s=1$ und damit $a = t_a$
- Fallunterscheidung
 - ▶ $a < 1$:
 - ▶ System beginnt bei t_0 mit Senden der Dateneinheit. Zum Zeitpunkt t_0+a empfängt System den Beginn der Dateneinheit wieder. Zum Zeitpunkt t_0+1 ist die Übertragung abgeschlossen.
 - ▶ System sendet Token. Dies benötigt im Mittel die Zeit a/N
 - ▶ Damit Dauer eines Zyklus: $1 + a/N$
 - ▶ $a \geq 1$:
 - ▶ System beginnt bei t_0 mit Senden der Dateneinheit. Empfängt Beginn der Dateneinheit zu Zeitpunkt t_0+a
 - ▶ Damit Dauer eines Zyklus: $a + a/N$
- Für die Auslastung ergibt sich somit:

$$U = \begin{cases} \frac{1}{1 + a/N} & a < 1 \\ \frac{1}{a + a/N} & a \geq 1 \end{cases}$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} U = \begin{cases} 1 & a < 1 \\ 1/a & a \geq 1 \end{cases}$$



Beobachtung: Auslastung sinkt bei beiden Verfahren mit wachsendem a (bei festem N)



Beobachtung: Auslastung bei Token-Ring steigt mit N während sie bei CSMA/CD mit wachsendem N sinkt (bei festem a)

- Berechnung der maximal erzielbaren Auslastung
 - Bei Aloha (18%) und Slotted Aloha (36%) sehr gering
 - Bei Ethernet und Token Ring abhängig von der Anzahl N der teilnehmenden Systeme und vom Parameter a
 - ▶ Auslastung sinkt bei beiden Strategien mit steigendem a
 - ▶ Maximale Auslastung bei Token Ring (variable Zuteilung) steigt mit wachsendem N während sie bei CSMA/CD (Zufallsstrategie) sinkt

4.4.1 Bewertungskriterium: Bedienzeit ☺

4.4.2 Bewertungskriterium: Auslastung ☺

- Funktionsprinzip verschiedener Medienzuteilungsverfahren besprochen
 - Feste vs. variable Zuteilungsstrategien
 - Zufallsstrategien
 - ▶ z.B. Aloha, Slotted Aloha, Ethernet und Token Ring
- Einfache, grobe Bewertung der Zuteilungsstrategien
 - Bewertungskriterien
 - ▶ **Bedienzeit** bei festen und variablen Zuteilungsstrategien
 - ▶ Vergleichbarkeit der beiden Strategien bei gleichen Voraussetzungen möglich
 - ▶ Maximal erzielbare **Auslastung** bei den Zufallsstrategien Aloha, Slotted Aloha, Ethernet und Token Ring
 - Vorgehensweise zur Bewertung von Zuteilungsstrategien kennengelernt
 - ▶ Vor-/Nachteile von Zuteilungsstrategien sind abhängig von verschiedenen Parametern, z.B. von der Anzahl teilnehmender Systeme
 - ▶ Welche Strategie am besten geeignet ist, hängt von den Randbedingungen ab

Bücher

[BeGa91] D. Bertsekas, R. Gallager; **Data Networks**; Prentice-Hall, 2nd Edition, 1991

- Kapitel 4 (Schwerpunkt liegt hier auf Leistungsanalyse)

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

[Hals00] Fred Halsall; **Multimedia Communications**; Addison-Wesley, 2000

- Kapitel 8

[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; **Computer Networking**; Addison Wesley, 4th Edition, 2007

- Kapitel 5

[Stal06] W. Stallings; **Data & Computer Communications**; Prentice Hall, 8th Edition, 2006

- Kapitel 15 und 16

Vertiefende Literatur

[FrJo99] H. Frazier, H. Johnson; **Gigabit Ethernet: From 100 to 1,000 Mbps**; IEEE Internet Computing, Vol. 3, Issue 1, Jan/Feb 1999, pp. 24-31

- 1) Aus welchem Grund werden Medienzuteilungsstrategien auf Schicht 2 benötigt?
- 2) Kann bei CSMA/CD eine Kollision auftreten? Wenn ja, wie?
- 3) Warum existiert bei CSMA/CD eine minimale Länge der Dateneinheiten?
- 4) Welche Art der Persistenz wird bei CSMA/CD verwendet
 - a) beim ersten Sendeversuch
 - b) bei einer Sendewiederholung
- 5) Vergleichen Sie das Entstehen und Erkennen von Kollisionen bei Ethernet und beim drahtlosen LAN 802.11.
- 6) Bis zu welcher Auslastung U ist eine variable Zuteilungsstrategie im Fall von 4 teilnehmenden Systemen besser als eine feste?
- 7) Welche Parameter beeinflussen die maximal erzielbare Auslastung bei Ethernet und Token Ring?
- 8) Welche Auswirkungen haben die einzelnen Parameter jeweils bei Ethernet und Token Ring?