

Systeme II



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Christian Schindelhauer

Sommersemester 2007

7. Vorlesungswoche

04.06.-08.06.2007

schindel@informatik.uni-freiburg.de

Systeme II
Kapitel 4
Mediumzugriff in der
Sicherungsschicht



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer



Annahmen

➤ Stationsmodell (terminal model)

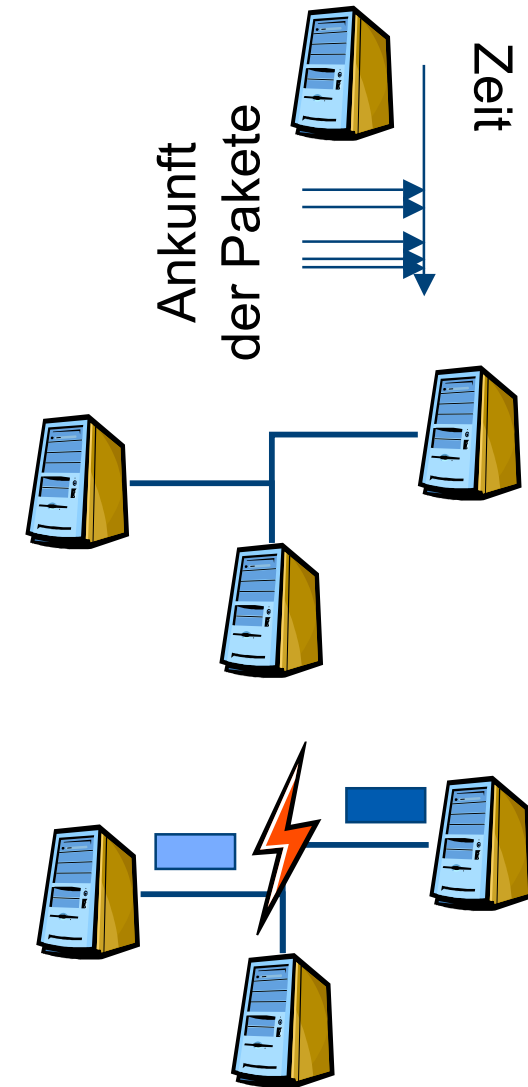
- N unabhängige Stationen möchten eine Leitung/Ressource teilen
- Mögliches Lastmodell:
 - Wahrscheinlichkeit, dass ein Paket im Intervall der Länge Δt erzeugt wird ist $\lambda \Delta t$ für eine Konstante λ

➤ Eine Leitung/Kanal

- für alle Stationen
- Keine weitere Verbindungen möglich

➤ Collision assumption

- Nur ein einfacher Frame kann auf dem Kanal übertragen werden
- Zwei (oder mehr) sich zeitlich überschneidende Frames kollidieren und werden gelöscht
- Noch nicht einmal Teile kommen an





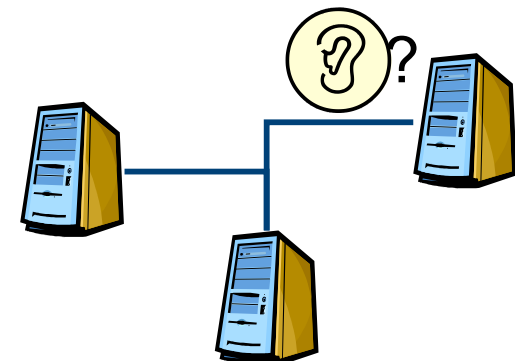
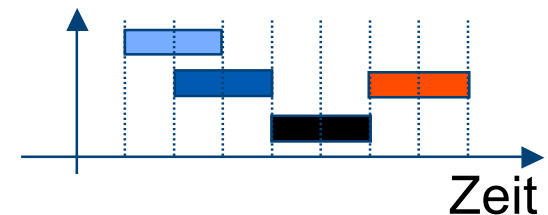
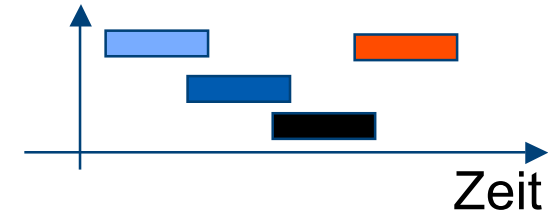
Annahmen

➤ Zeitmodelle

- Kontinuierlich
 - Übertragungen können jeder Zeit beginnen (keine zentrale Uhr)
- Diskret (Slotted time)
 - Die Zeitachse ist in Abschnitte (slots) unterteilt
 - Übertragungen können nur an Abschnittsgrenzen starten
 - Slots können leer (idle), erfolgreich (mit Übertragung) sein oder eine Kollision beinhalten

➤ Träger-Messung (Carrier Sensing)

- Stationen können erkennen ob der Kanal momentan von anderen Stationen verwendet wird
 - Nicht notwendigerweise zuverlässig





Bewertung des Verhaltens

-
- **Methoden zur Bewertung der Effizienz einer Kanaluweisung**

 - **Durchsatz (throughput)**
 - Anzahl Pakete pro Zeiteinheit
 - Besonders bei großer Last wichtig

 - **Verzögerung (delay)**
 - Zeit für den Transport eines Pakets
 - Muss bei geringer Last gut sein

 - **Gerechtigkeit (fairness)**
 - Gleichbehandlung aller Stationen
 - Fairer Anteil am Durchsatz und bei Delay



Durchsatz und vorgegebene Last

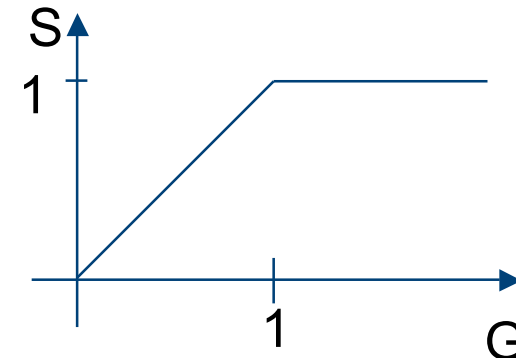
➤ Vorgegebene Last G

- Anzahl der Pakete pro Zeiteinheit, welche das Protokoll bearbeiten soll
- Mehr als ein Paket pro Zeiteinheit: Überlast

➤ Ideales Protokoll

- Durchsatz S entspricht vorgegebener Last G solange $G < 1$
- Durchsatz $S = 1$ sobald $G > 1$

- und kleine Verzögerung für beliebig viele Stationen

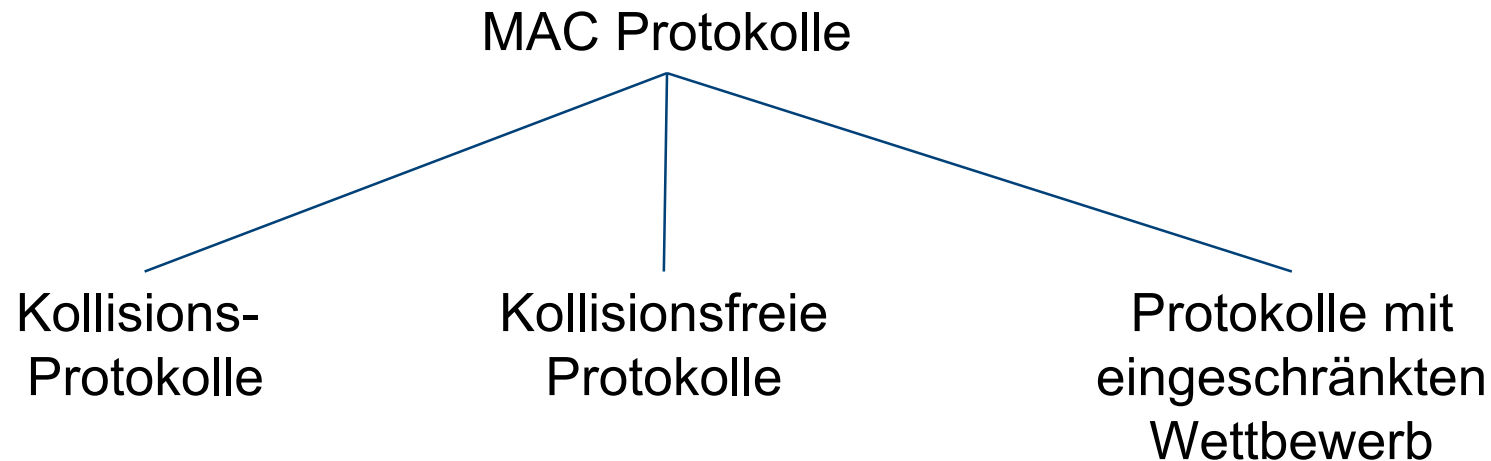




Mögliche MAC-Protokolle

➤ Unterscheidung: Erlaubt das Protokoll Kollisionen?

- Als Systementscheidung
- Die unbedingte Kollisionsvermeidung kann zu Effizienzeinbußen führen



System mit Kollisionen: **Contention System**



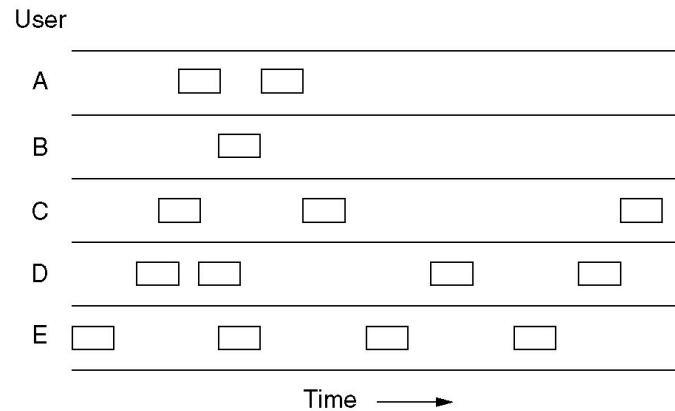
ALOHA

➤ Algorithmus

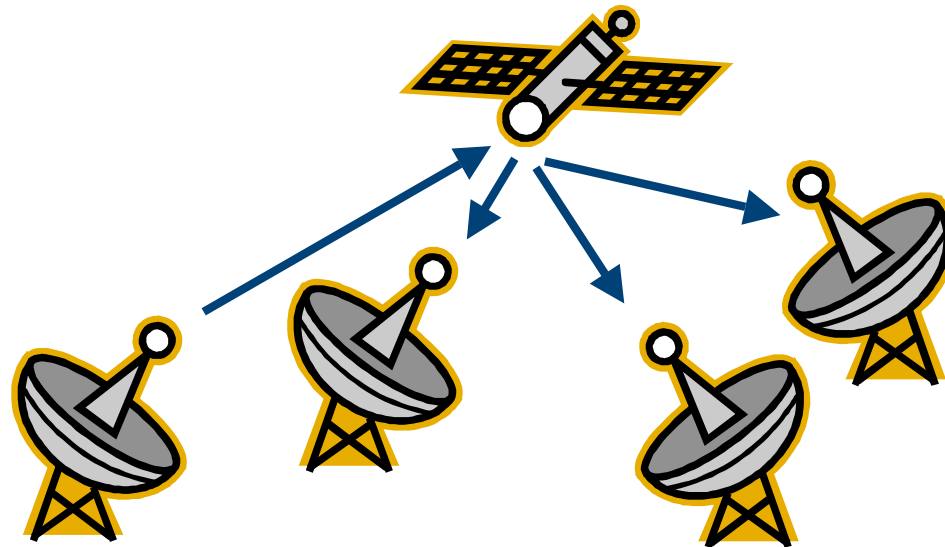
- Sobald ein Paket vorhanden ist, wird es gesendet

➤ Ursprung

- 1985 by Abrahmson et al., University of Hawaii
- Ziel: Verwendung in Satelliten-Verbindung



Pakete werden zu beliebigen Zeiten übertragen





ALOHA – Analyse

➤ Vorteile

- Einfach
- Keine Koordination notwendig

➤ Nachteile

- Kollisionen
 - Sender überprüft den Kanalzustand nicht
- Sender hat keine direkte Methode den Sende-Erfolg zu erfahren
 - Bestätigungen sind notwendig
 - Diese können auch kollidieren



ALOHA – Effizienz

➤ **Betrachte Poisson-Prozess zur Erzeugung von Paketen**

- Entsteht durch “unendlich” viele Stationen, die sich gleich verhalten
- Zeit zwischen zwei Sende-Versuchen ist exponentiell verteilt
- Sei G der Erwartungswert der Übertragungsversuche pro Paketlänge
- Alle Pakete haben gleiche Länge
- Dann gilt

$$P[k \text{ Versuche}] = \frac{G^k}{k!} e^{-G}$$

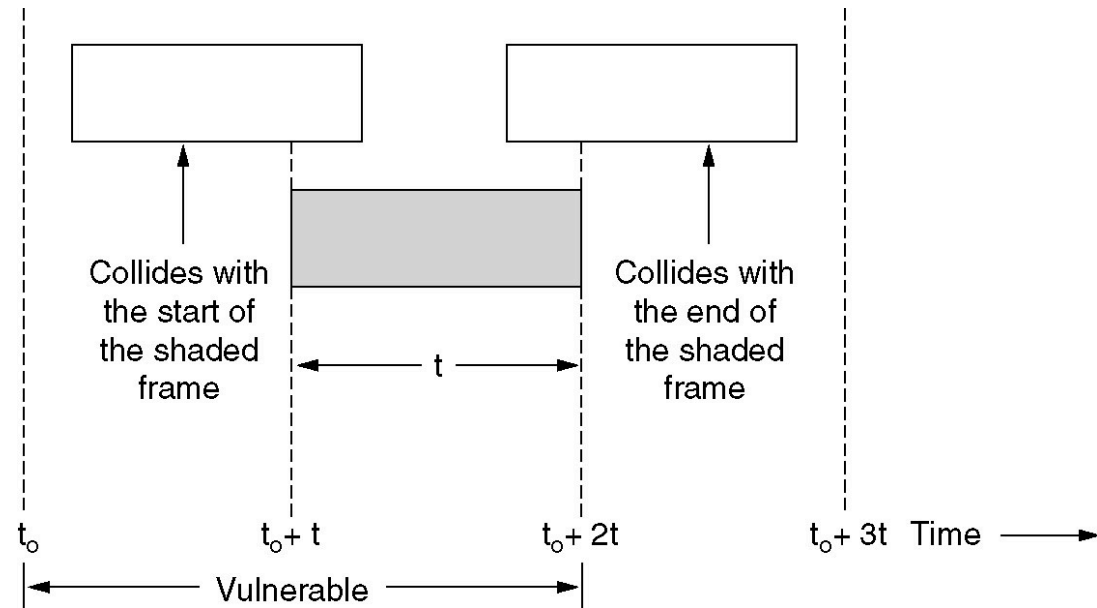
- **Um eine erfolgreiche Übertragung zu erhalten, darf keine Kollision mit einem anderen Paket erfolgen**
- **Wie lautet die Wahrscheinlichkeit für eine solche Übertragung?**



ALOHA – Effizienz

➤ **Ein Paket X wird gestört, wenn**

- ein Paket kurz vor X startet
- wenn ein Paket kurz vor dem Ende von X startet



- **Das Paket wird erfolgreich übertragen, wenn in einem Zeitraum von zwei Paketen kein (anderes) Paket übertragen wird**



Slotted ALOHA

➤ **ALOHA's Problem:**

- Lange Verwundbarkeit eines Pakets

➤ **Reduktion durch Verwendung von Zeitscheiben (Slots)**

- Synchronisation wird vorausgesetzt

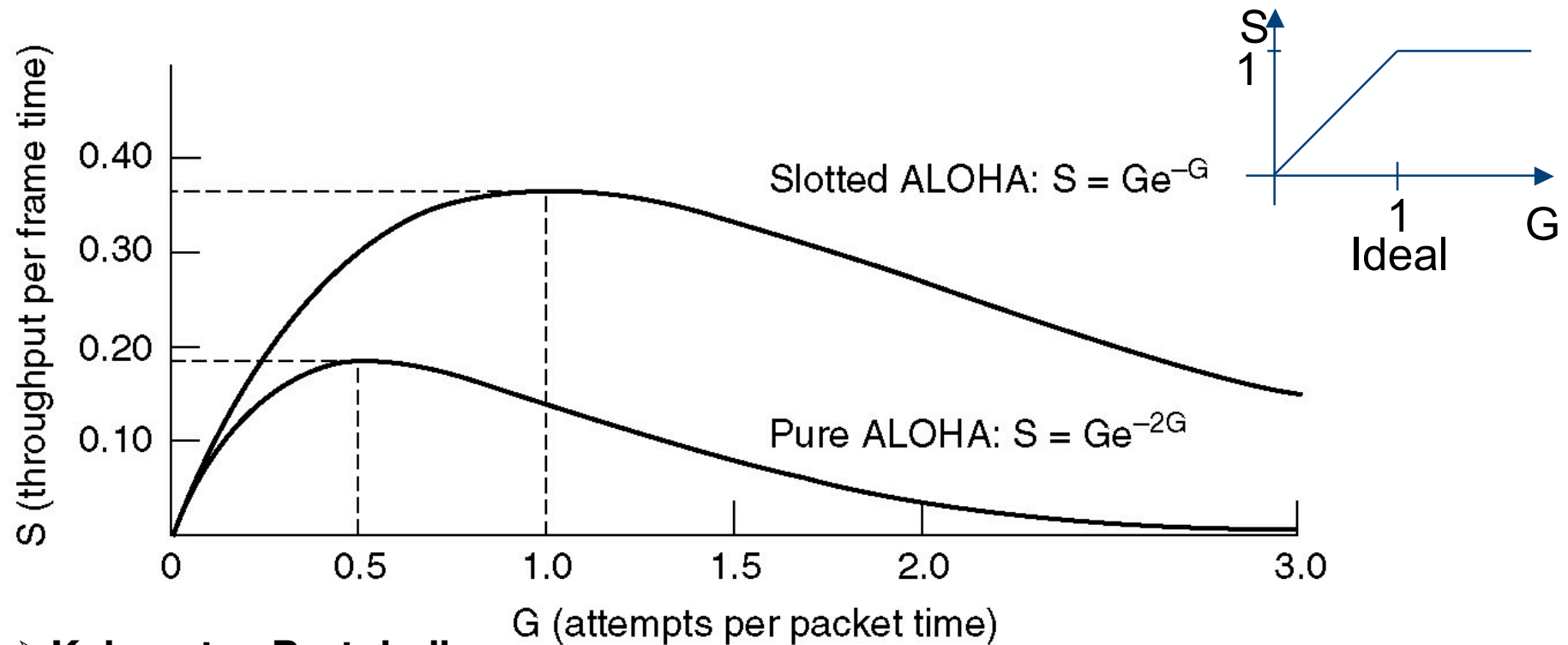
➤ **Ergebnis:**

- Verwundbarkeit wird halbiert
- Durchsatz wird verdoppelt
 - $S(G) = Ge^{-G}$
 - Optimal für $G=1$, $S=1/e$



Durchsatz in Abhängigkeit der Last

- Für (slotted) ALOHA gibt es eine geschlossene Darstellung in Abhängigkeit von G



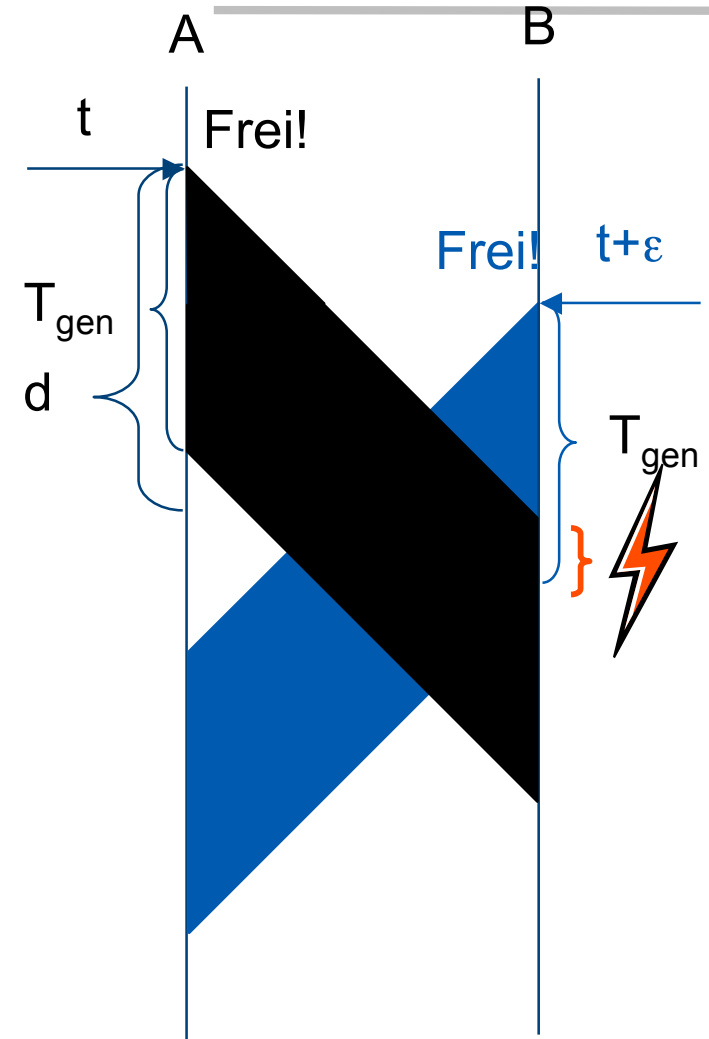
- **Kein gutes Protokoll**

– Durchsatz bricht zusammen, wenn die Last zunimmt



CSMA und Übertragungszeit

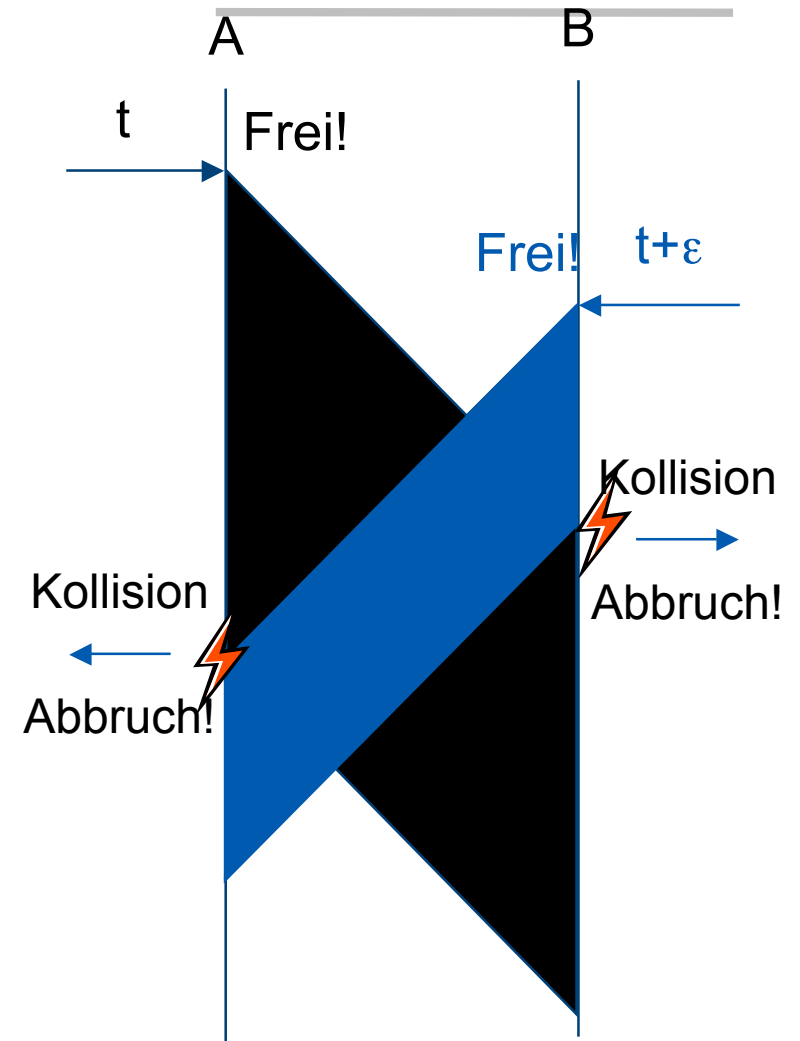
- **CSMA-Problem:**
 - Übertragungszeit d (propagation delay)
- **Zwei Stationen**
 - starten Senden zu den Zeitpunkten t und $t+\varepsilon$ mit $\varepsilon < d$
 - sehen jeweils einen freien Kanal
- **Zweite Station**
 - verursacht eine Kollision





Kollisionserkennung – CSMA/CD

- **Falls Kollisionserkennung (collision detection) möglich ist,**
 - dann beendet der spätere Sender seine Übertragung
 - Zeitverschwendung wird reduziert, da mindestens eine Nachricht (die erste) übertragen wird
 - **Fähigkeit der Kollisionserkennung hängt von der Bitübertragungsschicht ab**
- CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
- **Collision Detection**
 - setzt gleichzeitiges Abhören des Kanals nach Kollisionen voraus
 - Ist das was auf dem Kanal geschieht, identisch zu der eigenen Nachricht?





Phasen in CSMA/CD

➤ Leer-Phase (IDLE)

- Keine Station sendet einen Frame

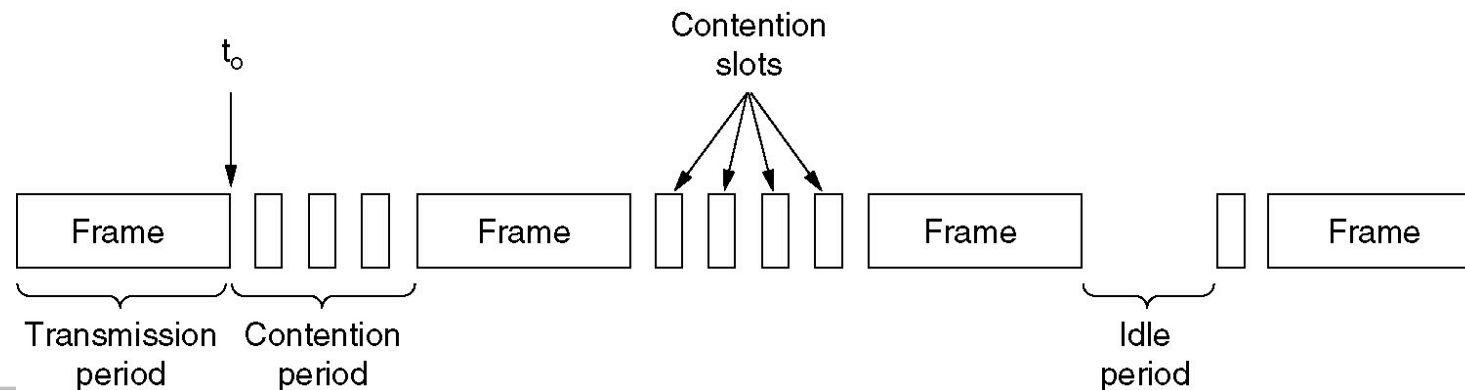
➤ Wettbewerbsphase (Contention Period)

- Kollisionen entstehen, Übertragungen werden abgebrochen

➤ Übertragungsphase (Transmission Period)

- Keine Kollision, effektiver Teil des Protokolls

→ **Es gibt nur Wettbewerbs-, Übertragungsphasen und Leer-Phasen**





Bestimmung der Warte- Zeit

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

➤ Nach der Kollision:

➤ Algorithmus binary exponential backoff

- $k:=2$
- Solange Kollision beim letzten Senden
 - Wähle t gleichwahrscheinlich zufällig aus $\{0, \dots, k-1\}$
 - Warte t Zeit-Slots
 - Sende Nachricht (Abbruch bei Collision Detection)
 - $k:= 2 k$

➤ Algorithmus

- passt Wartezeit dynamisch an die Anzahl beteiligter Stationen an
- sorgt für gleichmäßige Auslastung des Kanals
- ist fair (auf lange Sicht)



Der Mediumzugriff in der Sicherungsschicht

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

- **Statisches Multiplexen**
- **Dynamische Kanalbelegung**
 - Kollisionsbasierte Protokolle
 - **Kollisionsfreie Protokolle (contention-free)**
 - Protokolle mit beschränktem Wettbewerb (limited contention)
- **Fallbeispiel: Ethernet**

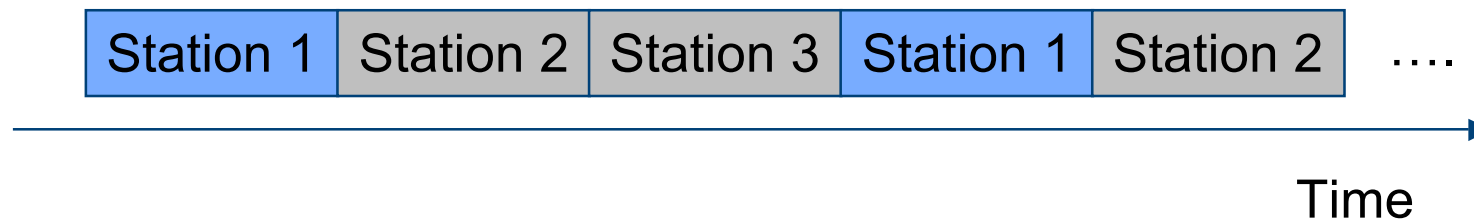


Wettbewerbfreie Protokolle

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

➤ Einfaches Beispiel: Statisches Zeit-Multiplexen (TDMA)

- Jeder Station wird ein fester Zeit-Slot in einem sich wiederholenden Zeitschema zugewiesen



➤ Nachteile bekannt und diskutiert

➤ Gibt es dynamische kollisionsfreie Protokoll?



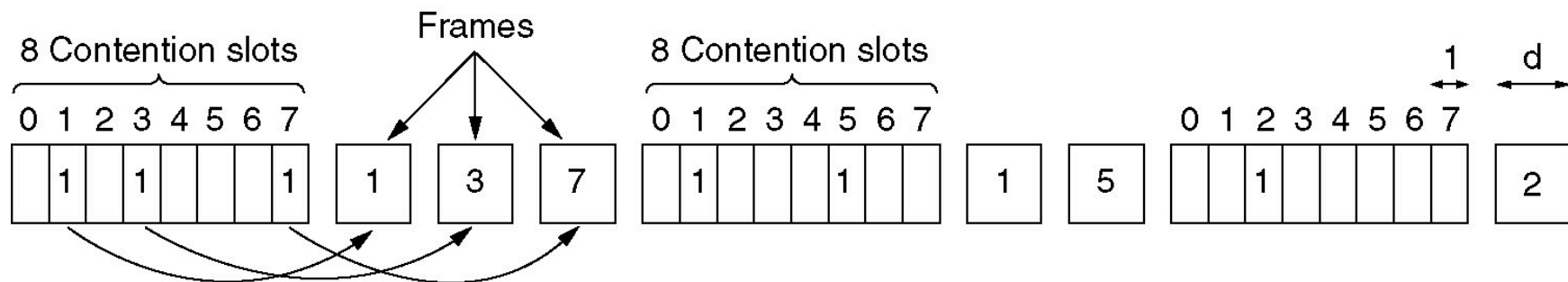
Bit-map Protokoll

➤ Probleme von TDMA

- Wenn eine Station nichts zu senden hat, dann wird der Kanal nicht genutzt

➤ Reservierungssystem: Bit-map protocol

- Kurze statische Reservierung-Slots zur Ankündigung
- Müssen von jeder Station empfangen werden





Bitmap-Protokolle

➤ Verhalten bei geringer Last

- Falls keine Pakete verschickt werden, wird der (leere) Wettbewerbs-Slot wiederholt
- Eine Station muss auf seinen Wettbewerbs-Slot warten
- Erzeugt gewisse Verzögerung (delay)

➤ Verhalten bei hoher Last

- Datenpakete dominieren die Kanalbelegung
 - Datenpakete sind länger als die Contention-Slots
- Overhead ist vernachlässigbar
- Guter und stabiler Durchsatz

➤ Bitmap ist ein Carrier-Sense Protokoll!



Der Mediumzugriff in der Sicherheitsschicht

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

- **Statisches Multiplexen**
- **Dynamische Kanalbelegung**
 - Kollisionsbasierte Protokolle
 - Kollisionsfreie Protokolle (contention-free)
 - **Protokolle mit beschränktem Wettbewerb (limited contention)**
- **Fallbeispiel: Ethernet**



Protokolle mit beschränktem Wettbewerb

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

➤ Ziel

- geringe Verzögerung bei kleiner Last
 - wie Kollisionsprotokolle
- hoher Durchsatz bei großer Last
 - wie kollisionsfreie Protokolle

➤ Idee

- Anpassung des Wettbewerb-Slots (contention slot) an die Anzahl der teilnehmenden Stationen
- Mehrere Stationen müssen sich dann diese Slots teilen



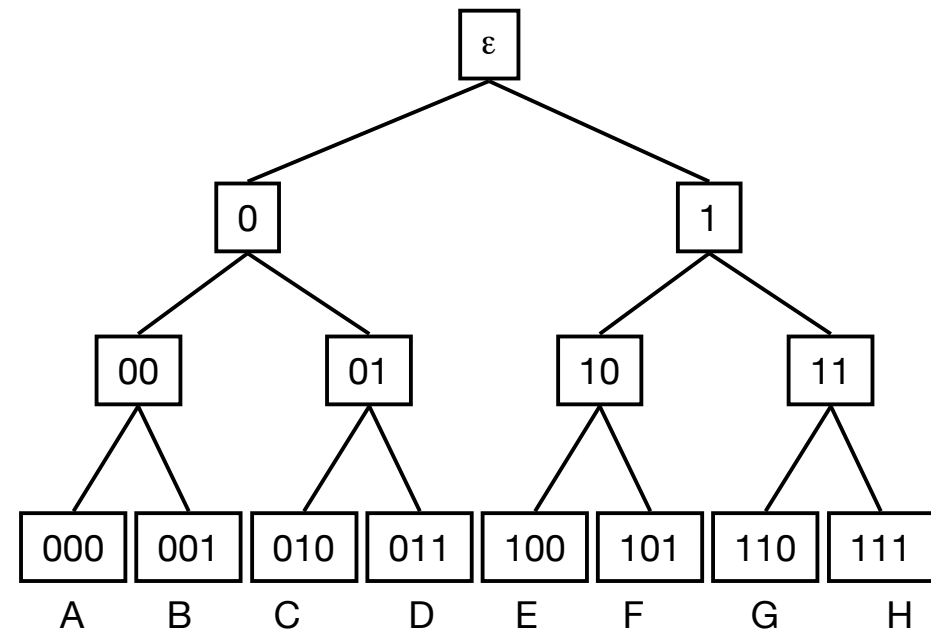
Adaptives Baumprotokoll

Voraussetzung

➤ Adaptives Baumprotokoll (adaptive tree walk)

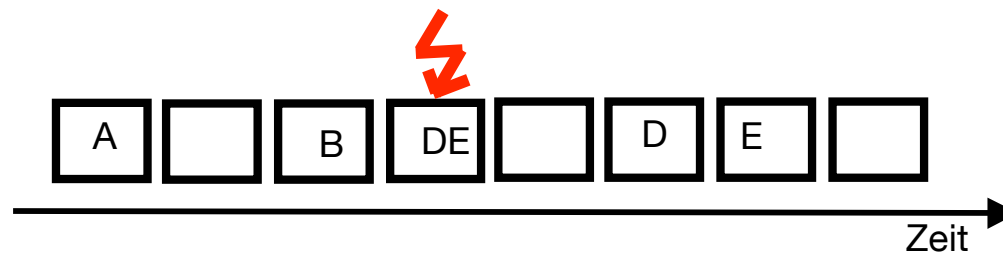
➤ Ausgangspunkt:

- Binäre, eindeutige Präsentation aller Knoten (ID)
- Dargestellt in einem Baum
- Synchronisiertes Protokoll
- Drei Typen können unterschieden werden:
 - Keine Station sendet
 - Genau eine Station sendet
 - Kollision: mindestens zwei Stationen senden



Stationen

Kollision



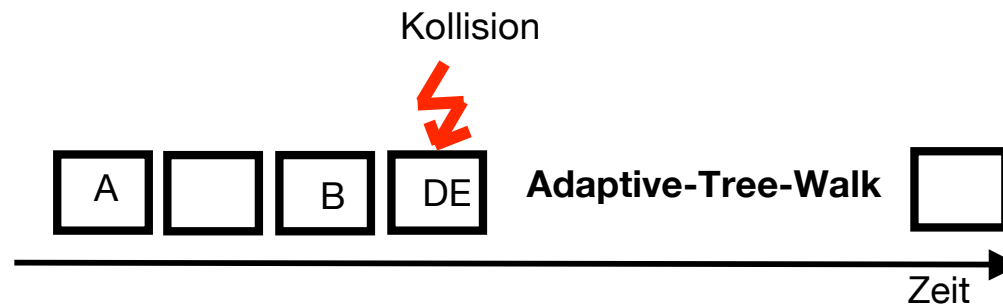


Adaptives Baumprotokoll Grundalgorithmus

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

➤ Grund-Algorithmus

- Jeder Algorithmus sendet sofort (slotted Aloha)
- Falls eine Kollision auftritt,
 - akzeptiert keine Station mehr neue Paket aus der Vermittlungsschicht
 - Führe Adaptive-Tree-Walk(ϵ) aus





Adaptives Baumprotokoll

Knoten-Test

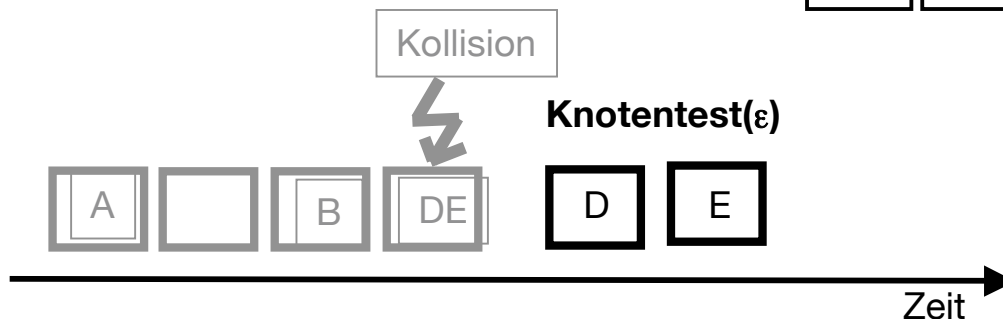
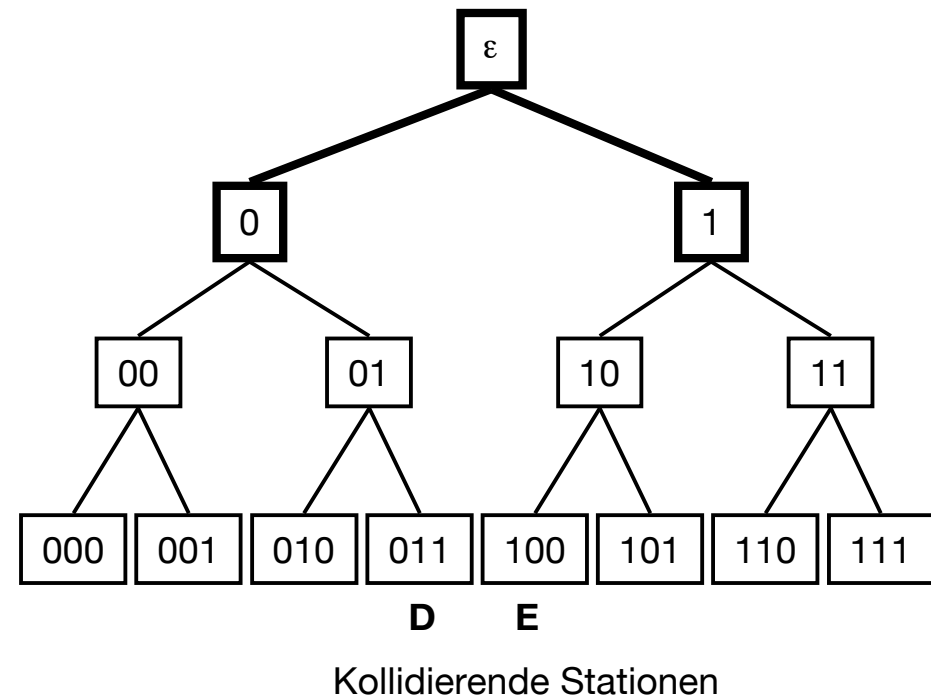
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

➤ Algorithmus Knoten-Test

- für Knoten u des Baums und
- kollidierende Menge S von Station

➤ Knoten-Test(u)

- Betrachte zwei Slots pro Knoten des Baums
- Im ersten Slot senden alle Knoten aus S , die mit ID $u0$ anfangen
- Im zweiten Slot senden alle Knoten aus S , die mit ID $u1$ anfangen





Adaptives Baumprotokoll Kern-Algorithmus

➤ Algorithmus Knoten-Test

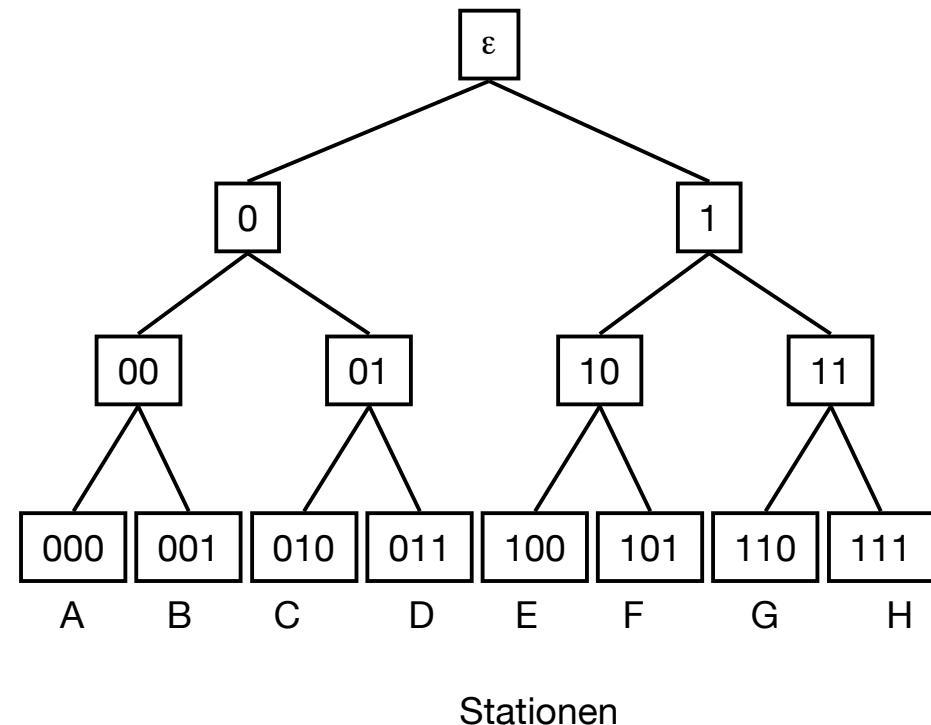
- für Knoten u des Baums und
- kollidierende Menge S von Station

➤ Knoten-Test(u)

- Betrachte zwei Slots pro Knoten des Baums
- Im ersten Slot senden alle Knoten aus S , die mit ID $u0$ anfangen
- Im zweiten Slot senden alle Knoten aus S , die mit ID $u1$ anfangen

➤ Adaptive Tree Walk(x)

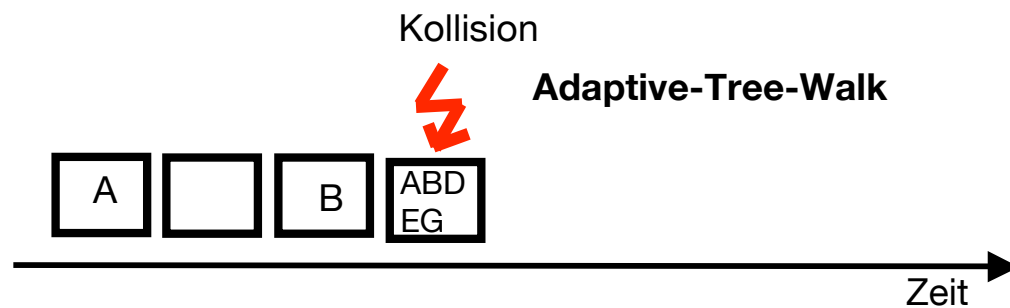
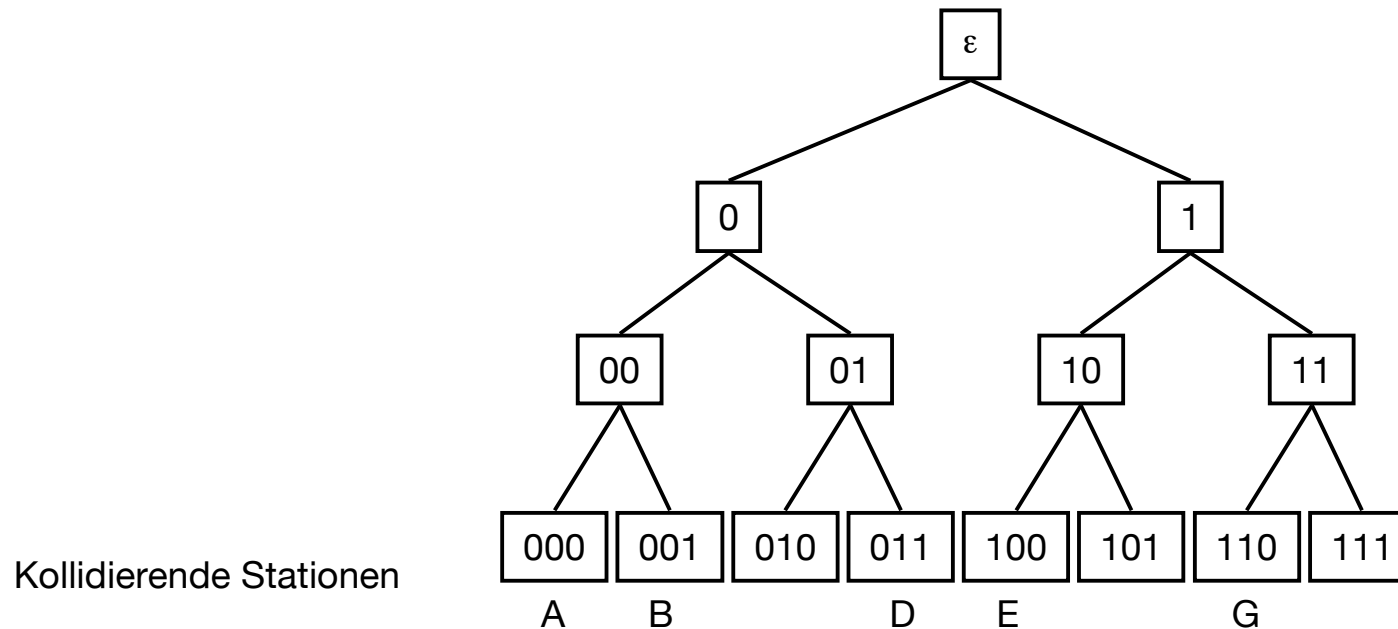
- Führe Knoten-Test(x) aus
- Falls Kollision im ersten Slot,
 - führe Adaptive-Tree-Walk($x0$) aus
- Falls Kollision im zweiten Slot,
 - Führe Adaptive-Tree-Walk($x1$) aus





Adaptives Baumprotokoll Beispiel (1)

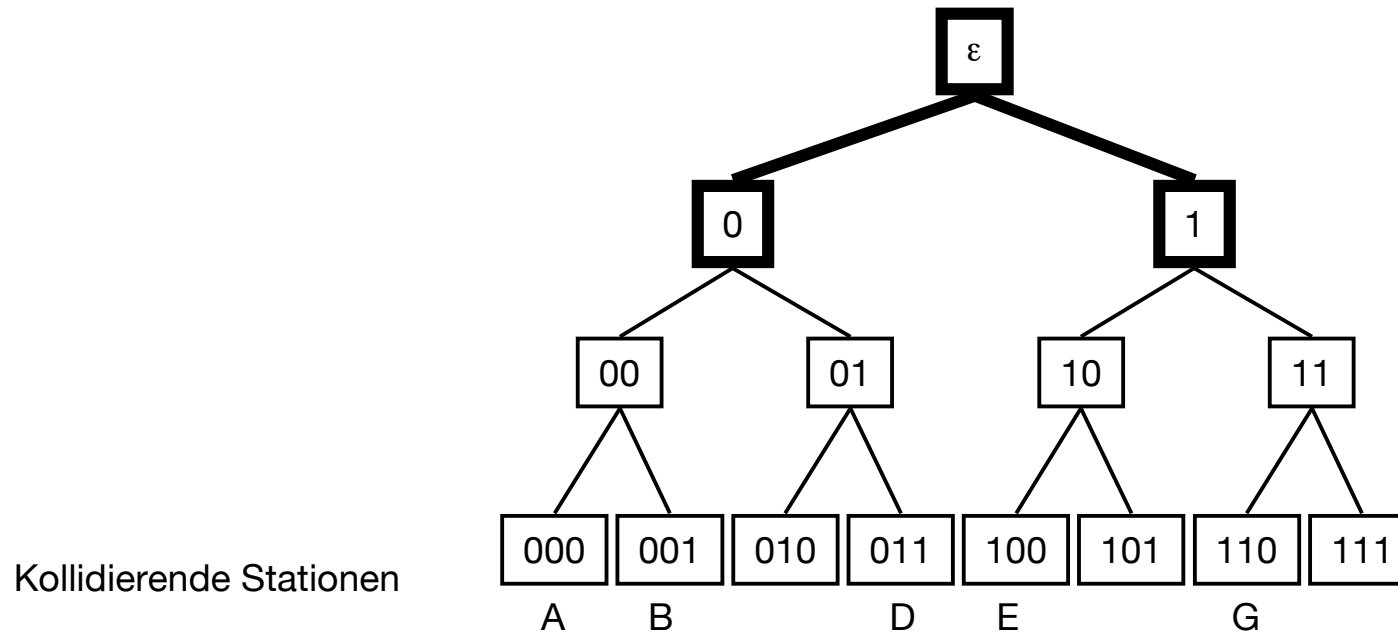
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer





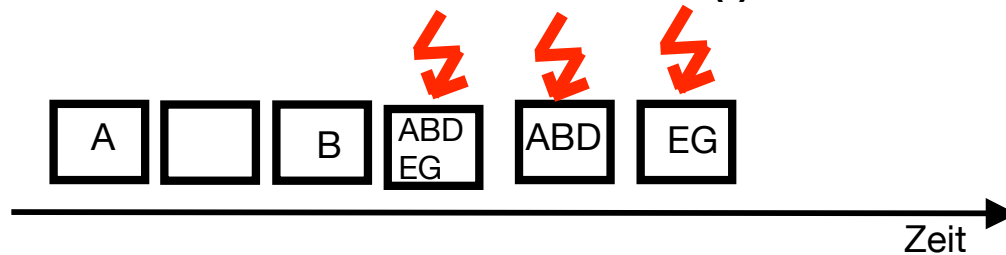
Adaptives Baumprotokoll

Beispiel (2)



Adaptive-Tree-Walk

Knotentest(ϵ)

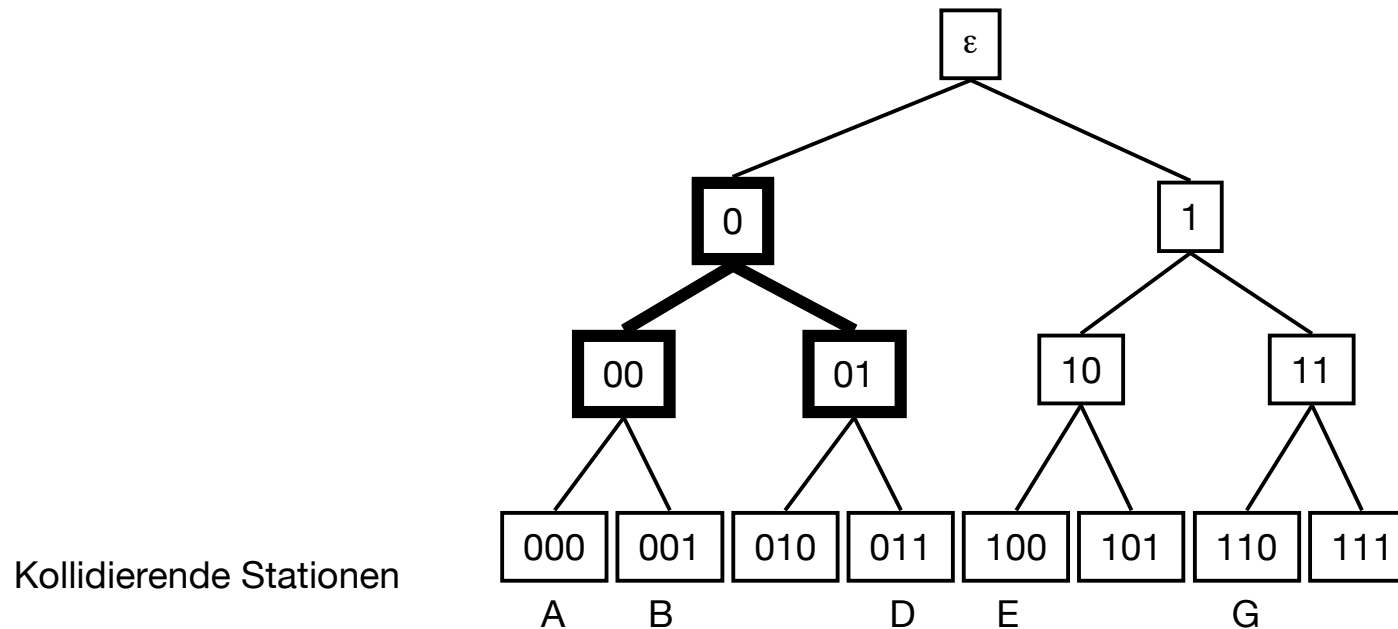




Adaptives Baumprotokoll

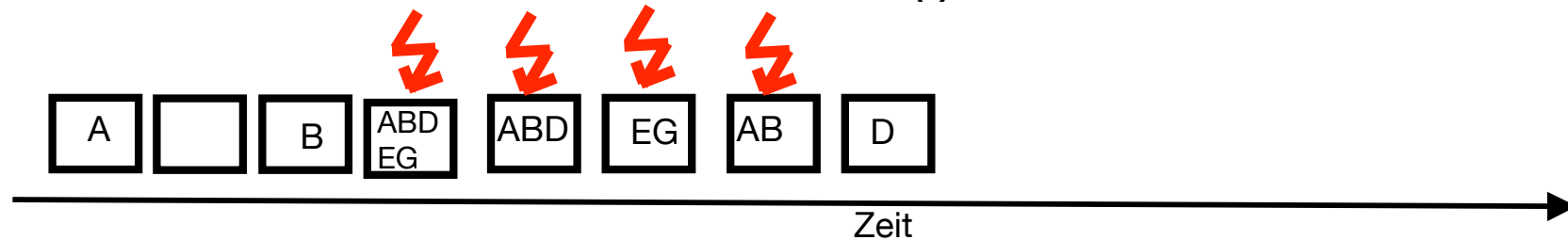
Beispiel (3)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer



Adaptive-Tree-Walk

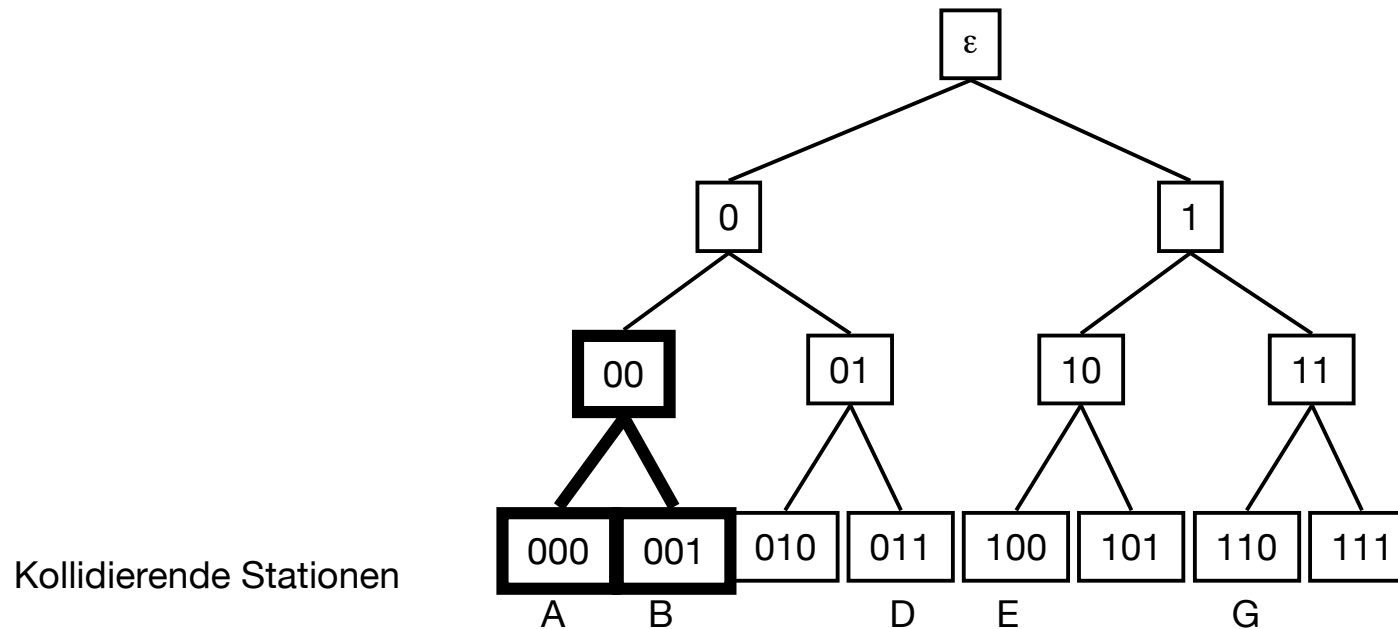
Knotentest(ϵ) Knotentest(0)





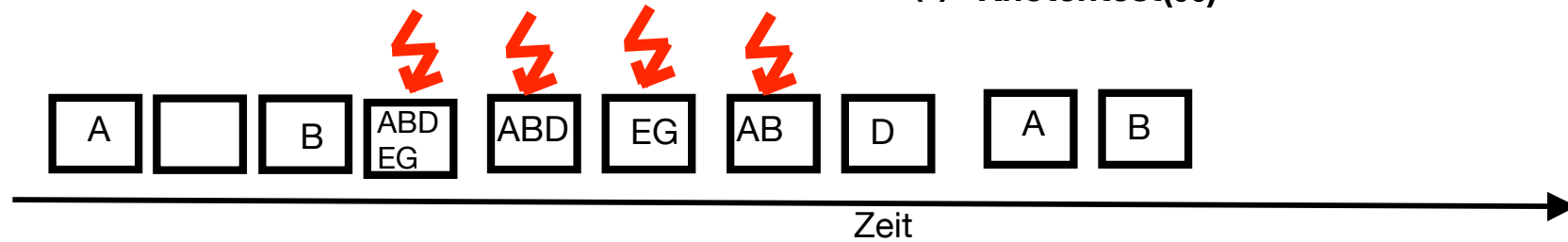
Adaptives Baumprotokoll

Beispiel (4)



Adaptive-Tree-Walk

Knotentest(ϵ) Knotentest(0) Knotentest(00)

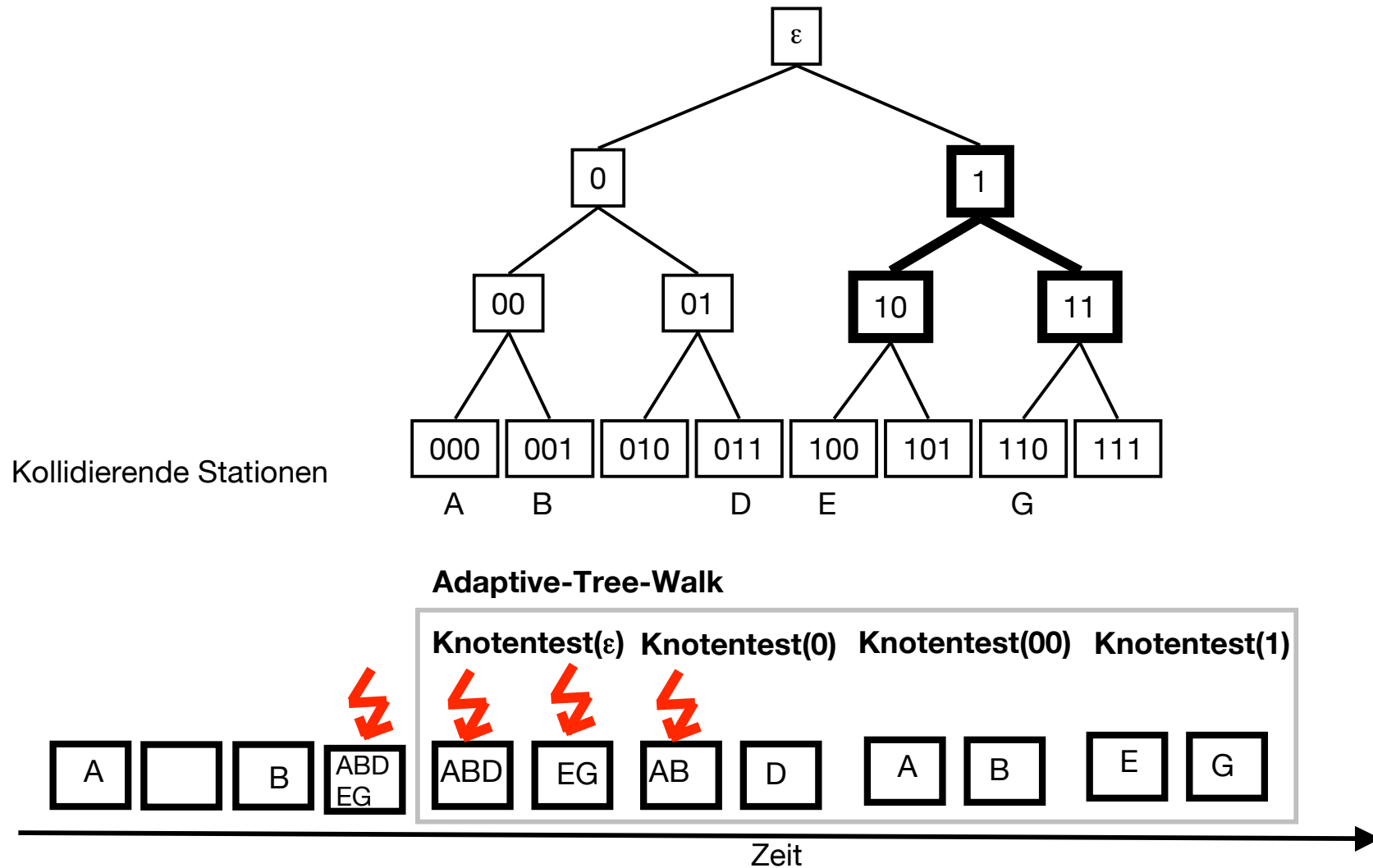




Adaptives Baumprotokoll

Beispiel (5)

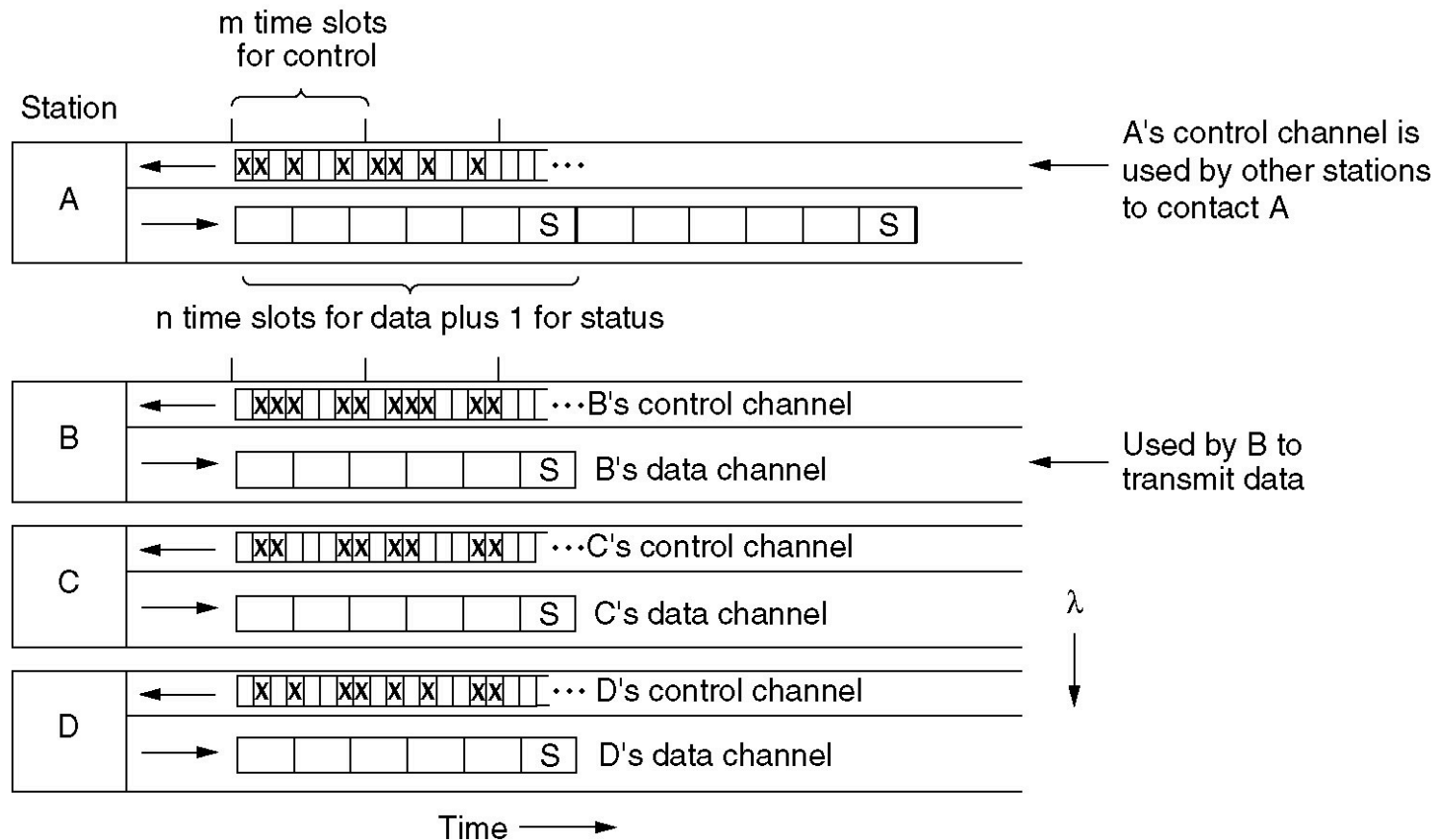
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer





Kollisionsfreier Zugriff in der drahtlosen Kommunikation

Wavelength division multiple access.





Spezielle Probleme in drahtlosen Netzwerken

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer



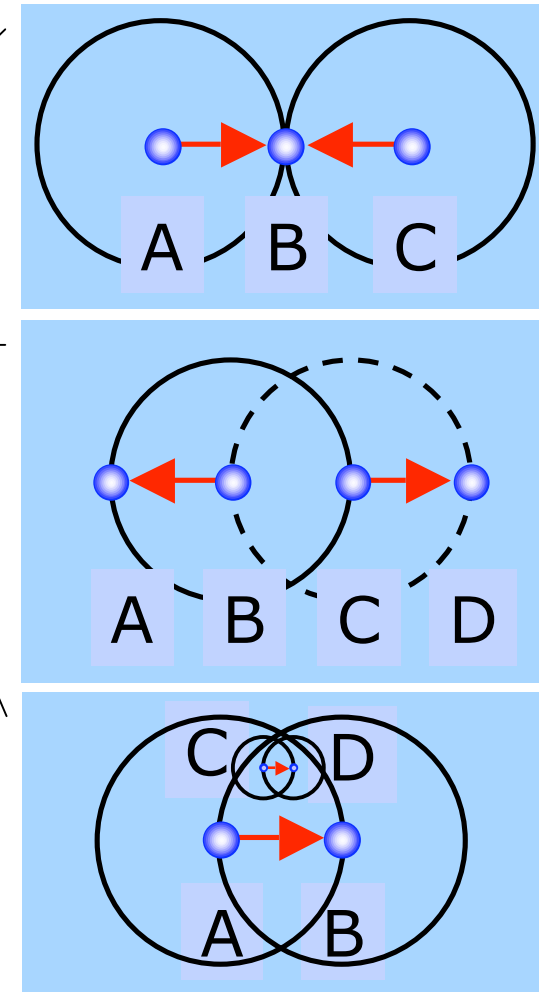
A wireless LAN. (a) A transmitting. (b) B transmitting.



Probleme im W-LAN

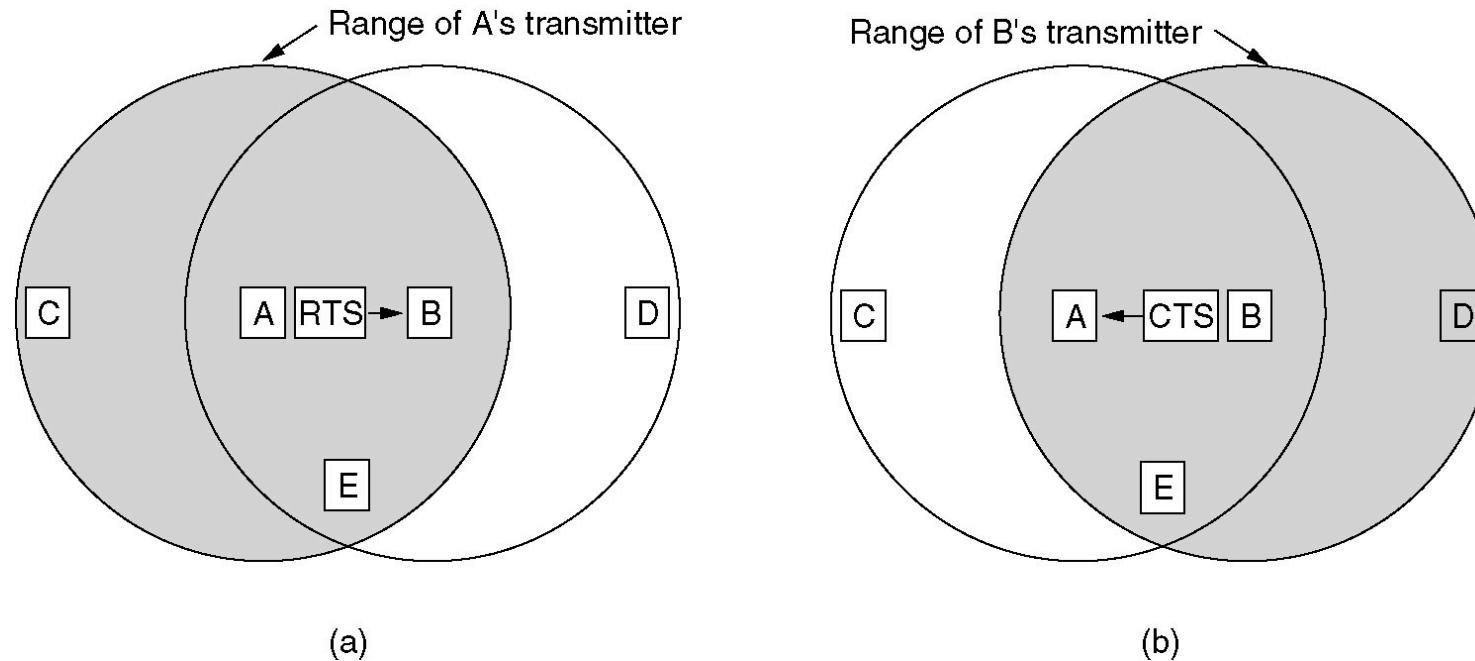
➤ Interferenzen

- Hidden Terminal Problem
- Exposed Terminal Problem
- Asymmetrie (var. Reichweite)





Multiple Access with Collision Avoidance



(a) A sendet Request to Send (RTS) an B.

(b) B antwortet mit Clear to Send (CTS) an A.



Der Mediumzugriff in der Sicherungsschicht

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

- **Statisches Multiplexen**
- **Dynamische Kanalbelegung**
 - Kollisionsbasierte Protokolle
 - Kollisionsfreie Protokolle (contention-free)
 - Protokolle mit beschränktem Wettbewerb (limited contention)
- **Fallbeispiel: Ethernet**



Fallbeispiel: Ethernet

➤ Beispiel aus der Praxis mit Mediumzugriff: Ethernet

- IEEE Standard 802.3

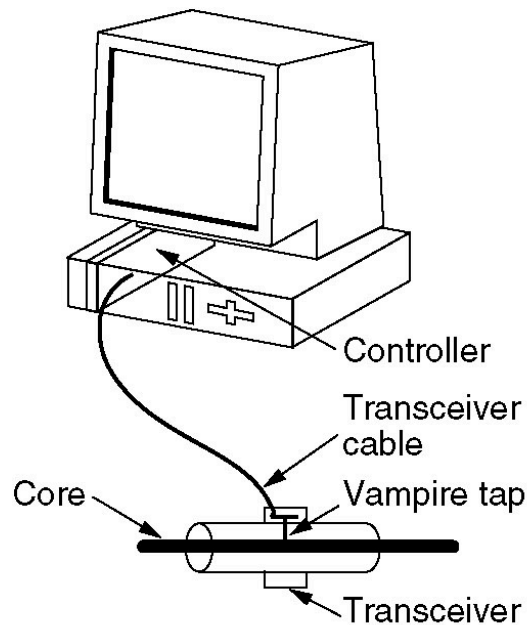
➤ Punkte im Standard

- Verkabelung
- Bitübertragungsschicht
- Sicherungsschicht mit Mediumzugriff

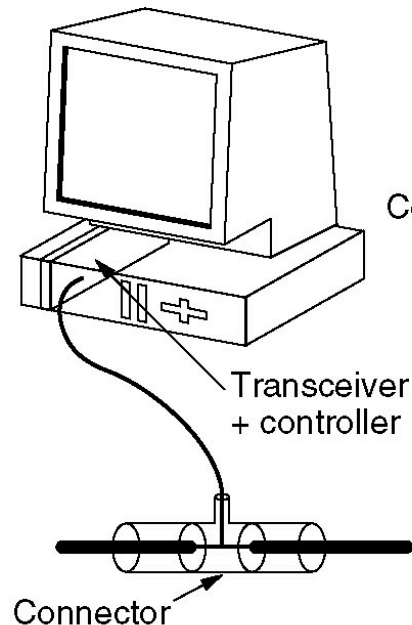


Ethernet cabling

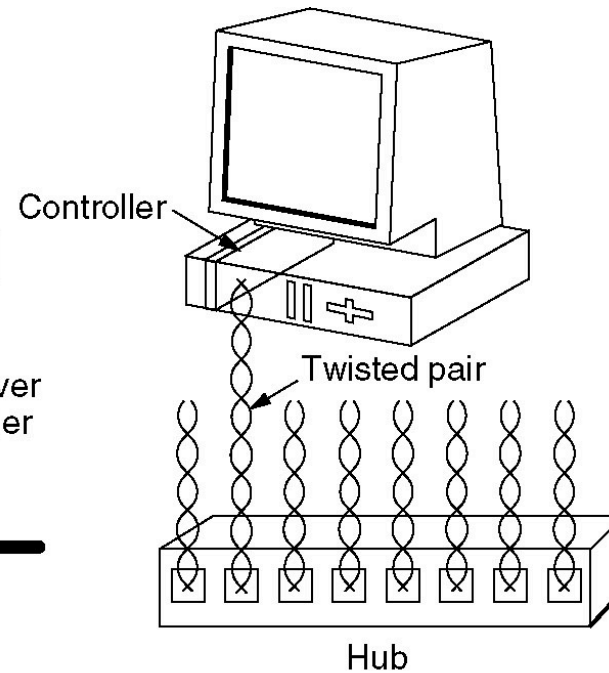
Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings



10Base5



10Base2



10BaseT



Bitübertragungsschicht Ethernet

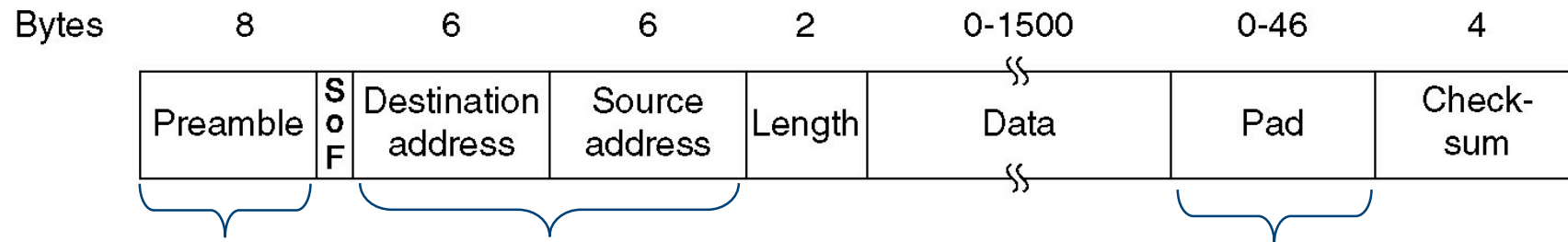
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

- **Mediumabhängig**
- **Typisch: Manchester encoding**
 - mit +/- 0.85 V
- **Code-Verletzung zeigt Frame-Grenzen auf**



Ethernet MAC-Schicht

- Im wesentlichen: CSMA/CD mit *binary exponential backoff*
- Frame-Format



Uhren-
synchronisation:
10101010

MAC-Adressen

Zum Auffüllen des Pakets
damit eine Mindestpaketlänge
von 64 Byte erreicht wird



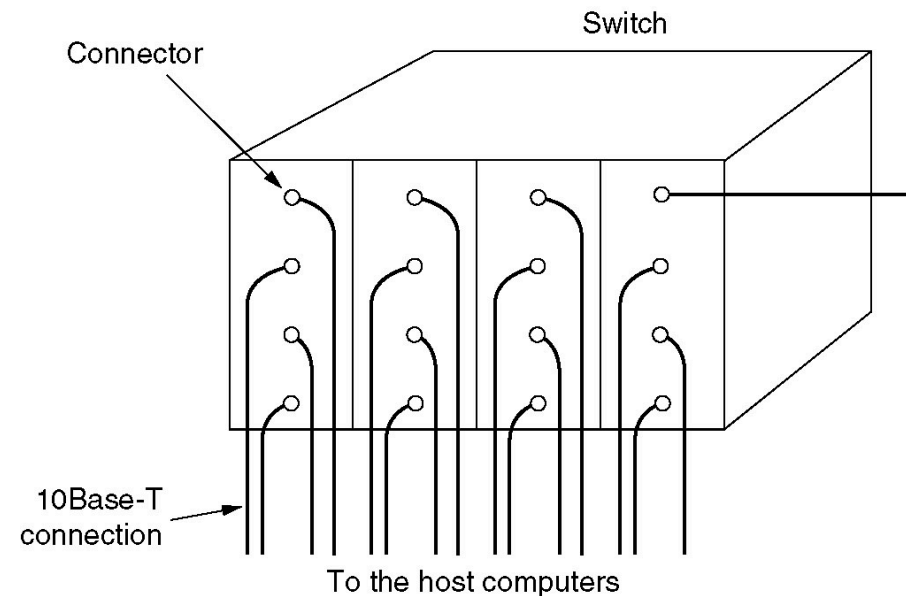
Switch versus Hub

➤ Hub

- verknüpft Ethernet-Leitungen nabenförmig
- jede Verbindung hört alles
- Durch CSMA/CD wird die Übertragungsrate reduziert

➤ Switch

- unterteilt die eingehenden Verbindungen in kleinere Kollisionsteilmengen
- Die Checksumme eines eingehenden Pakets wird überprüft
- Kollisionen werden nicht weiter gegeben
- interpretiert die Zieladresse und leitet das Paket nur in diese Richtung weiter





Fast Ethernet

-
- **Ursprünglich erreichte Ethernet 10 MBit/s**
 - **1992: Fast Ethernet**
 - Ziele: Rückwärtskompatibilität
 - Resultat: 802.3u
 - **Fast Ethernet**
 - Frame-Format ist gleichgeblieben
 - Bit-Zeit wurde von 100 ns auf 10 ns reduziert
 - Dadurch verkürzt sich die maximale Kabellänge (und die minimale Paket-Größe steigt).
 - Unvermeidbare Kollisionen CSMA



Fast Ethernet – Verkabelung

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

- **Standard Cat-3 twisted pair unterstützt nicht 200 MBaud über 100 m**
 - Lösung: Verwendung von 2 Kabelpaaren bei reduzierter Baudrate
- **Wechseln von Manchester auf 4B/5B-Kodierung auf Cat-5-Kabeln**



Gigabit Ethernet

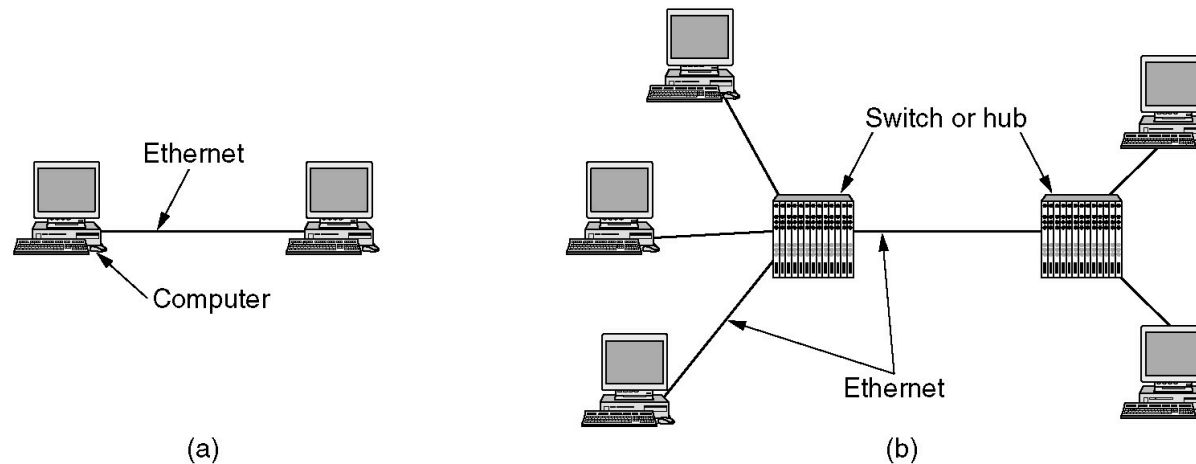
➤ Gigabit-Ethernet: 1995

– Ziel: Weitgehende Übernahme des Ethernet-Standards

➤ Ziel wurde erreicht durch Einschränkung auf Punkt-zu-Punkt-Verbindungen

– In Gigabit-Ethernet sind an jedem Kabel genau zwei Maschinen

- oder zumindestens ein Switch oder Hub





Gigabit Ethernet

➤ Mit Switch

- Keine Kollisionen → CSMA/CD unnötig
- Erlaubt full-duplex für jeden Link

➤ Mit Hub

- Kollisionen, nur Halb-Duplex (d.h. abwechselnd Simplex), CSMA/CD
- Kabellängen auf 25 m reduziert



Gigabit Ethernet – Cabling

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP



Verbinden von LANs

Application layer	Application gateway
Transport layer	Transport gateway
Network layer	Router
Data link layer	Bridge, switch
Physical layer	Repeater, hub



Repeater

➤ **Signalregenerator**

- Empfängt Signal und bereitet es auf
- Nur das elektrische und optische Singal wird aufbereitet
- Information bleibt unbeeinflusst

➤ **Bitübertragungsschicht**

➤ **Repeater teilen das Netz in physische Segmente**

- logische Topologieen bleiben erhalten



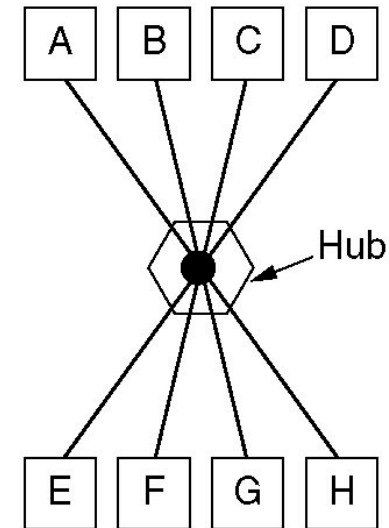
Hub

➤ **Verbindet sternförmig Netzsegmente**

- im Prinzip wie ein Repeater
- Signale werden auf alle angebundene Leitungen verteilt

➤ **Bitübertragungsschicht**

- Information und Logik der Daten bleibt unberücksichtigt
- Insbesondere für Kollisionen





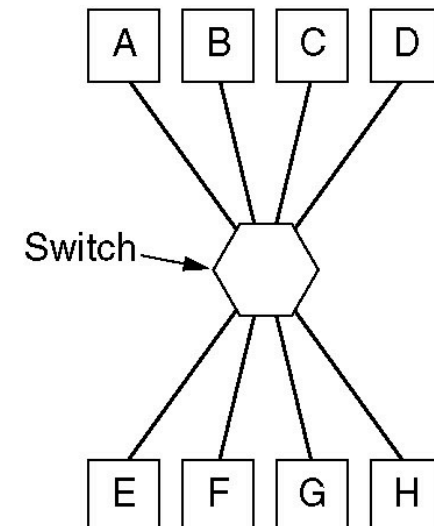
Switch

➤ Verbindet sternförmig Netzsegmente

- Leitet die Daten nur in die betreffende Verbindung weiter
- Gibt keine Kollisionen weiter

➤ Sicherungsschicht

- Signale werden neu erzeugt
- Kollisionen abgeschirmt und reduziert
- Frames aber nicht verwendet
- Rudimentäre Routingtabelle durch Beobachtung, wo Nachrichten herkommen





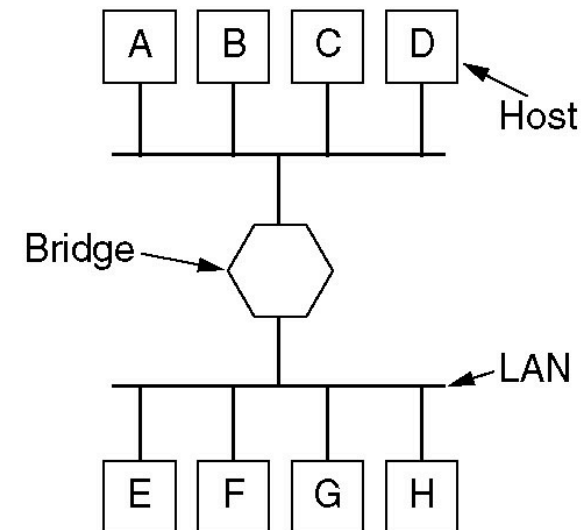
Bridge

➤ Verbindet zwei lokale Netzwerke

- im Gegensatz zum Switch (dort nur Terminals)
- trennt Kollisionen

➤ Sicherungsschicht

- Weitergabe an die andere Seite, falls die Ziel-Adresse aus dem anderen Netzwerk bekannt ist oder auf beiden Seiten noch nicht gehört wurde
- Nur korrekte Frames werden weitergereicht
- Übergang zwischen Bridge und Switch ist fließend



Ende der 7. Vorlesungswoche



Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

Systeme II
Christian Schindelhauer
schindel@informatik.uni-freiburg.de