

# *Systeme II*



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

**Christian Schindelhauer**

Sommersemester 2006

12. Vorlesung

14.06.2006

**[schindel@informatik.uni-freiburg.de](mailto:schindel@informatik.uni-freiburg.de)**



# Der Mediumzugriff in der Sicherungsschicht

---

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

---

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



# Annahmen

## ➤ Stationsmodell (terminal model)

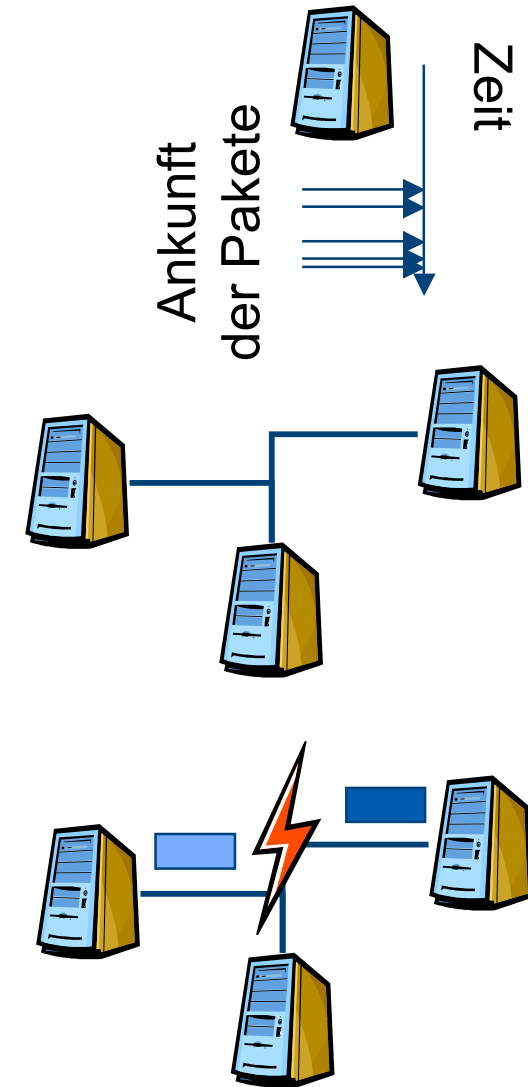
- N unabhängige Stationen möchten eine Leitung/Ressource teilen
- Mögliches Lastmodell:
  - Wahrscheinlichkeit, dass ein Paket im Intervall der Länge  $\Delta t$  erzeugt wird ist  $\lambda \Delta t$  für eine Konstante  $\lambda$

## ➤ 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





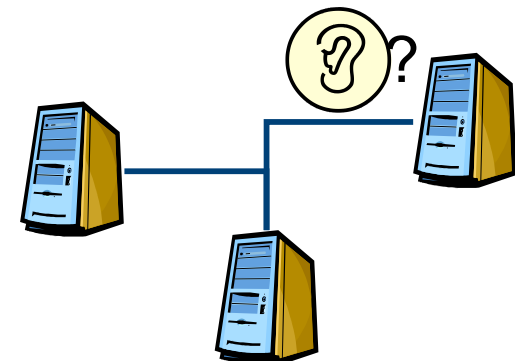
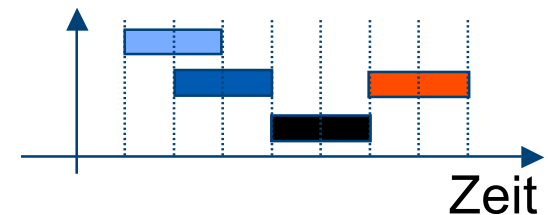
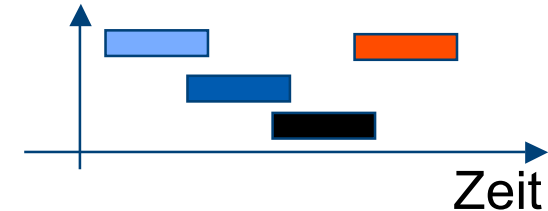
# Annahmen

## ➤ 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)

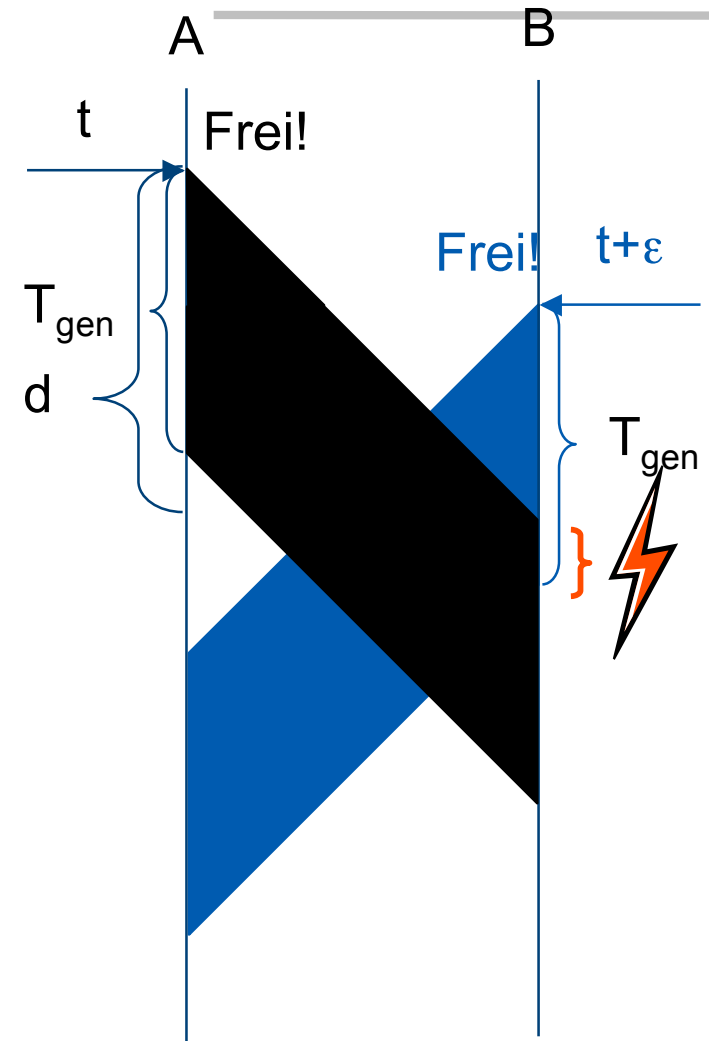
- Stationen können erkennen ob der Kanal momentan von anderen Stationen verwendet wird
  - Nicht notwendigerweise zuverlässig





# CSMA und Übertragungszeit

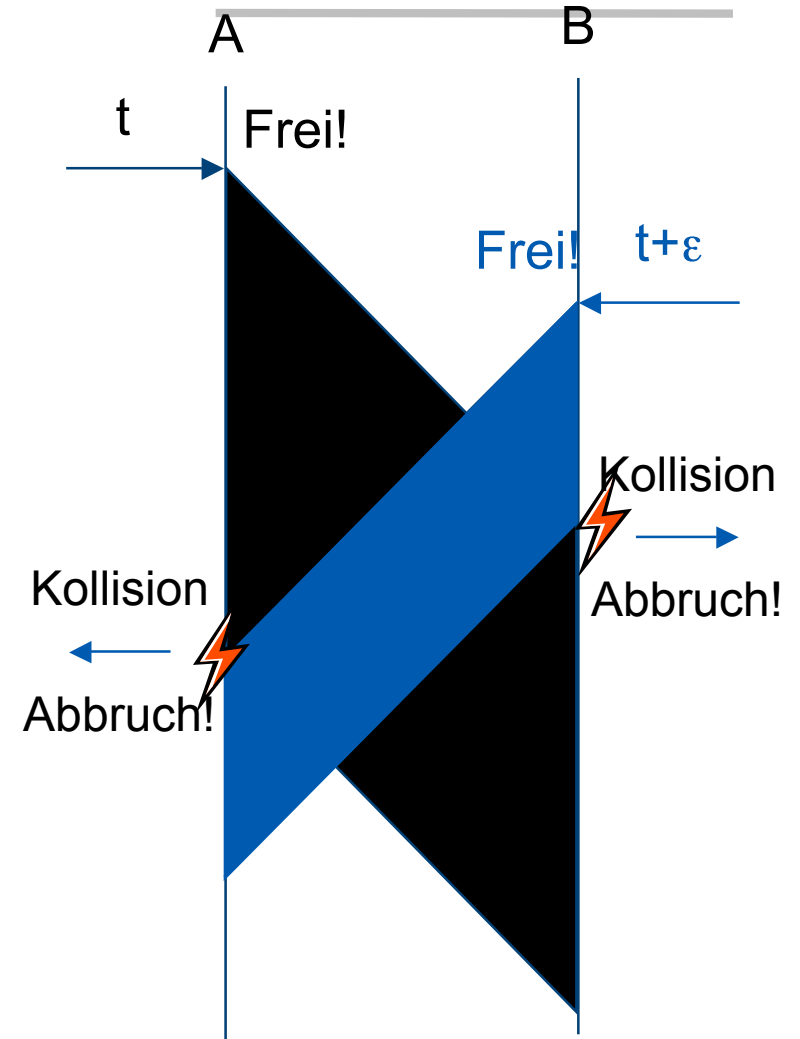
- **CSMA-Problem:**
  - Übertragungszeit  $d$  (propagation delay)
- **Zwei Stationen**
  - starten Senden zu den Zeitpunkten  $t$  und  $t+\varepsilon$  mit  $\varepsilon < d$
  - sehen jeweils einen freien Kanal
- **Zweite Station**
  - verursacht eine Kollision





# 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

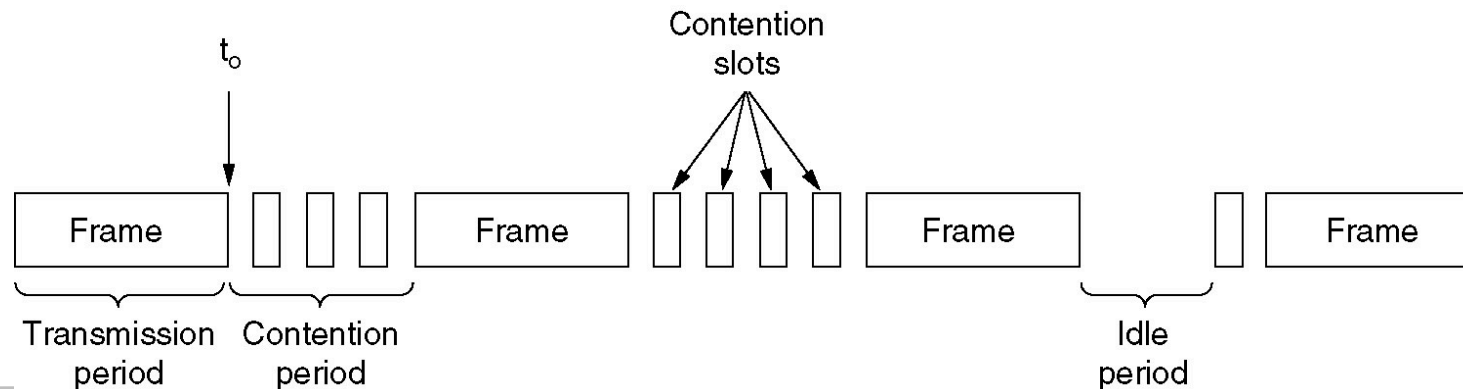
## ➤ Wettbewerbsphase (Contention Period)

- Kollisionen entstehen, Übertragungen werden abgebrochen

## ➤ Übertragungsphase (Transmission Period)

- Keine Kollision, effektiver Teil des Protokolls

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





# Bestimmung der Wartezeit

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

---

## ➤ 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 Schindelhauer

---

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

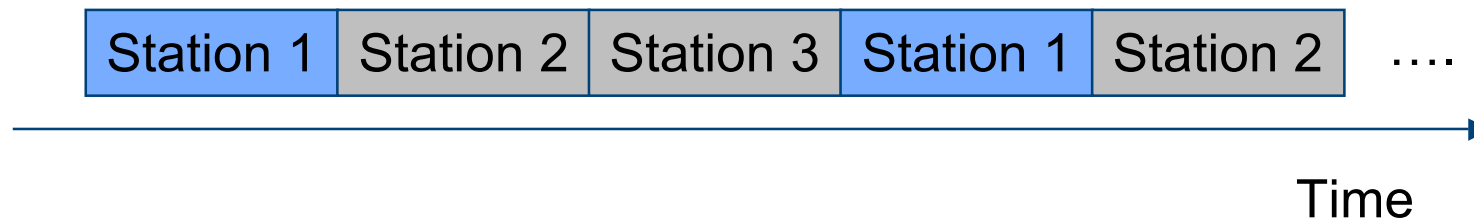


# Wettbewerbfreie Protokolle

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

## ➤ 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?



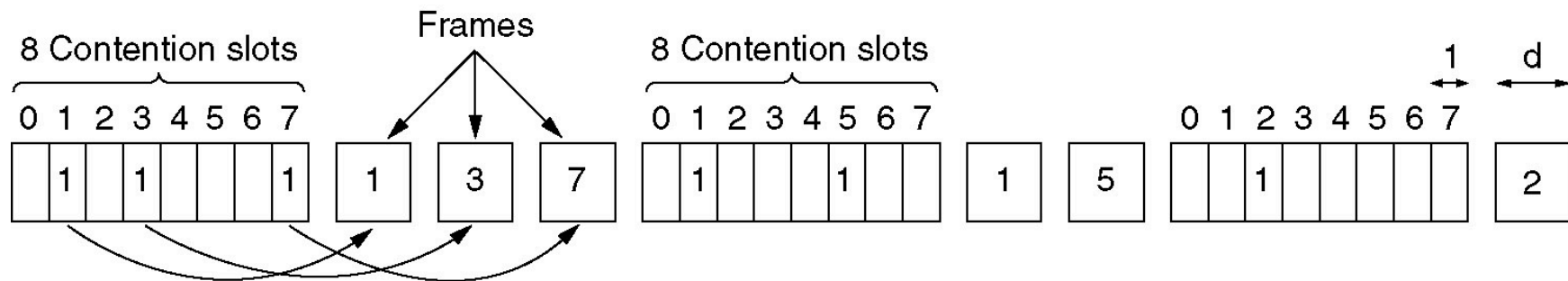
# Bit-map Protokoll

## ➤ 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 Schindelhauer

---

- **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



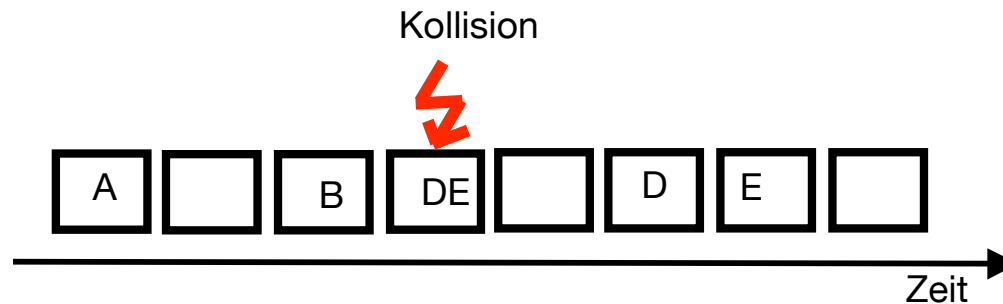
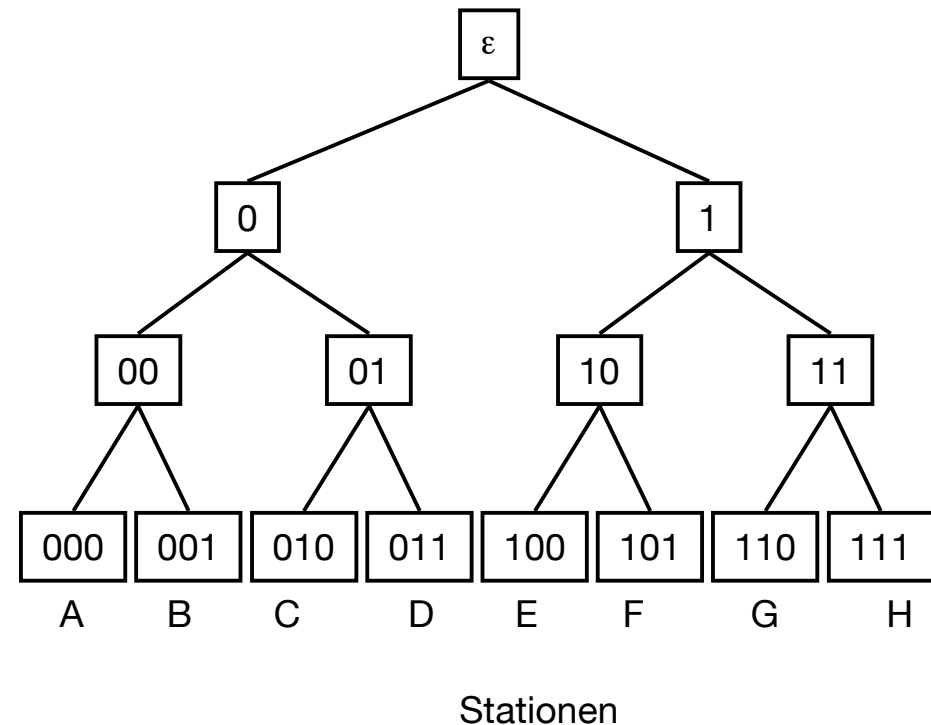
# Adaptives Baumprotokoll

## 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



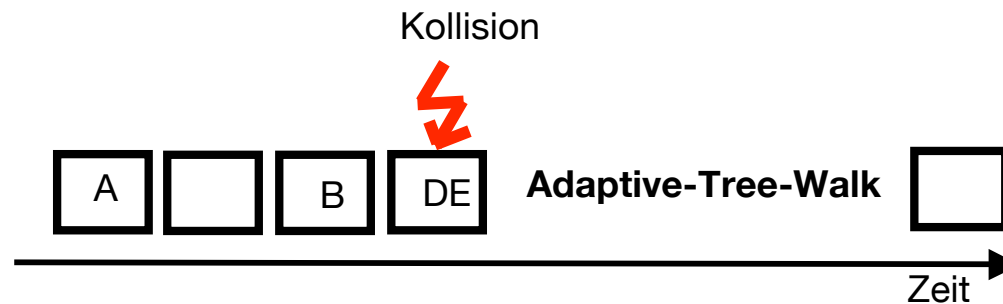


# Adaptives Baumprotokoll Grundalgorithmus

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( $\epsilon$ ) aus







# Adaptives Baumprotokoll

## Knoten-Test

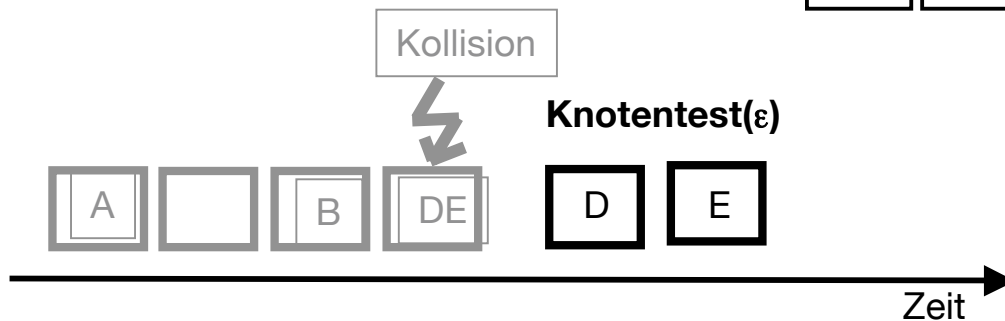
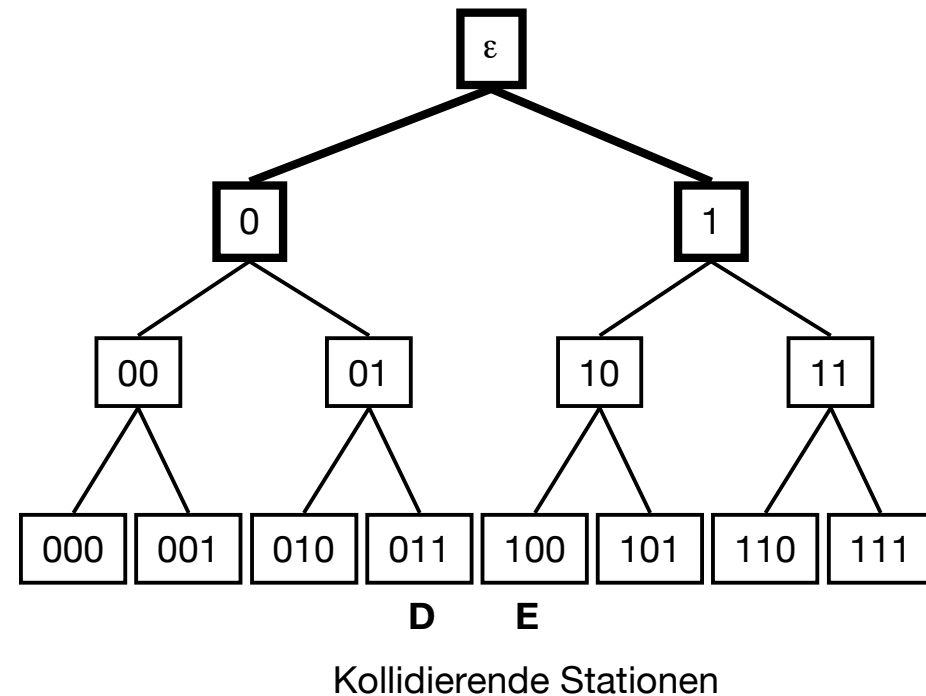
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelbauer

### ➤ 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

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

## ➤ Algorithmus Knoten-Test

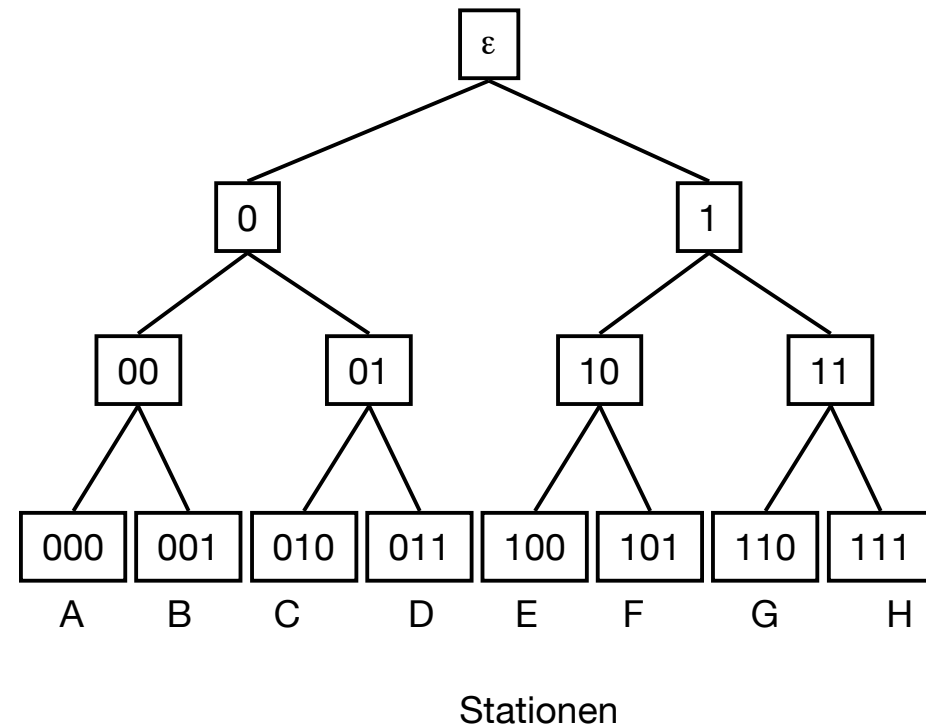
- für Knoten  $u$  des Baums und
- kollidierende Menge  $S$  von Station

## ➤ 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( $x$ )

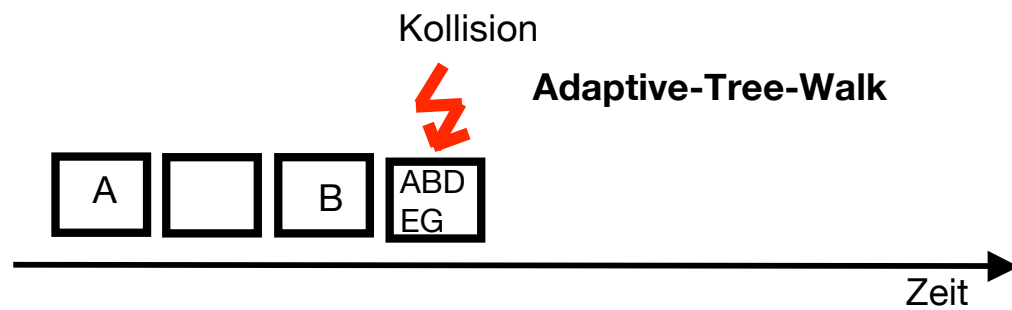
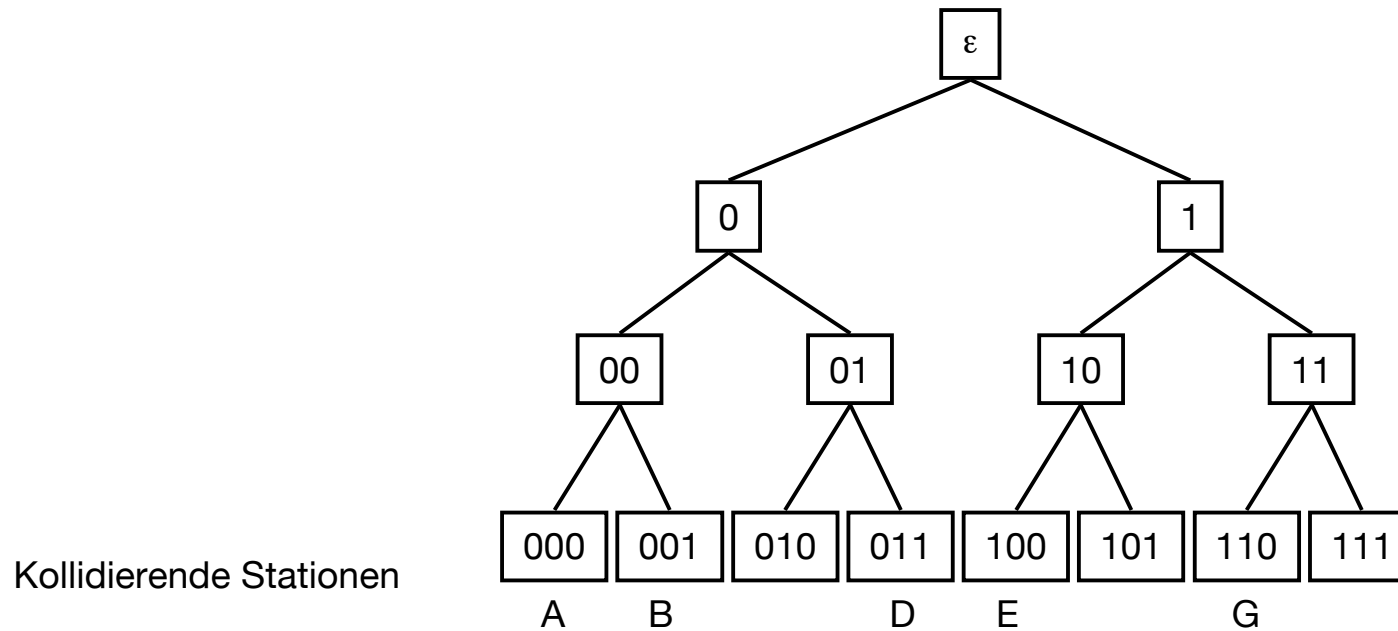
- Führe Knoten-Test( $x$ ) aus
- Falls Kollision im ersten Slot,
  - führe Adaptive-Tree-Walk( $x0$ ) aus
- Falls Kollision im zweiten Slot,
  - Führe Adaptive-Tree-Walk( $x1$ ) aus





# Adaptives Baumprotokoll Beispiel (1)

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

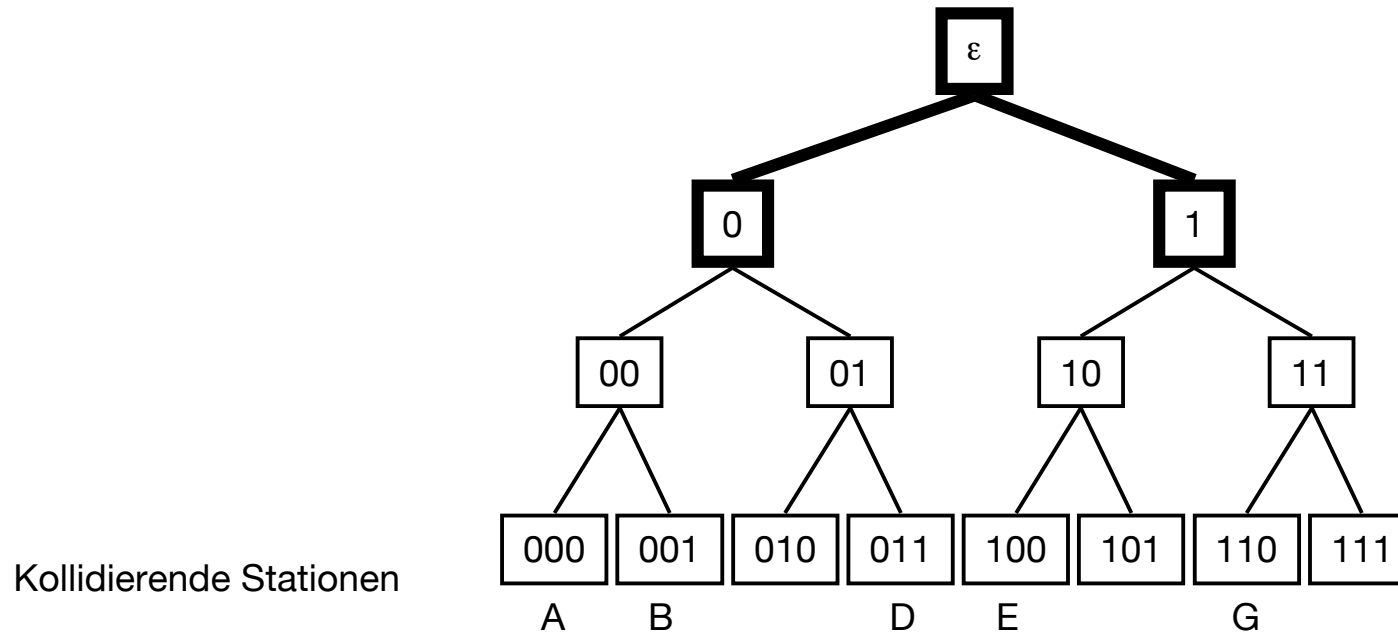




# Adaptives Baumprotokoll

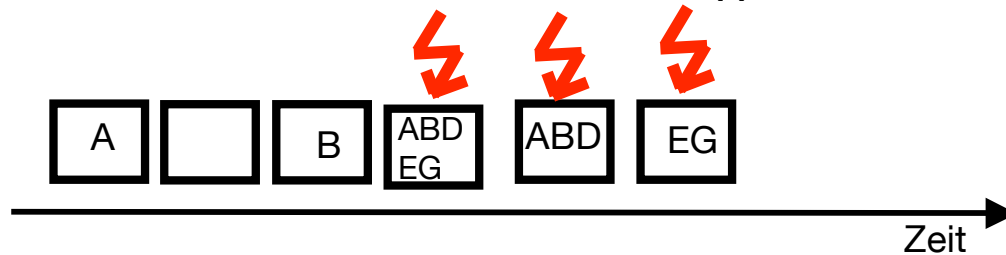
## Beispiel (2)

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



Adaptive-Tree-Walk

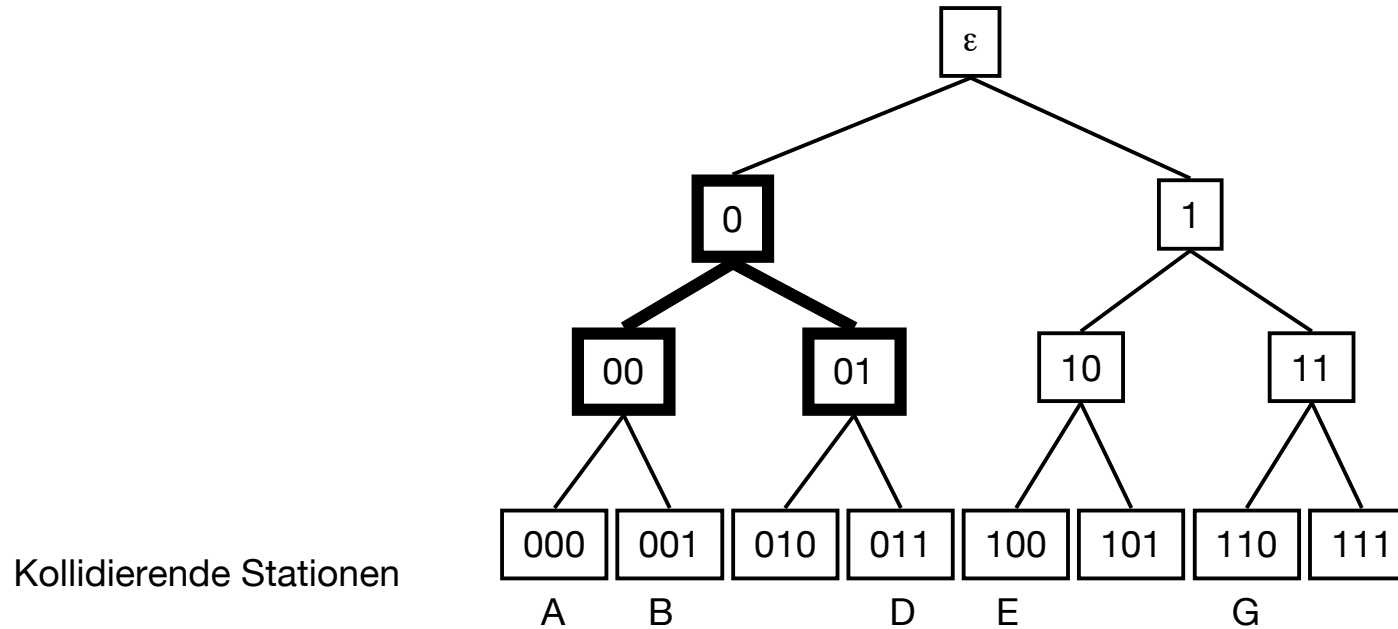
Knotentest( $\epsilon$ )





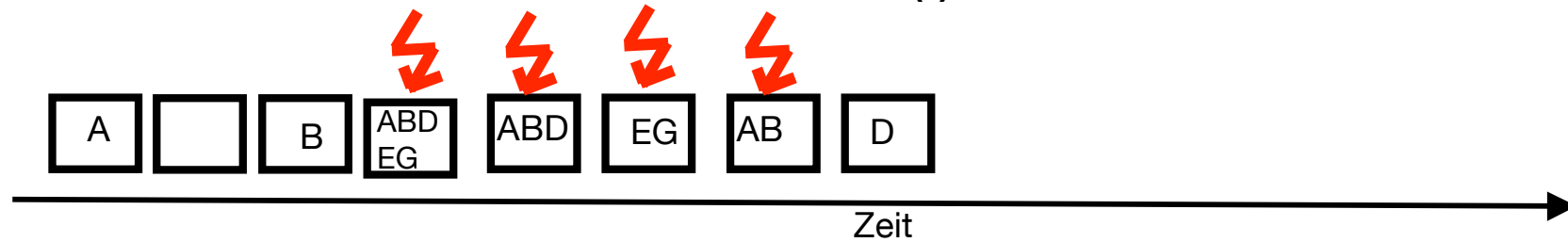
# Adaptives Baumprotokoll

## Beispiel (3)



### Adaptive-Tree-Walk

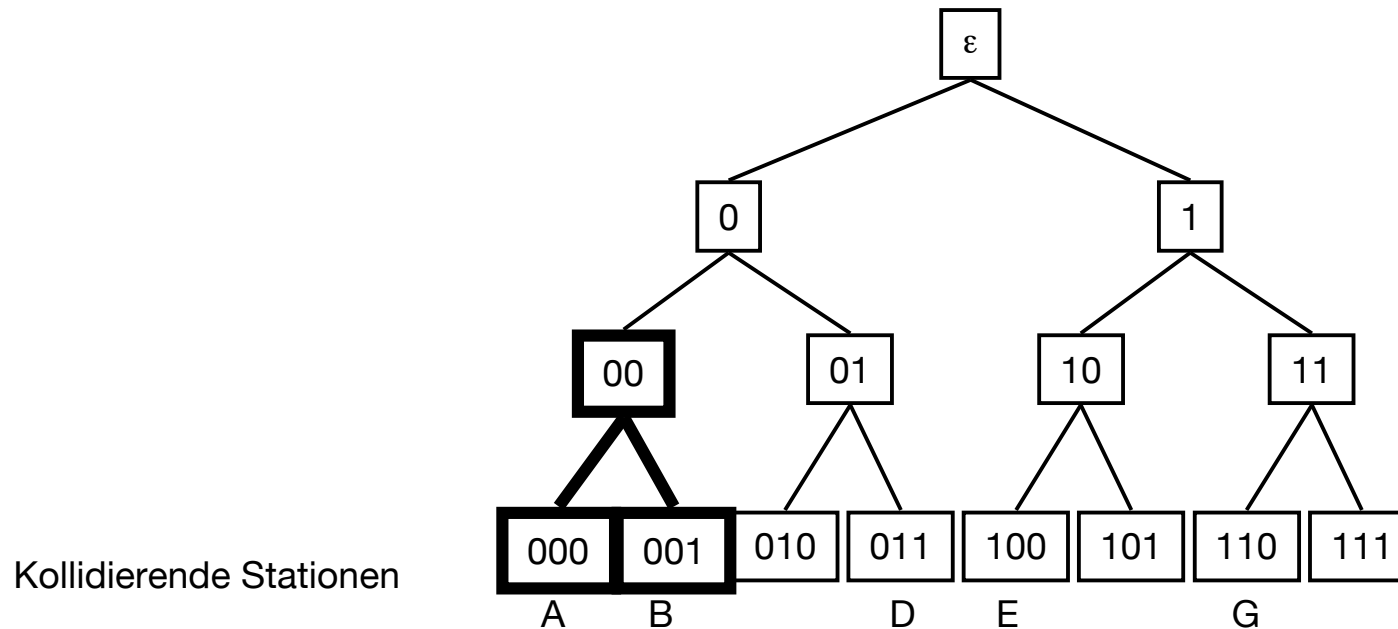
Knotentest( $\epsilon$ ) Knotentest(0)





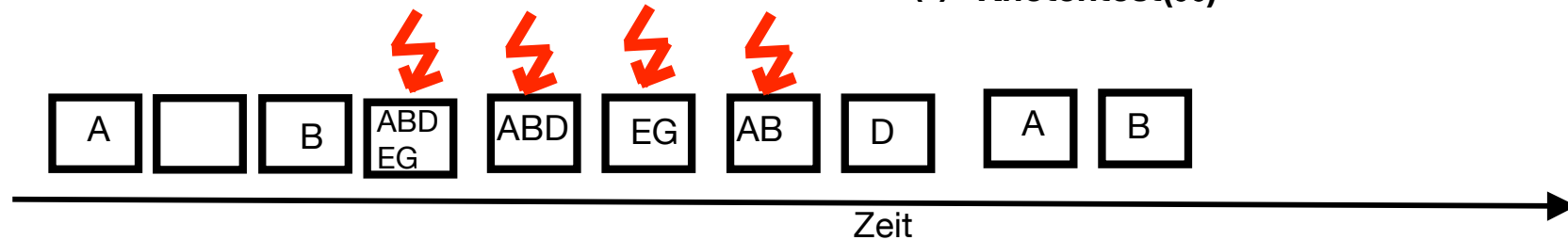
# Adaptives Baumprotokoll

## Beispiel (4)



### Adaptive-Tree-Walk

Knotentest( $\epsilon$ ) Knotentest(0) Knotentest(00)

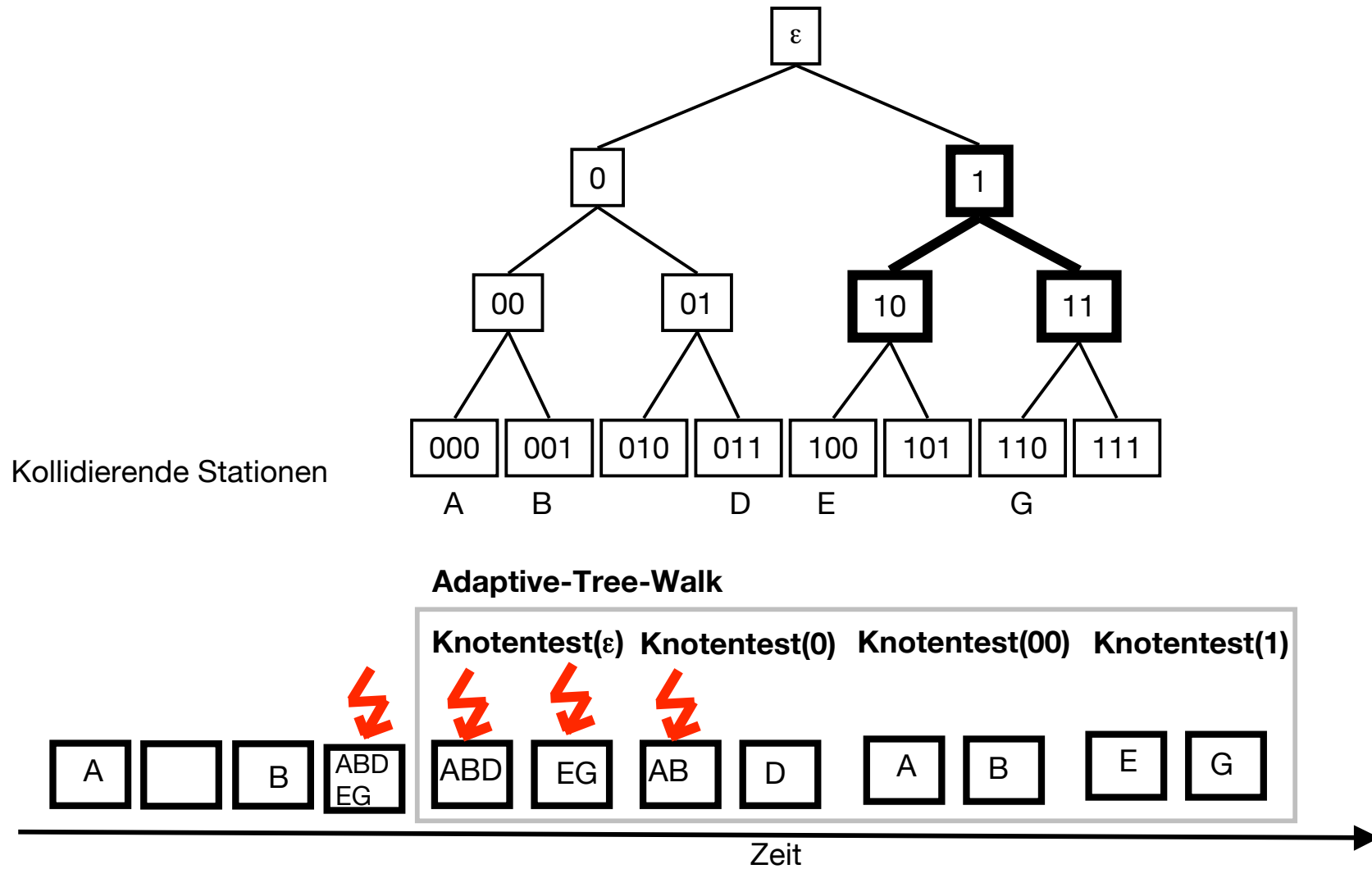




# Adaptives Baumprotokoll

## Beispiel (5)

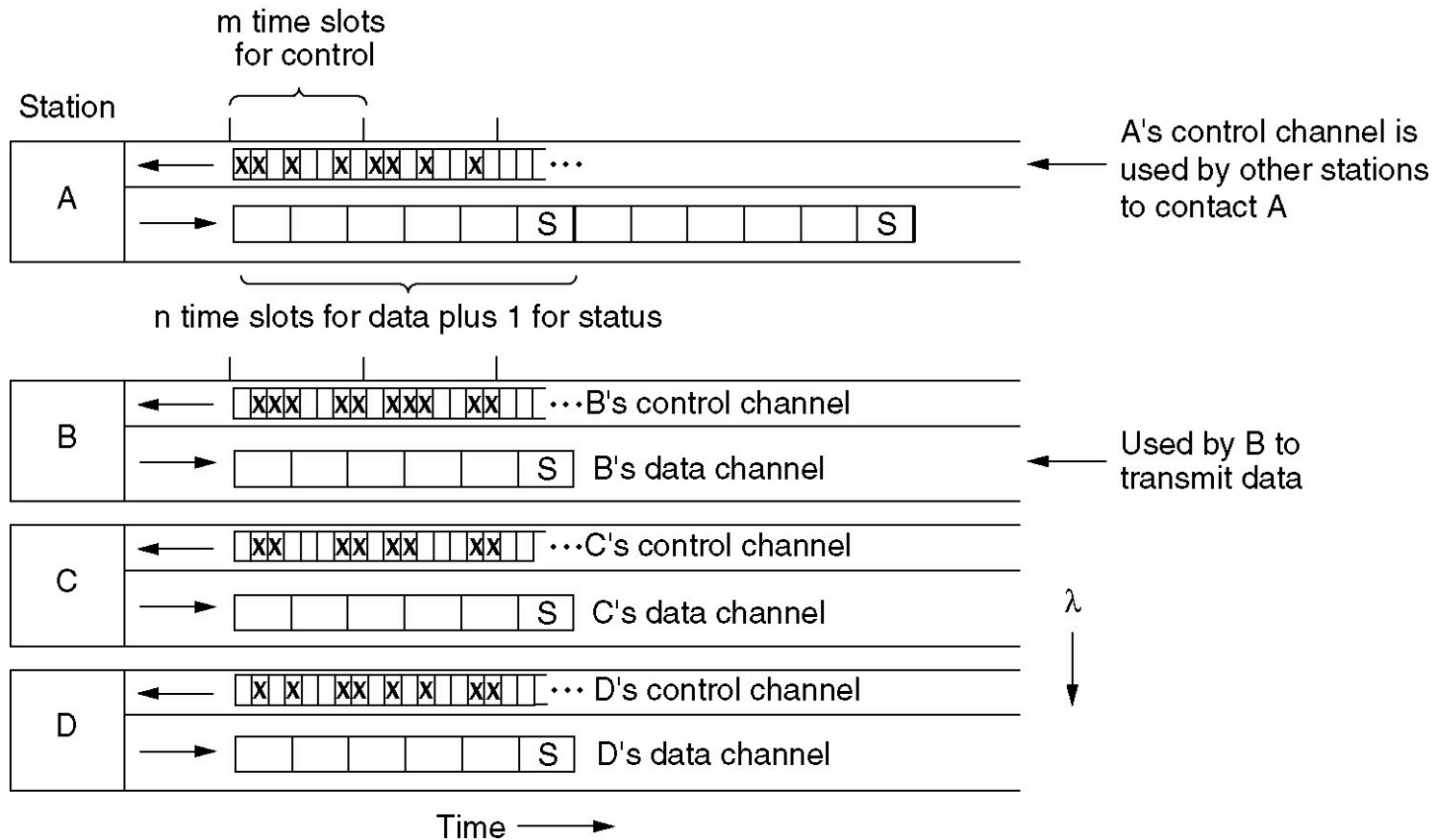
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelbauer





# Kollisionsfreier Zugriff in der drahtlosen Kommunikation

## Wavelength division multiple access.

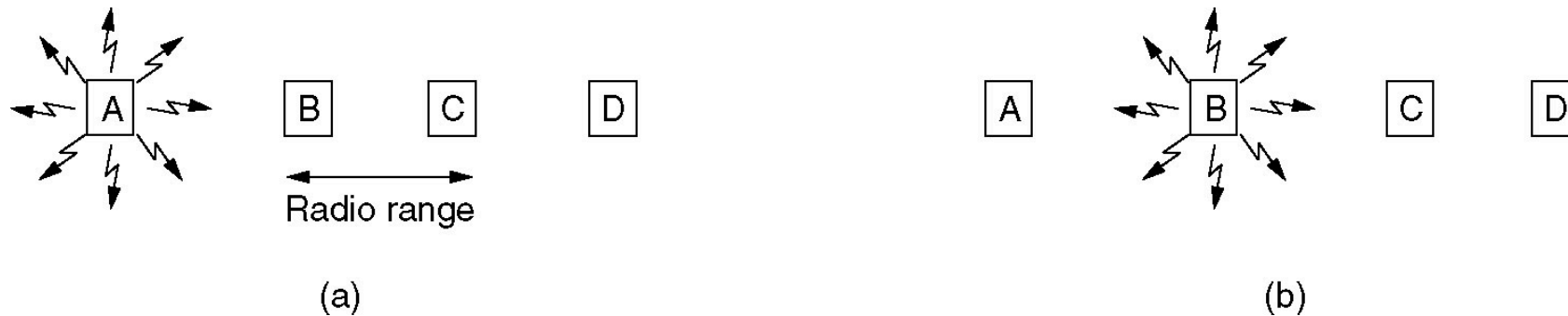






# Spezielle Probleme in drahtlosen Netzwerken

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



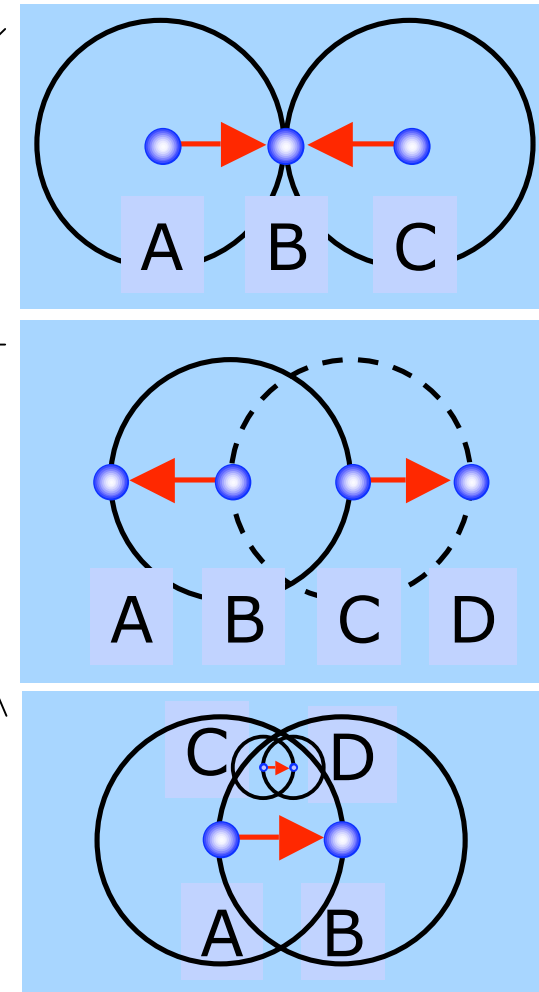
A wireless LAN. (a) A transmitting. (b) B transmitting.



# Probleme im W-LAN

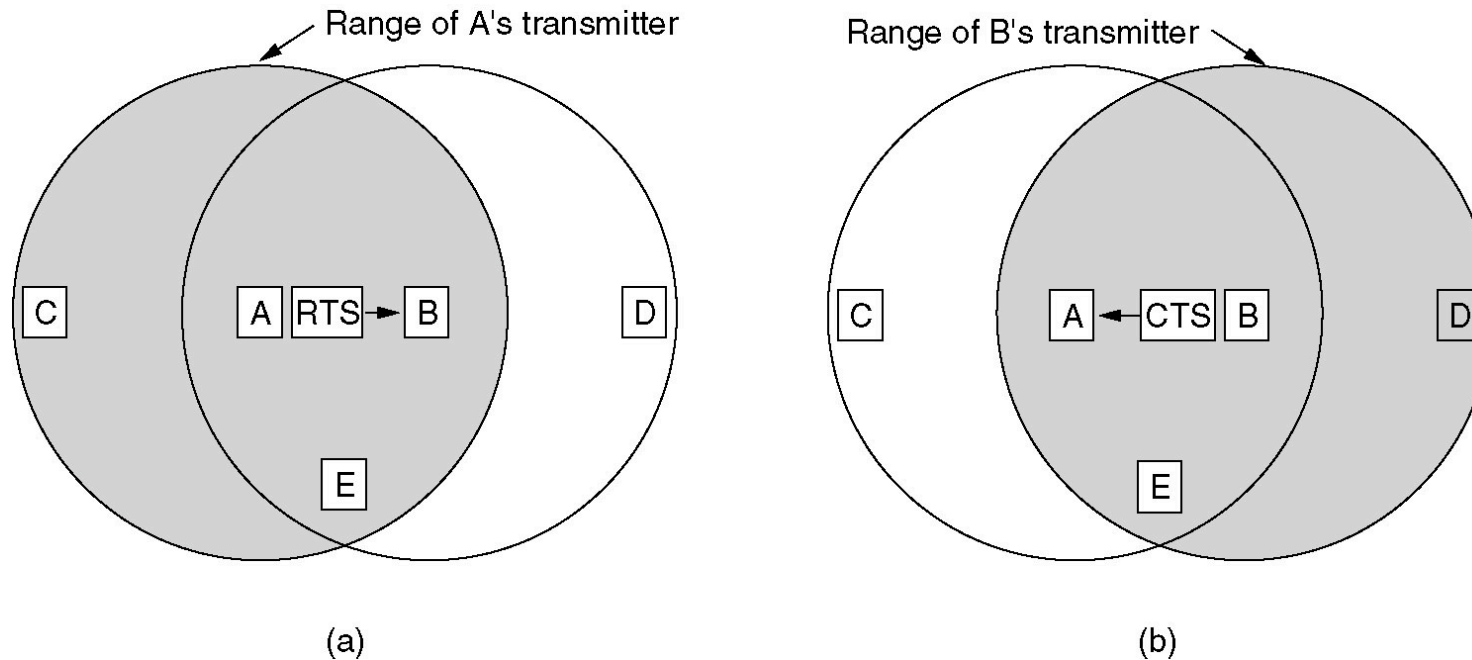
## ➤ Interferenzen

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





# Multiple Access with Collision Avoidance



**(a) A sendet Ready to Send (RTS) an B.**

**(b) B antwortet mit CTS an A.**



# Der Mediumzugriff in der Sicherungsschicht

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

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



# Fallbeispiel: Ethernet

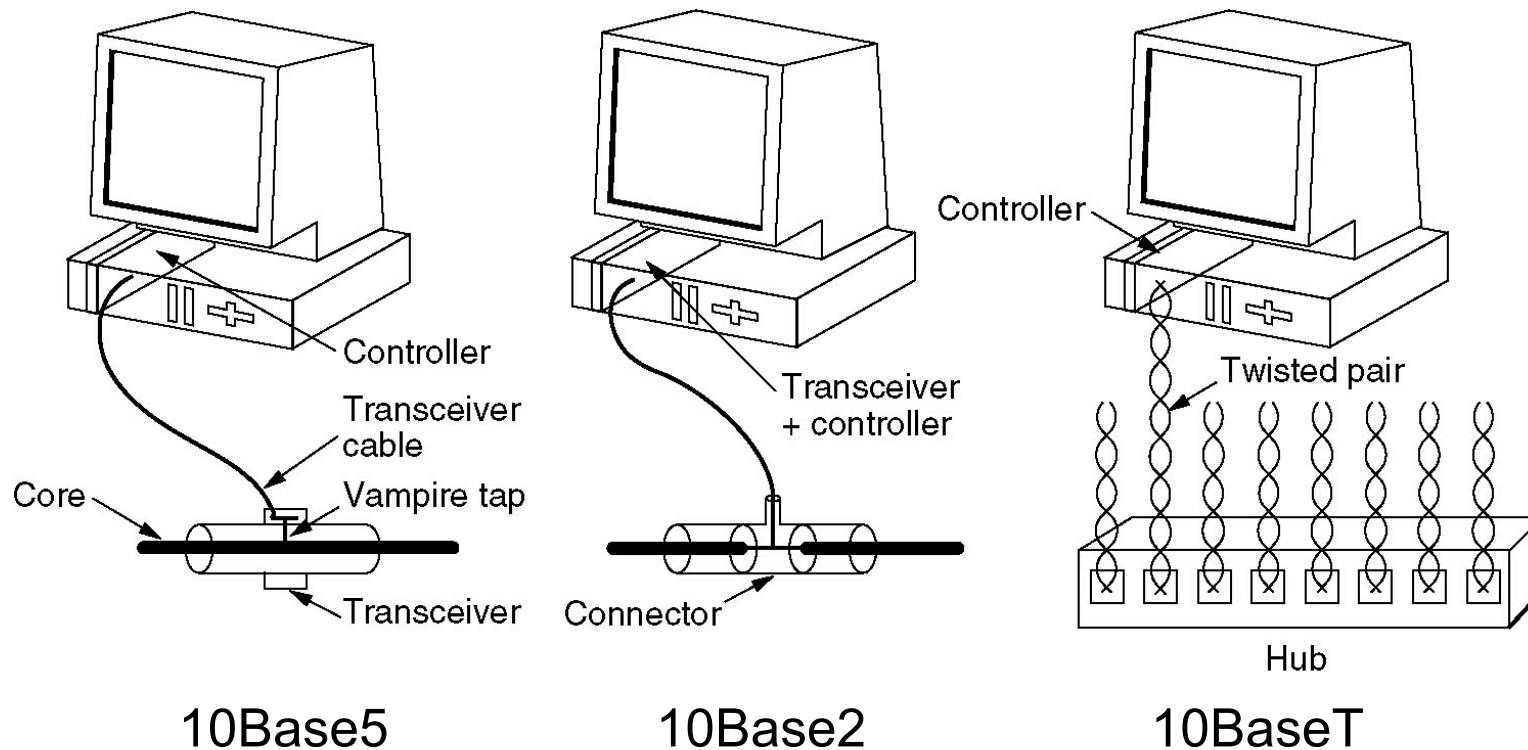
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Informatik  
Rechnernetze und Telematik  
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

- 
- **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





# Bitübertragungsschicht Ethernet

---

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

---

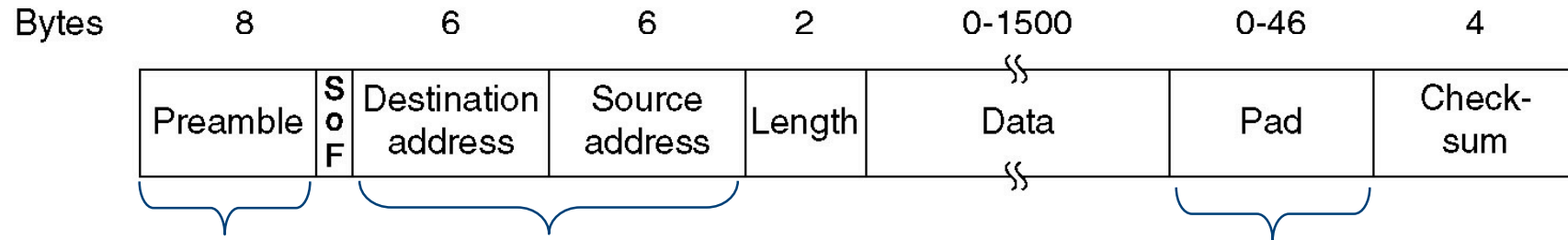
- **Mediumabhängig**
- **Typisch: Manchester encoding**
  - mit +/- 0.85 V
- **Code-Verletzung zeigt Frame-Grenzen auf**



# 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





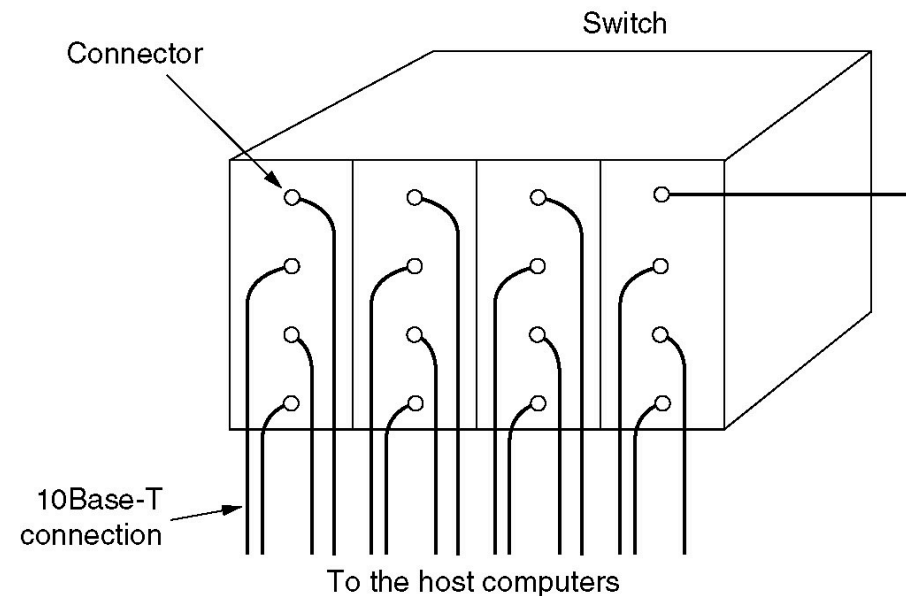
# Switch versus Hub

## ➤ 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 Schindelhauer

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

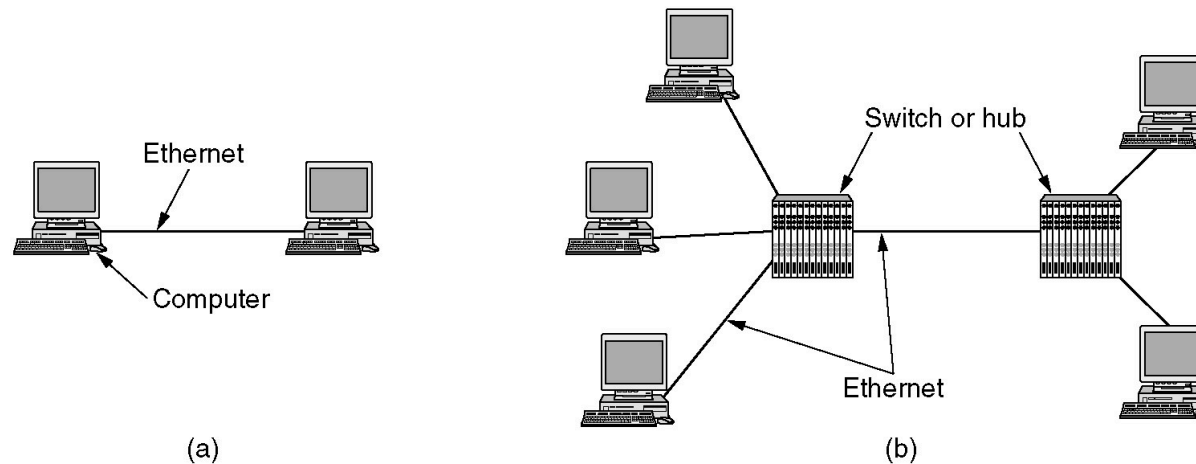
## ➤ Gigabit-Ethernet: 1995

– 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 Schindelhauer

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 $\mu$ ) or multimode (50, 62.5 $\mu$ )
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





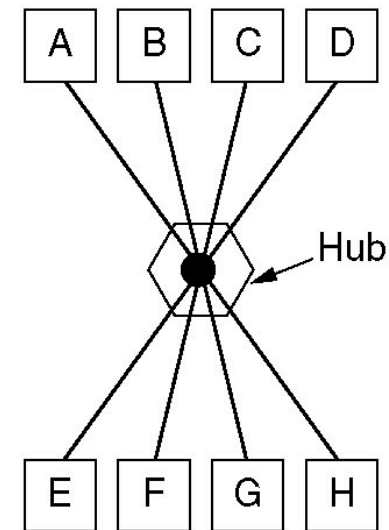
# Hub

➤ **Verbindet sternförmig Netzsegmente**

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

➤ **Bitübertragungsschicht**

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





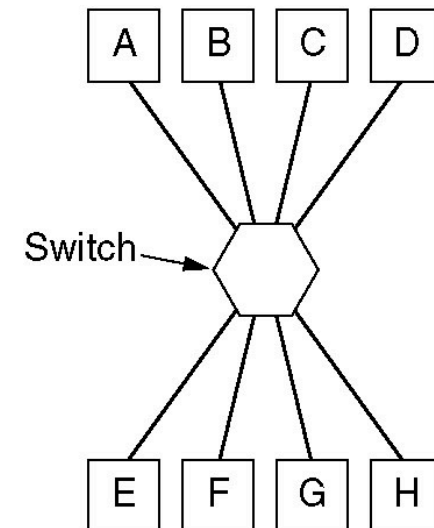
# Switch

## ➤ 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





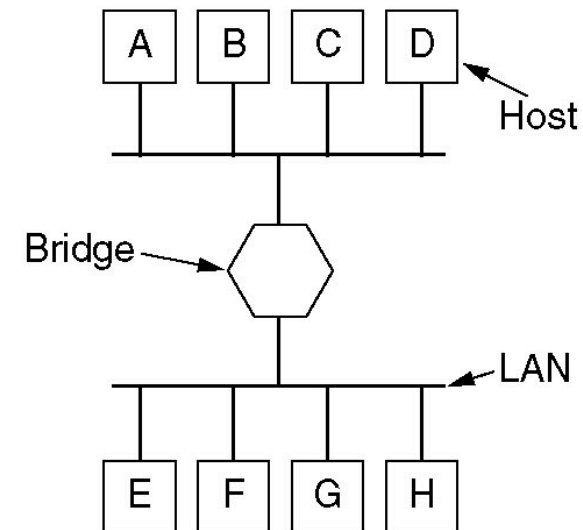
# Bridge

## ➤ 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 12. Vorlesung*



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

**Systeme II**  
**Christian Schindelhauer**  
**[schindel@informatik.uni-freiburg.de](mailto:schindel@informatik.uni-freiburg.de)**