



# Systeme II

6. Woche Mediumzugriff in der Sicherungsschicht

Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

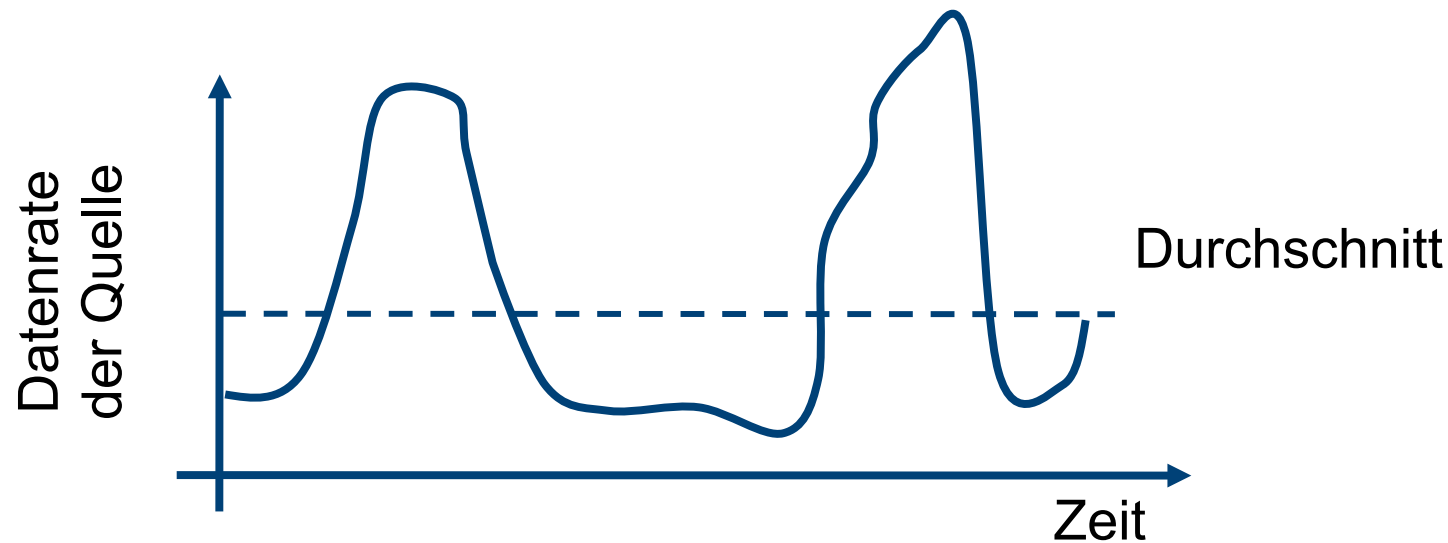
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

- Die Bitübertragung kann erst stattfinden, wenn das Medium reserviert wurde
  - Funkfrequenz bei drahtloser Verbindung (z.B. W-LAN 802.11, GSM, GPRS)
  - Zeitraum bei einem Kabel mit mehreren Rechnern (z.B. Ethernet)
- Aufgabe der Sicherungsschicht
  - Koordination zu komplex für die “einfache” Bitübertragungsschicht

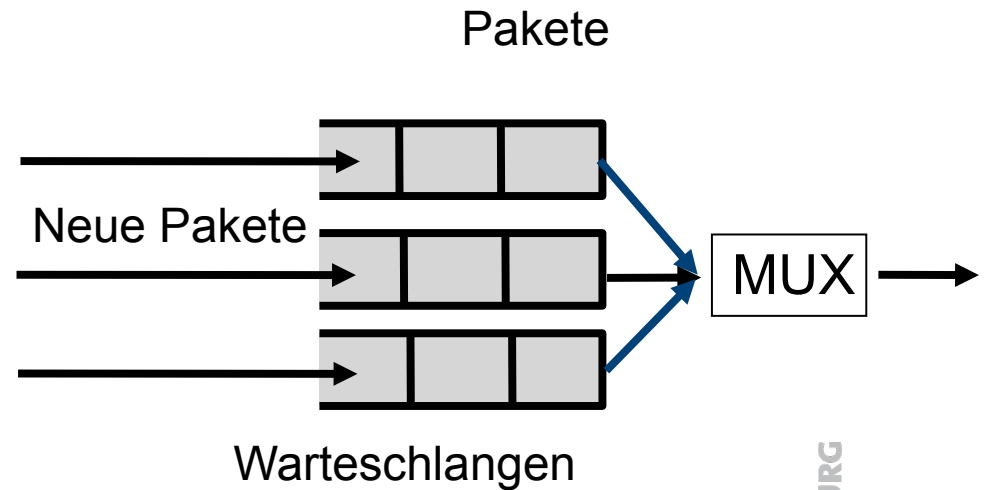
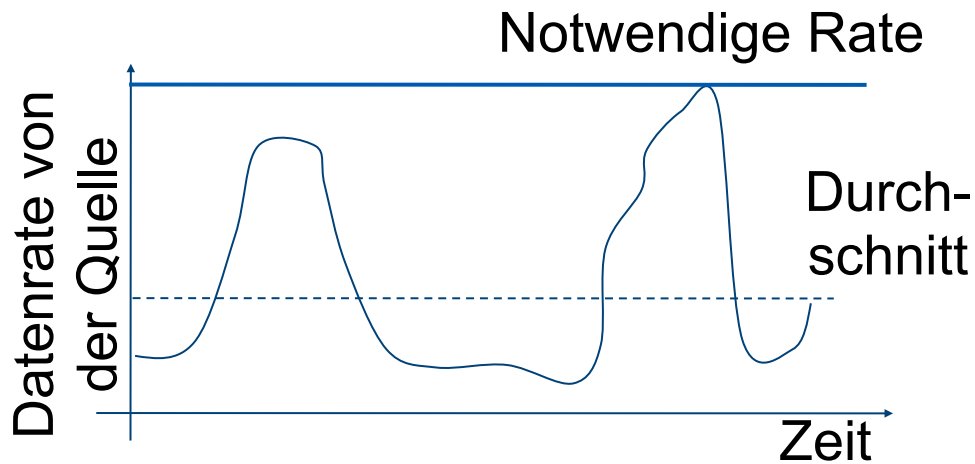
- Statisches Multiplexen
- Dynamische Kanalbelegung
  - Kollisionsbasierte Protokolle
  - Kollisionsfreie Protokolle (contention-free)
  - Protokolle mit beschränktem Wettbewerb (limited contention)
- Fallbeispiel: Ethernet

- Gegeben sei eine einzelne Leitung (Ressource)
- Mehreren Kommunikationsverbindungen werden feste Zeiträume/Kanäle (slots/channels) zugewiesen
  - Oder: Feste Frequenzbänder werden ihnen zugewiesen
- Feste Datenraten und entsprechenden Anteilen am Kanal
  - Quellen lasten die Leitung aus

- Problem: Verkehrsspitzen (bursty traffic)
  - Definition: Großer Unterschied zwischen Spitze und Durchschnitt
  - In Rechnernetzwerken: Spitze/Durchschnitt = 1000/1 nicht ungewöhnlich



- Leitung für statisches Multiplexen:
  - entweder
    - Genügend große Kapazität um mit dem Peak fertig zu werden
    - Verschwendung, da die Durchschnittsrate den Kanal nicht auslasten wird
  - oder
    - Ausgelegt für Durchschnittsrate
    - Versehen mit Warteschlangen (queue)
    - Vergrößerung der Verzögerung (delay) der Pakete



- Vergleich der Verzögerung
- Ausgangsfall:
  - Kein Multiplexing
  - Einfacher Datenquelle mit Durchschnittsrate  $\rho$  (bits/s) und der Leitungskapazität  $C$  bits/s
  - Sei  $T$  die Verzögerung
- Multiplex-Fall
  - Die Datenquelle wird in  $N$  Quellen unterteilt mit der selben Datenrate
  - Statischer Multiplex über die selbe Leitung
  - Dann ergibt sich (im wesentlichen) die Verzögerung:  $N T$
- Schluss: Statisches Multiplexen vergrößert den Delay eines Pakets in der Regel um den Faktor  $N$ 
  - Grund: Bei einer Verkehrsspitze sind  $n-1$  Kanäle leer

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

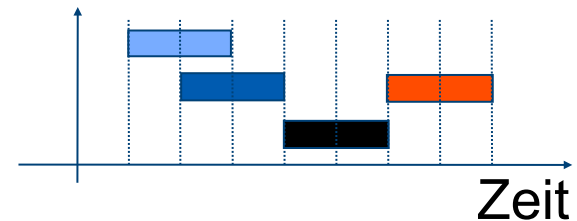
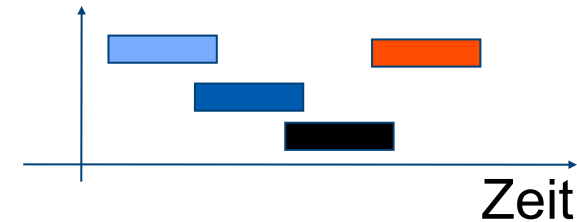


- Statisches Multiplexing ist nicht geeignet für Datenverbindung mit Spitzen
- Alternative: Zuweisung des Slots/Kanals an die Verbindung mit dem größten Bedarf
  - Dynamische Medium-Belegung
  - statt fester
- Der Mediumzugriff wird organisiert:
  - Mediumszugriff-Protokoll (Medium Access Control protocol - MAC)

- 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

## ■ 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

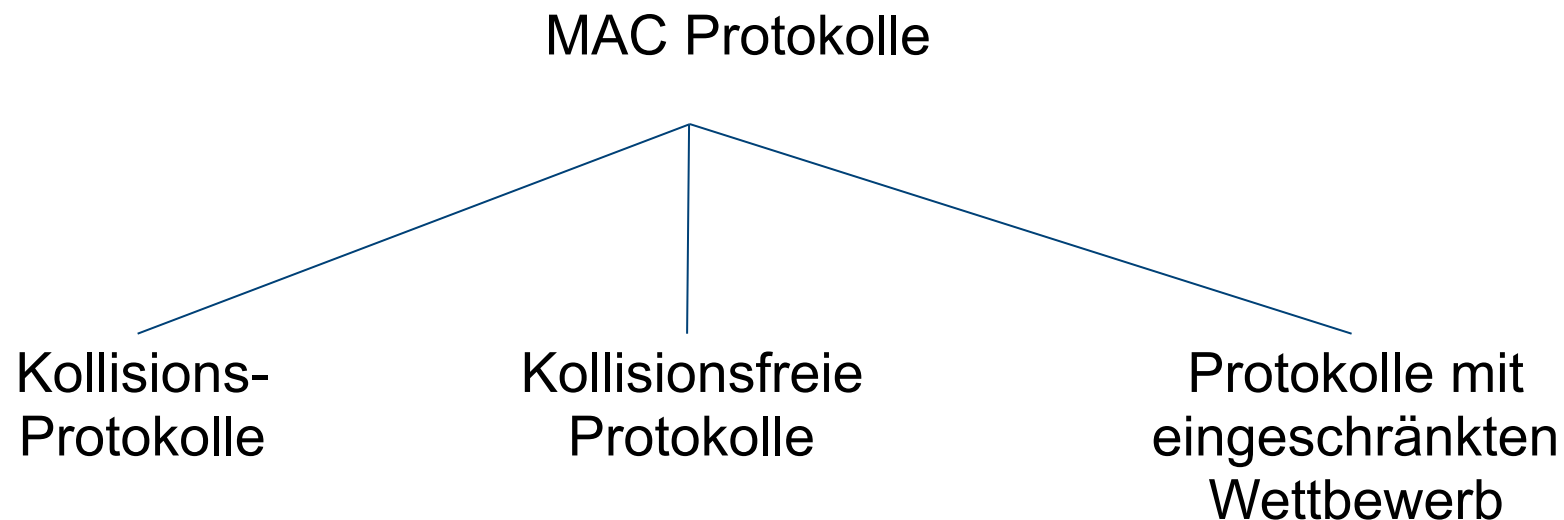


## ■ Träger-Messung (Carrier Sensing)

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

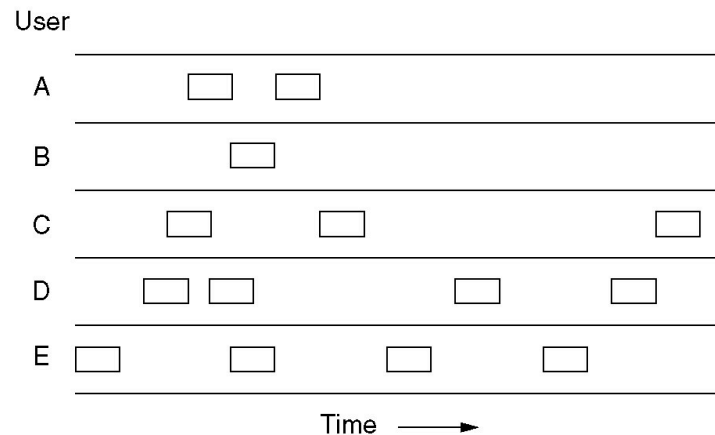
- Methoden zur Bewertung der Effizienz einer Kanalzuweisung
- Durchsatz (throughput)
  - Anzahl Pakete pro Zeiteinheit
  - Besonders bei großer Last wichtig
- Verzögerung (delay)
  - Zeit für den Transport eines Pakets
  - Muss bei geringer Last gut sein
- Gerechtigkeit (fairness)
  - Gleichbehandlung aller Stationen
  - Fairer Anteil am Durchsatz und bei Delay

- Unterscheidung: Erlaubt das Protokoll Kollisionen?
  - Als Systementscheidung
  - Die unbedingte Kollisionsvermeidung kann zu Effizienzeinbußen führen

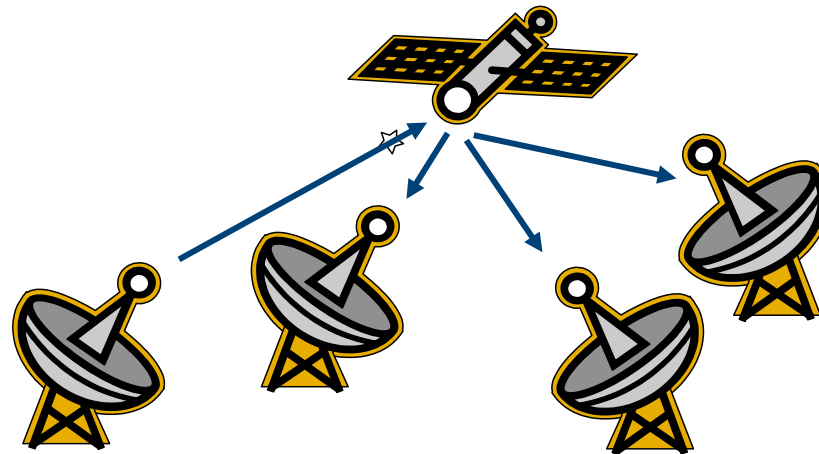


System mit Kollisionen: **Contention System**

- 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



- 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

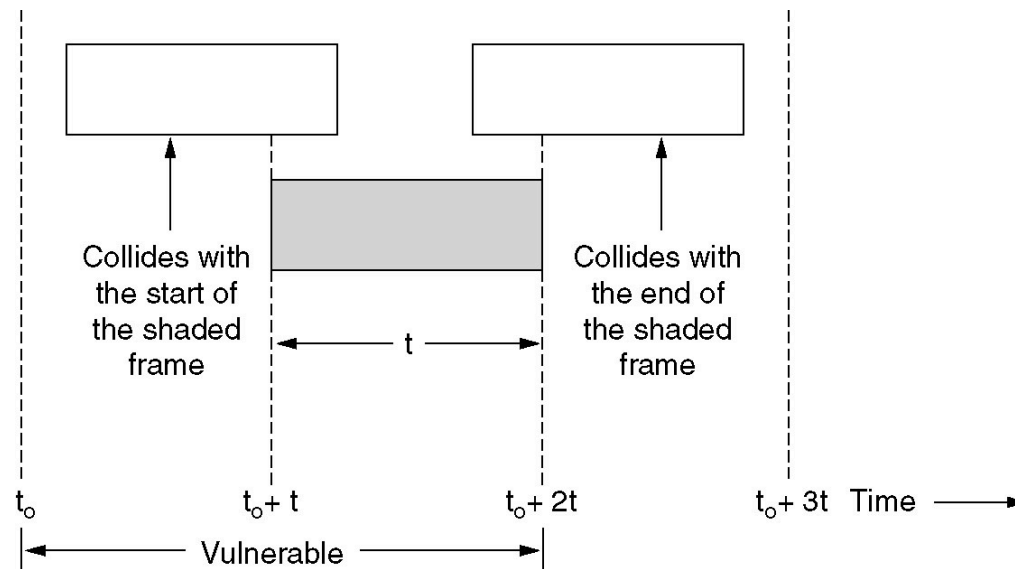
- Betrachte Poisson-Prozess zur Erzeugung von Paketen
  - Entsteht durch “unendlich” viele Stationen, die sich gleich verhalten
  - Zeit zwischen zwei Sende-Versuchen ist exponentiell verteilt
  - Sei  $G$  der Erwartungswert der Übertragungsversuche pro Paketlänge
  - Alle Pakete haben gleiche Länge
  - 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?



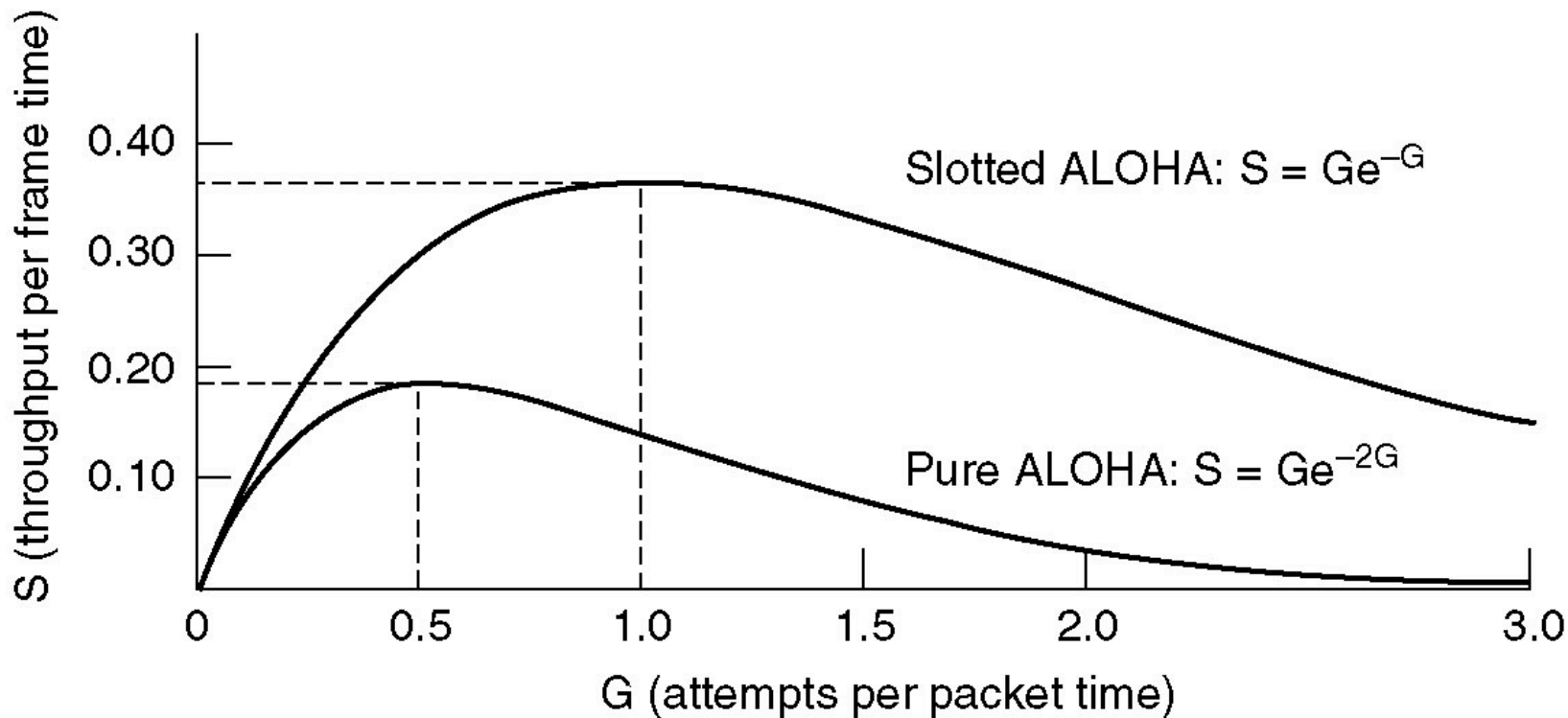
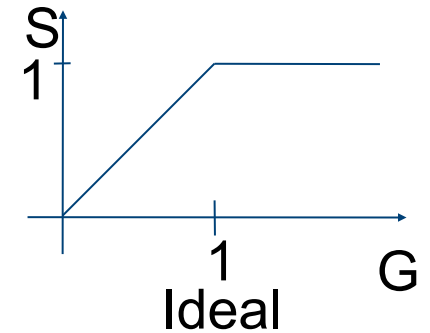
- Ein Paket X wird gestört, wenn
  - ein Paket kurz vor X startet
  - wenn ein Paket kurz vor dem Ende von X startet
- Das Paket wird erfolgreich übertragen, wenn in einem Zeitraum von zwei Paketen kein (anderes) Paket übertragen wird



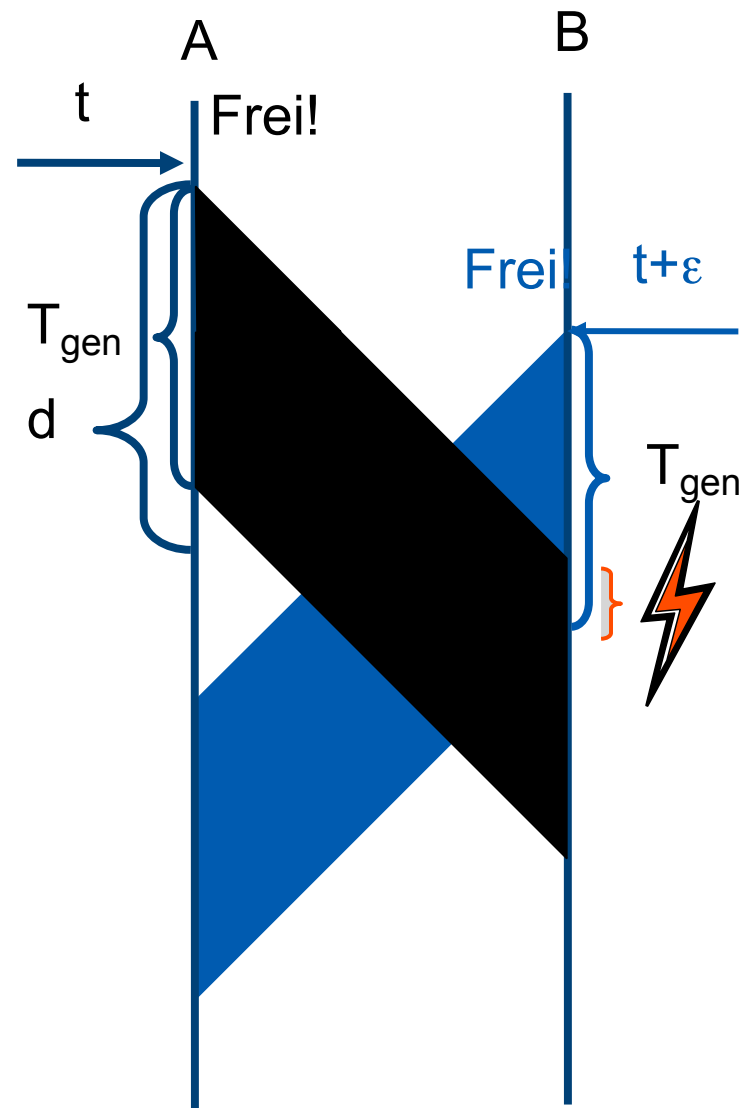
- ALOHAs Problem:
  - Lange Verwundbarkeit eines Pakets
- Reduktion durch Verwendung von Zeitscheiben (Slots)
  - Synchronisation wird vorausgesetzt
- Ergebnis:
  - Verwundbarkeit wird halbiert
  - Durchsatz wird verdoppelt
    - $S(G) = Ge^{-G}$
    - Optimal für  $G=1$ ,  $S=1/e$

# Durchsatz in Abhängigkeit der Last

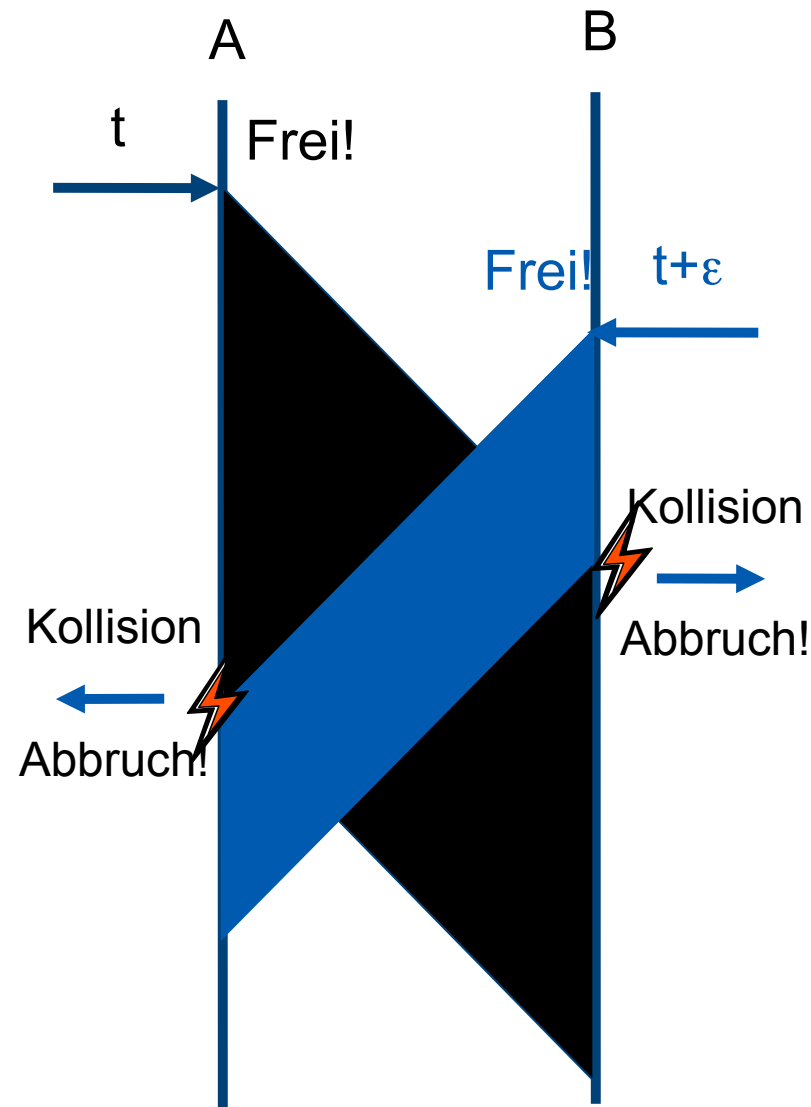
- Für (slotted) ALOHA ist eine geschlossene Darstellung in Abhängigkeit von  $G$  möglich
- Kein gutes Protokoll
  - Durchsatz bricht zusammen, wenn die Last zunimmt



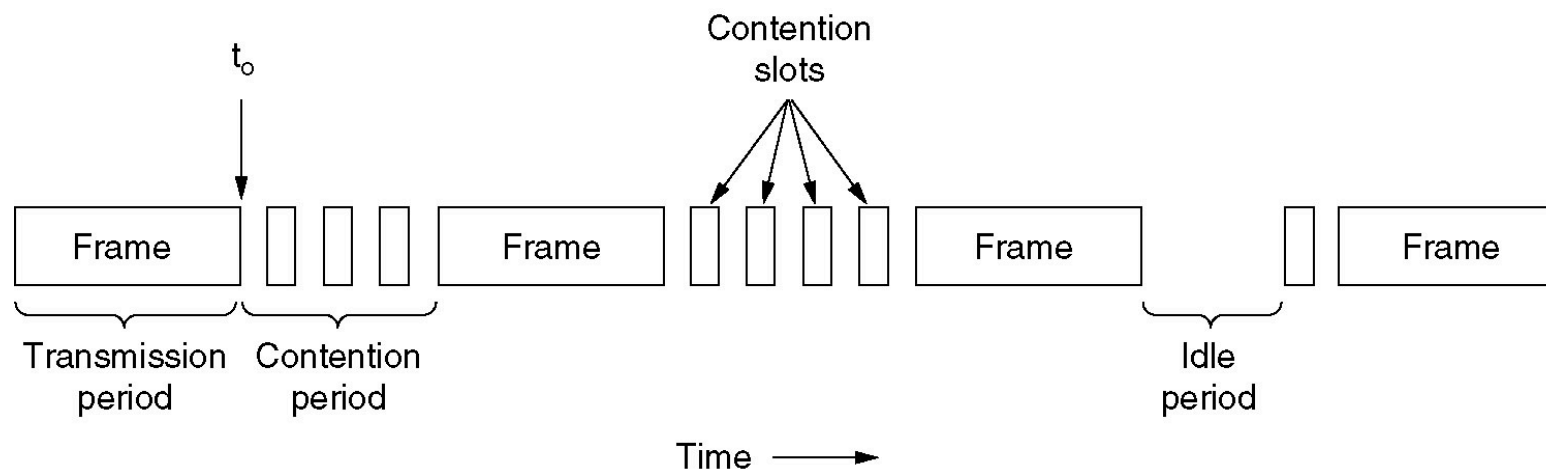
- CSMA-Problem:
  - Übertragungszeit  $d$  (propagation delay)
- Zwei Stationen
  - starten Senden zu den Zeitpunkten  $t$  und  $t+\epsilon$  mit  $\epsilon < d$
  - sehen jeweils einen freien Kanal
- Zweite Station
  - verursacht eine Kollision



- 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?



- 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

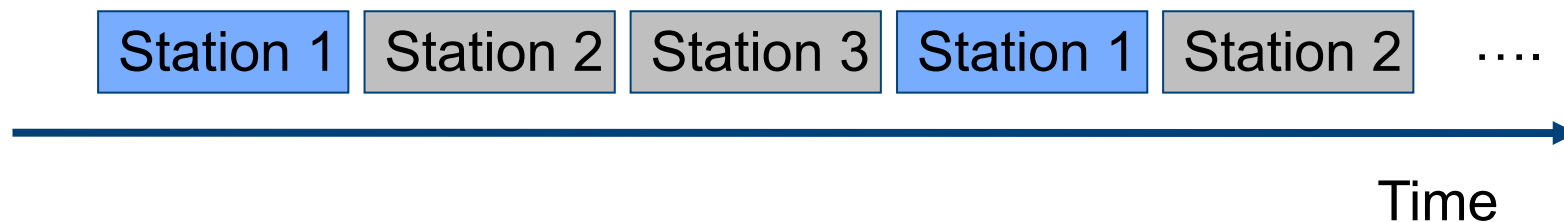


- Nach der Kollision:
- Algorithmus binary exponential backoff
  - $k:=2$
  - Solange Kollision beim letzten Senden
    - Wähle  $t$  gleichwahrscheinlich zufällig aus  $\{0, \dots, k-1\}$
    - Warte  $t$  Zeit-Slots
    - Sende Nachricht (Abbruch bei Collision Detection)
    - $k:= 2 k$
- Algorithmus
  - passt Wartezeit dynamisch an die Anzahl beteiligter Stationen an
  - sorgt für gleichmäßige Auslastung des Kanals
  - ist fair (auf lange Sicht)

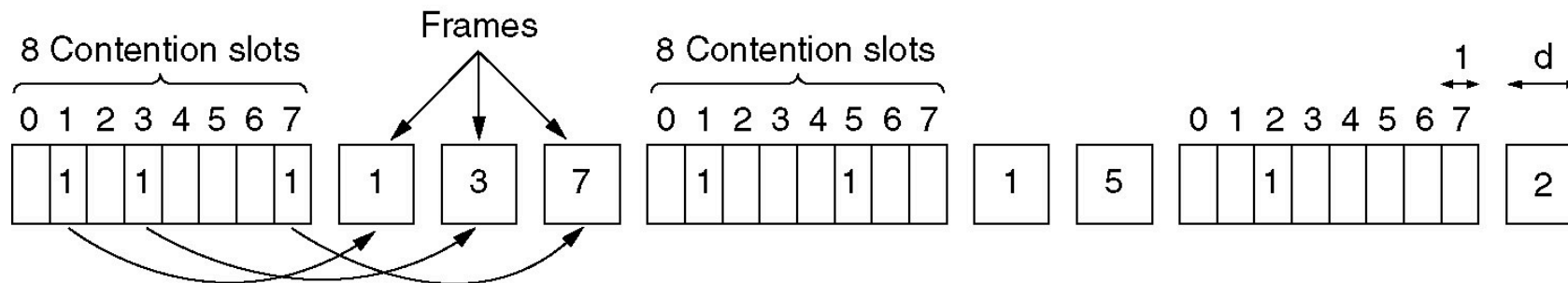
- Statisches Multiplexen
- Dynamische Kanalbelegung
  - Kollisionsbasierte Protokolle
  - Kollisionsfreie Protokolle (contention-free)
  - Protokolle mit beschränktem Wettbewerb (limited contention)
- Fallbeispiel: Ethernet



- 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?



- 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

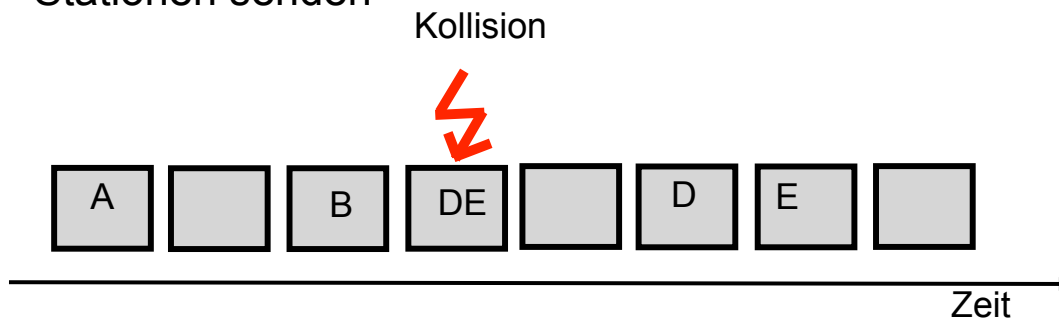
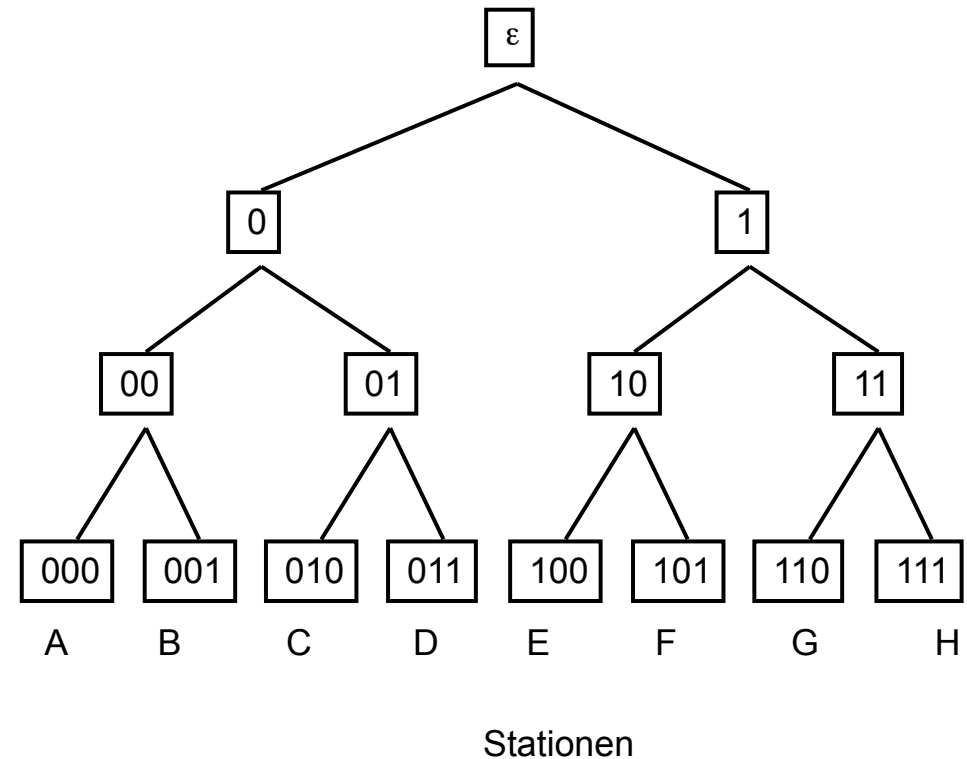


- Verhalten bei geringer Last
  - Falls keine Pakete verschickt werden, wird der (leere) Wettbewerbs-Slot wiederholt
  - Eine Station muss auf seinen Wettbewerbs-Slot warten
  - Erzeugt gewisse Verzögerung (delay)
- Verhalten bei hoher Last
  - Datenpakete dominieren die Kanalbelegung
    - Datenpakete sind länger als die Contention-Slots
  - Overhead ist vernachlässigbar
  - Guter und stabiler Durchsatz
- Bitmap ist ein Carrier-Sense Protokoll!

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

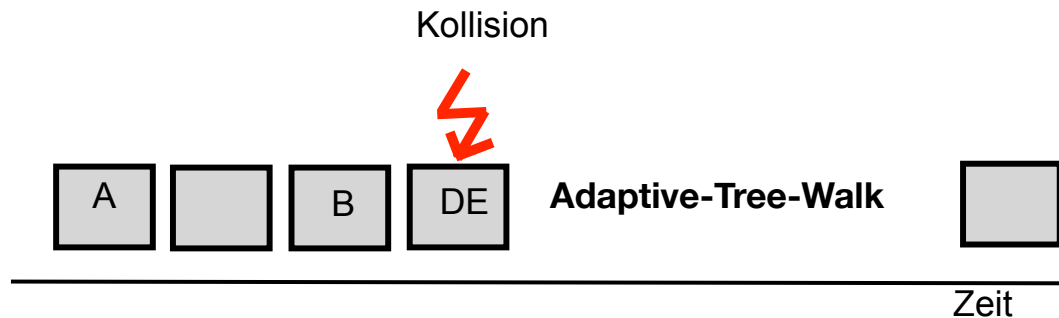
- Ziel
  - geringe Verzögerung bei kleiner Last
    - wie Kollisionsprotokolle
  - hoher Durchsatz bei großer Last
    - wie kollisionsfreie Protokolle
- Idee
  - Anpassung des Wettbewerb-Slots (contention slot) an die Anzahl der teilnehmenden Stationen
  - Mehrere Stationen müssen sich dann diese Slots teilen

- Adaptives Baumprotokoll (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

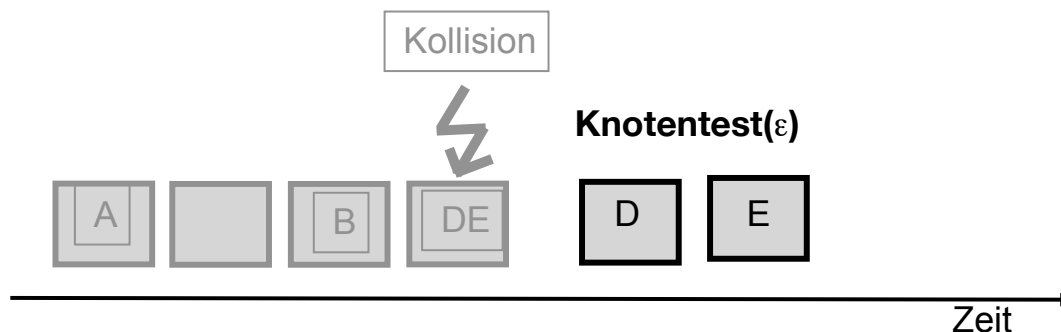
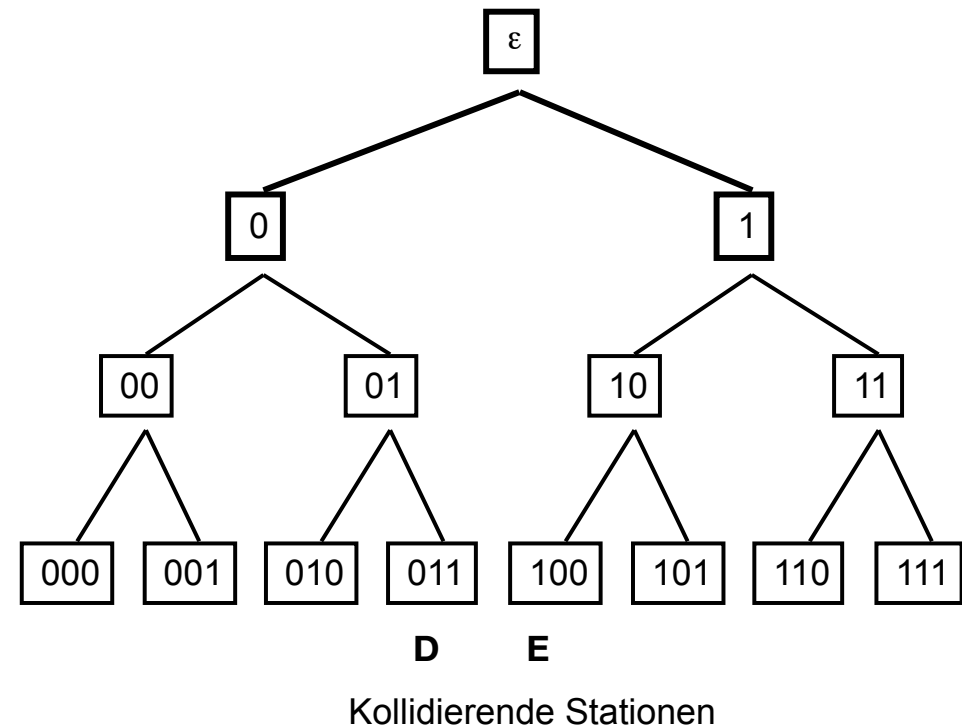


## ■ Basis-Algorithmus

- 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

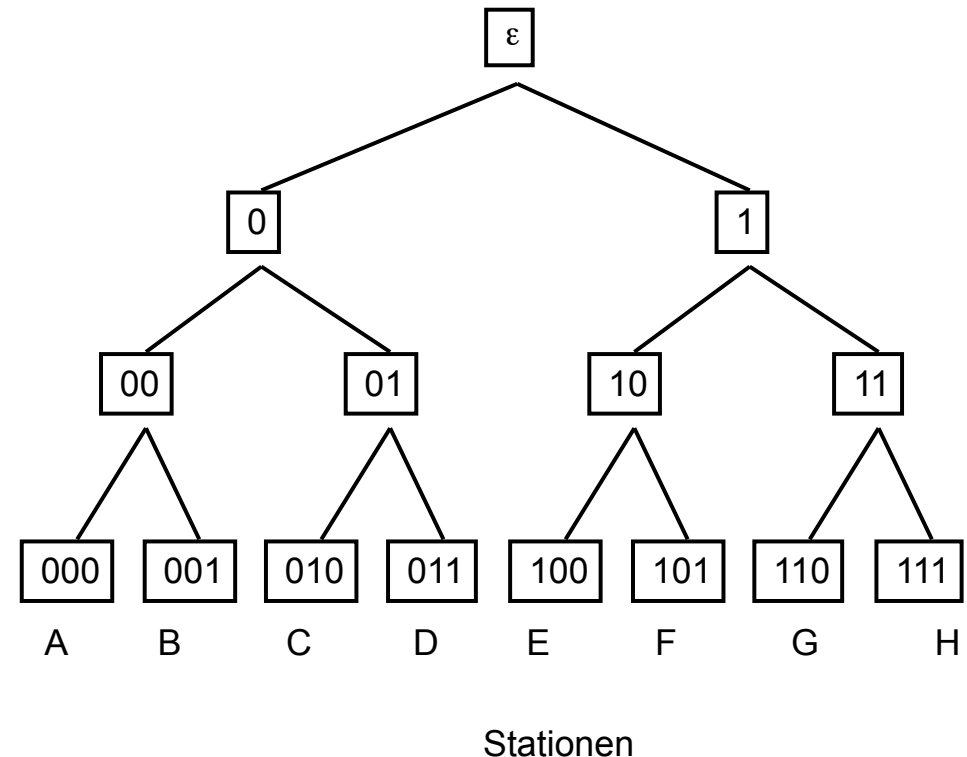


- Algorithmus Knoten-Test
  - für Knoten  $u$  des Baums und
  - kollidierende Menge  $S$  von Station
- Knoten-Test( $u$ )
  - Betrachte zwei Slots pro Knoten des Baums
  - Im ersten Slot senden alle Knoten aus  $S$ , die mit ID  $u0$  anfangen
  - Im zweiten Slot senden alle Knoten aus  $S$ , die mit ID  $u1$  anfangen



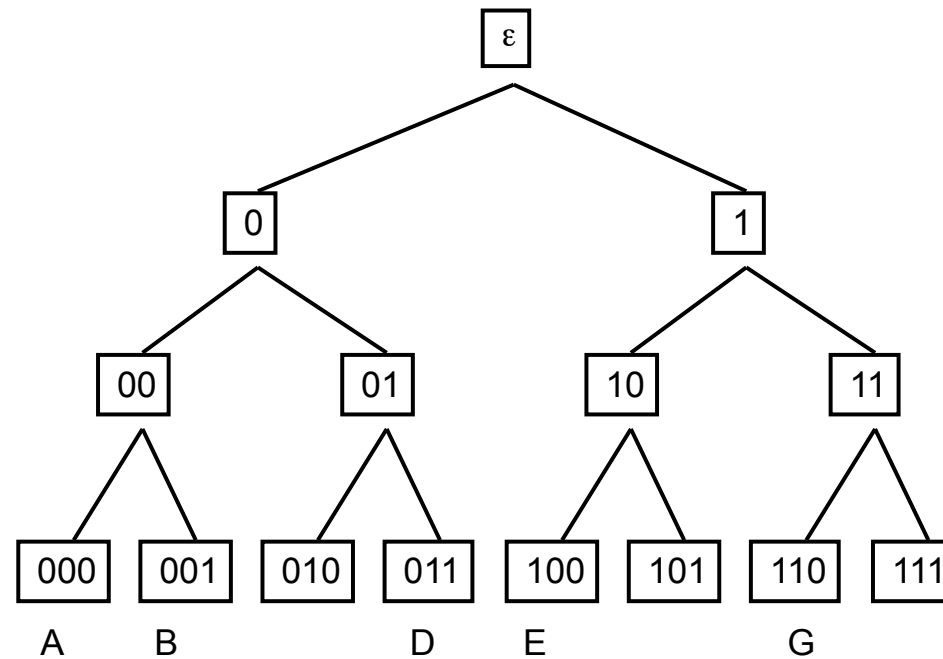


- Algorithmus Knoten-Test
  - für Knoten  $u$  des Baums und
  - kollidierende Menge  $S$  von Station
- Knoten-Test( $u$ )
  - Betrachte zwei Slots pro Knoten des Baums
  - Im ersten Slot senden alle Knoten aus  $S$ , die mit ID  $u0$  anfangen
  - Im zweiten Slot senden alle Knoten aus  $S$ , die mit 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

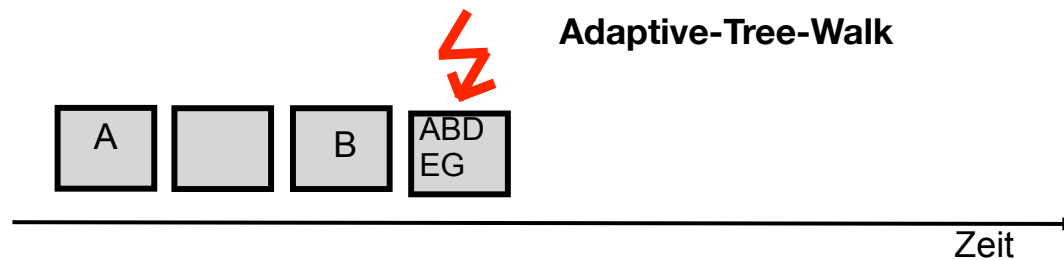
## Beispiel (1)



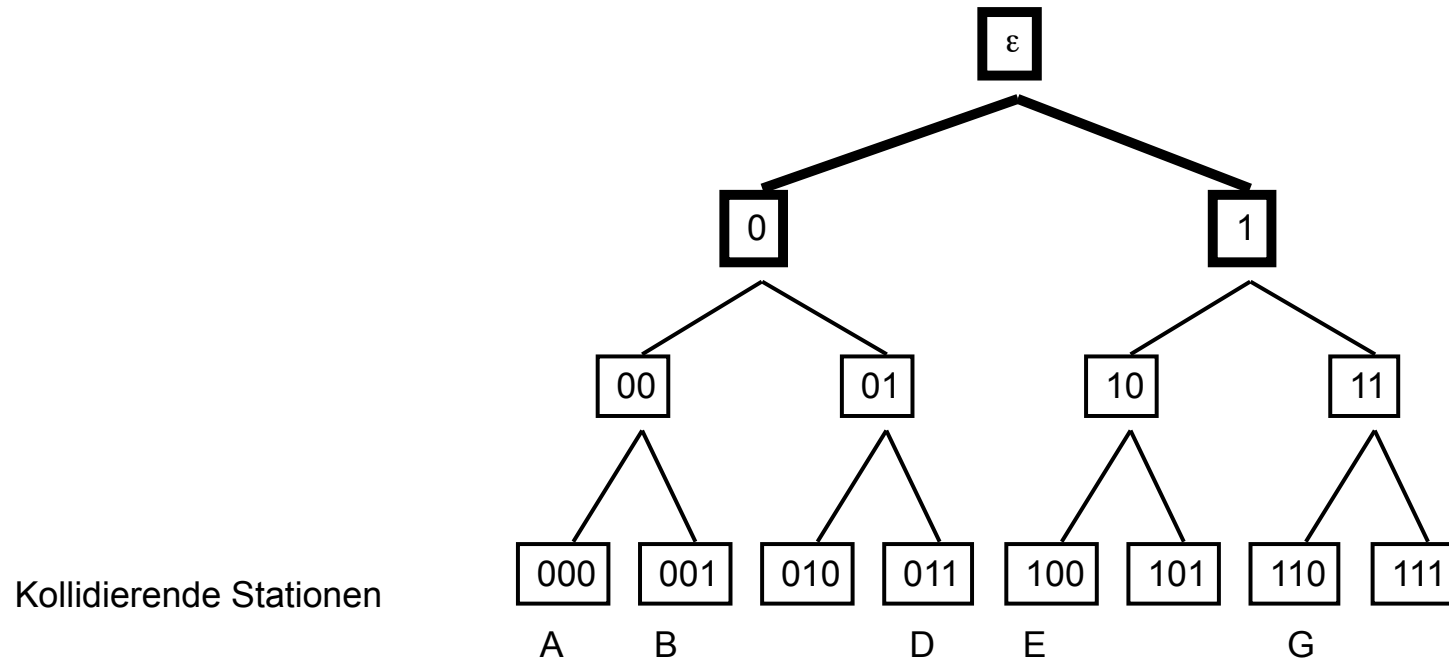
Kollidierende Stationen

Kollision

Adaptive-Tree-Walk

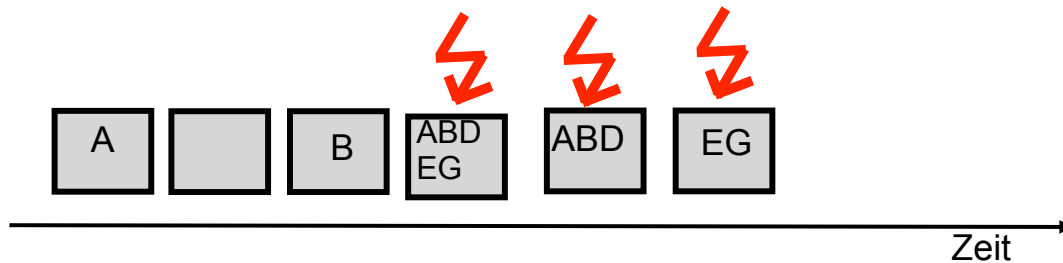


# Adaptives Baumprotokoll Beispiel (2)



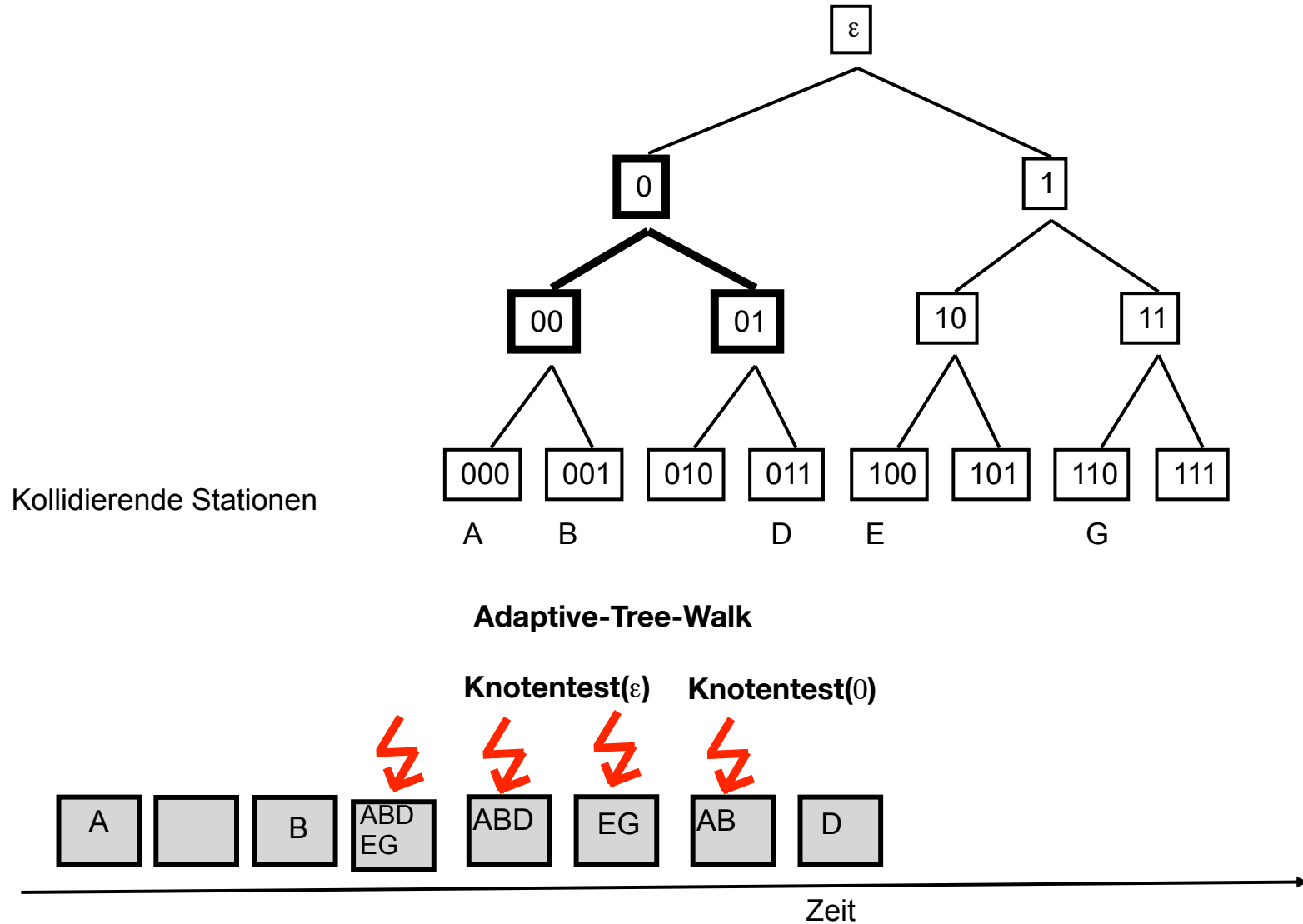
## Adaptive-Tree-Walk

### Knotentest( $\epsilon$ )



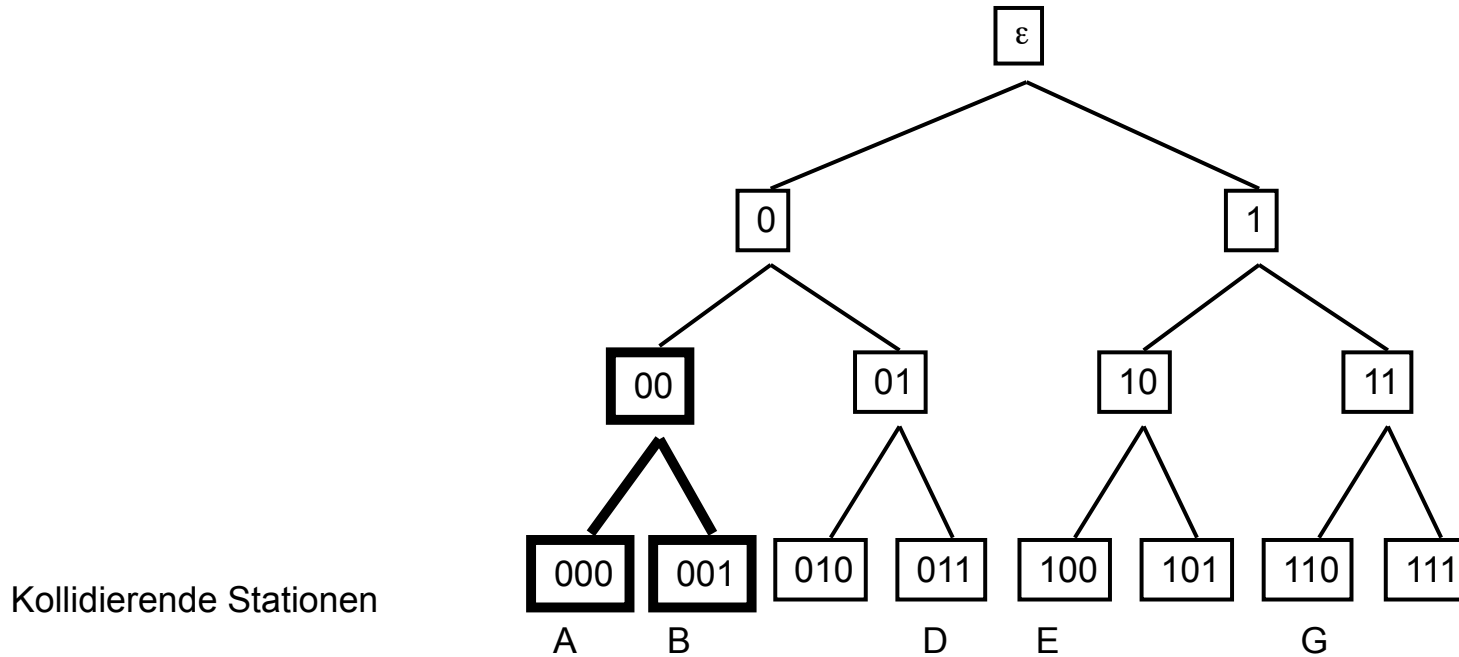
# Adaptives Baumprotokoll

## Beispiel (3)



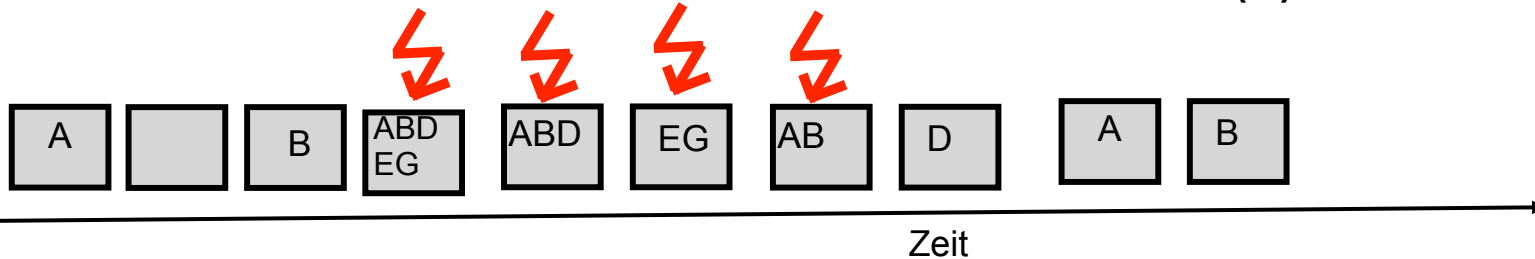
# Adaptives Baumprotokoll

## Beispiel (4)



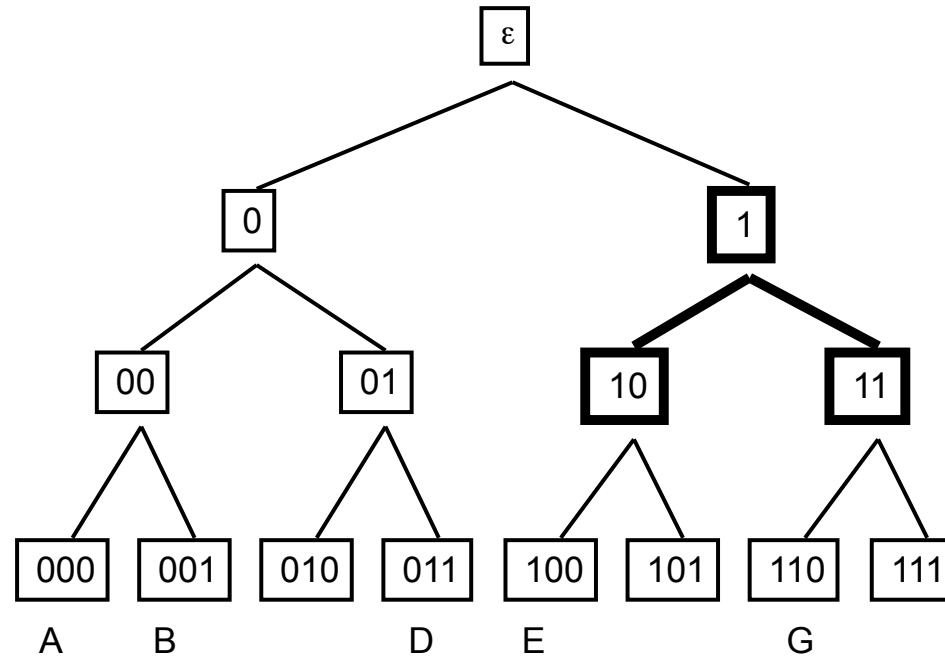
### Adaptive-Tree-Walk

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



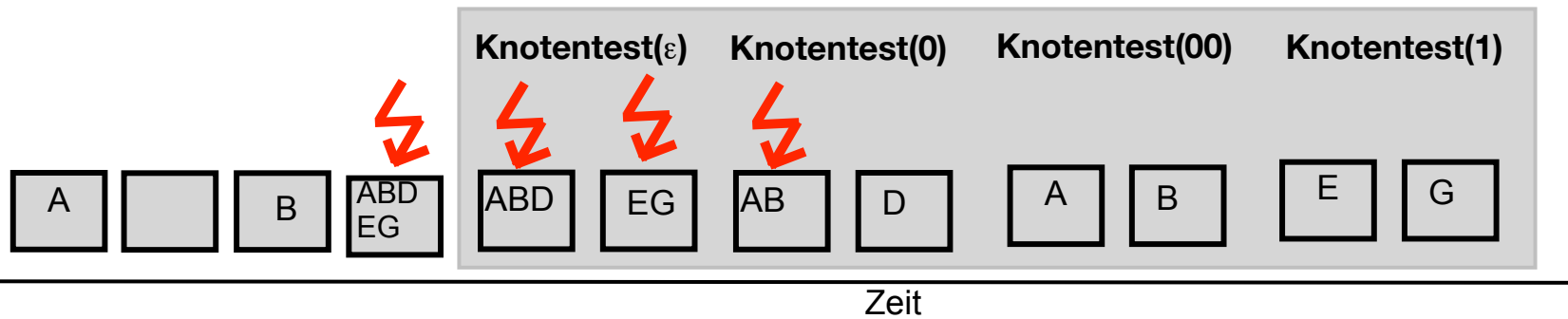
# Adaptives Baumprotokoll

## Beispiel (5)

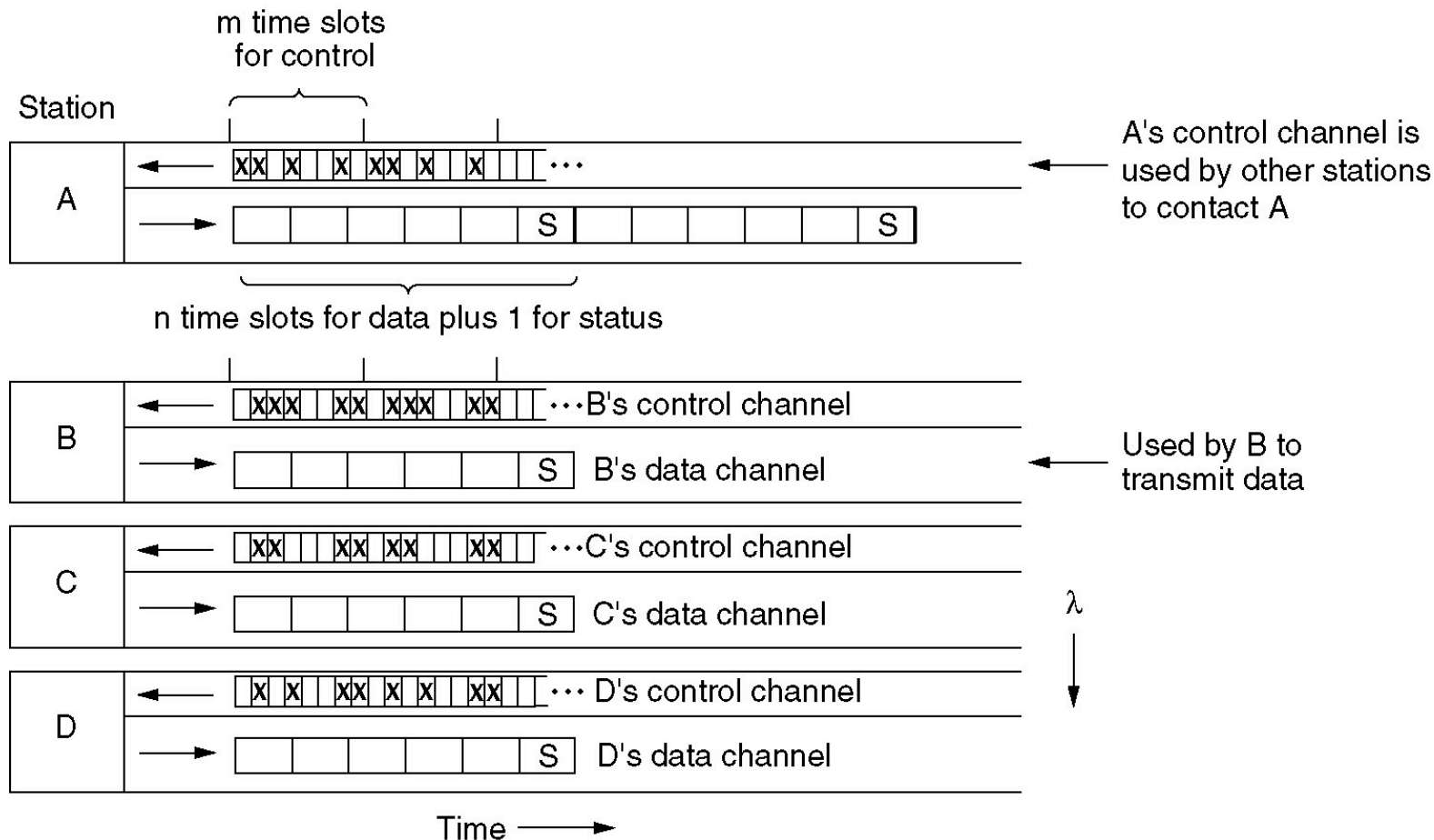


Kollidierende Stationen

### Adaptive-Tree-Walk



- Wavelength division multiple access.





# Systeme II

6. Woche Mediumzugriff in der Sicherungsschicht

Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg