

# Systeme II

## 7. Die Datensicherungsschicht (Teil 4)

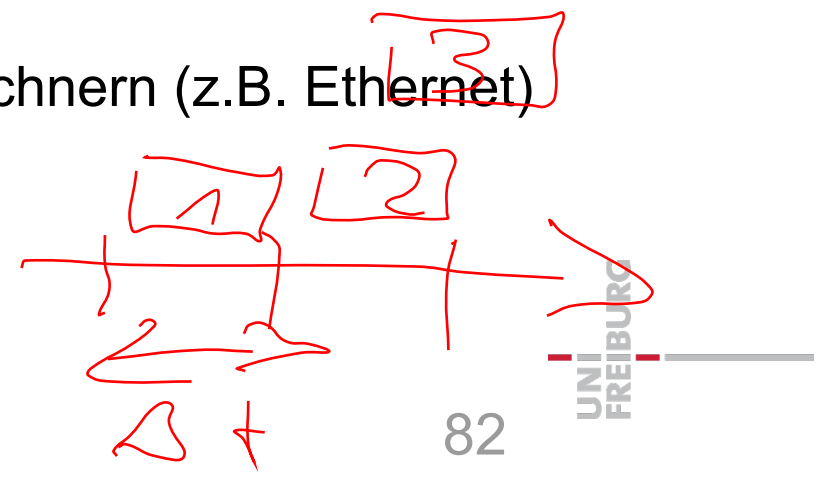
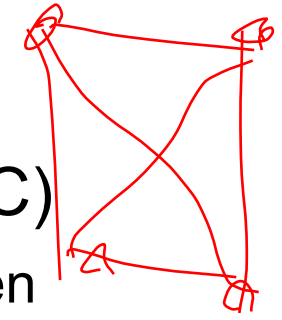
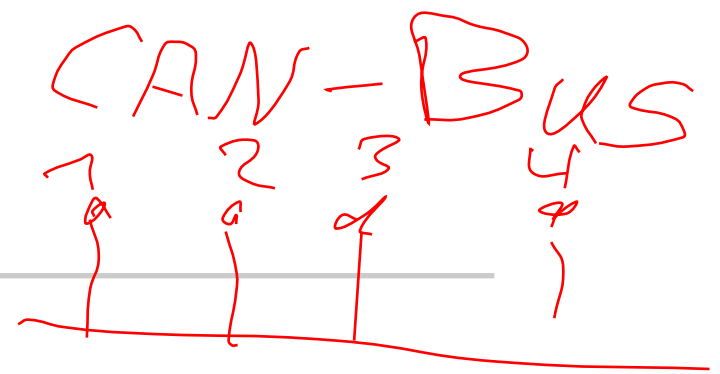
Thomas Janson<sup>°</sup>, Kristof Van Laerhoven\*, Christian  
Ortolf<sup>°</sup>

Folien: Christian Schindelbauer<sup>°</sup>

Technische Fakultät

<sup>°</sup>: Rechnernetze und Telematik, \*: Eingebettete Systeme

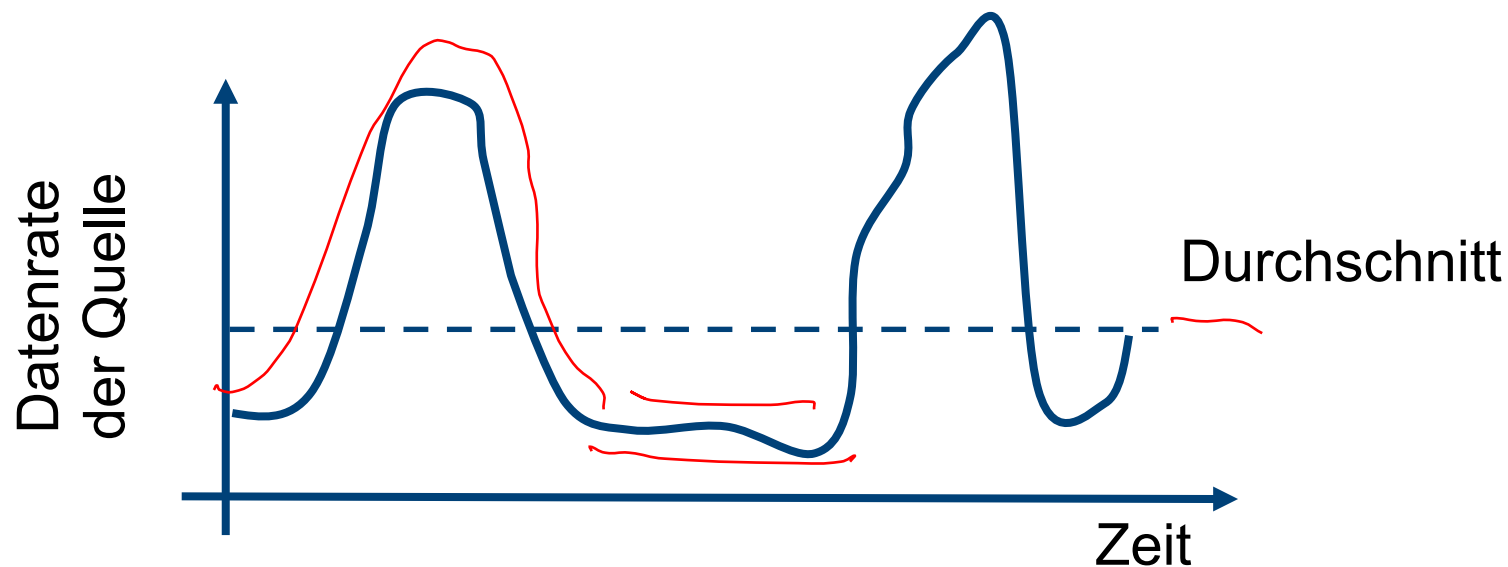
- mehrere Sender verwenden das gleiche Übertragungsmedium
  - Kabel, Freiraum (free space)
- Ziel eines Protokolls für Medienzugriffssteuerung (MAC)
  - gleichzeitige Übertragungen sollen sich nicht gegenseitig stören und Fehler verursachen
- Die Bitübertragung kann erst stattfinden, wenn das Medium reserviert wurde
  - Funkfrequenz bei drahtloser Verbindung (z.B. W-LAN 802.11, GSM, GPRSM)
  - Zeitraum bei einem Kabel mit mehreren Rechnern (z.B. Ethernet)
- Aufgabe der Sicherungsschicht
  - Koordination zu komplex für die "einfache" Bitübertragungsschicht



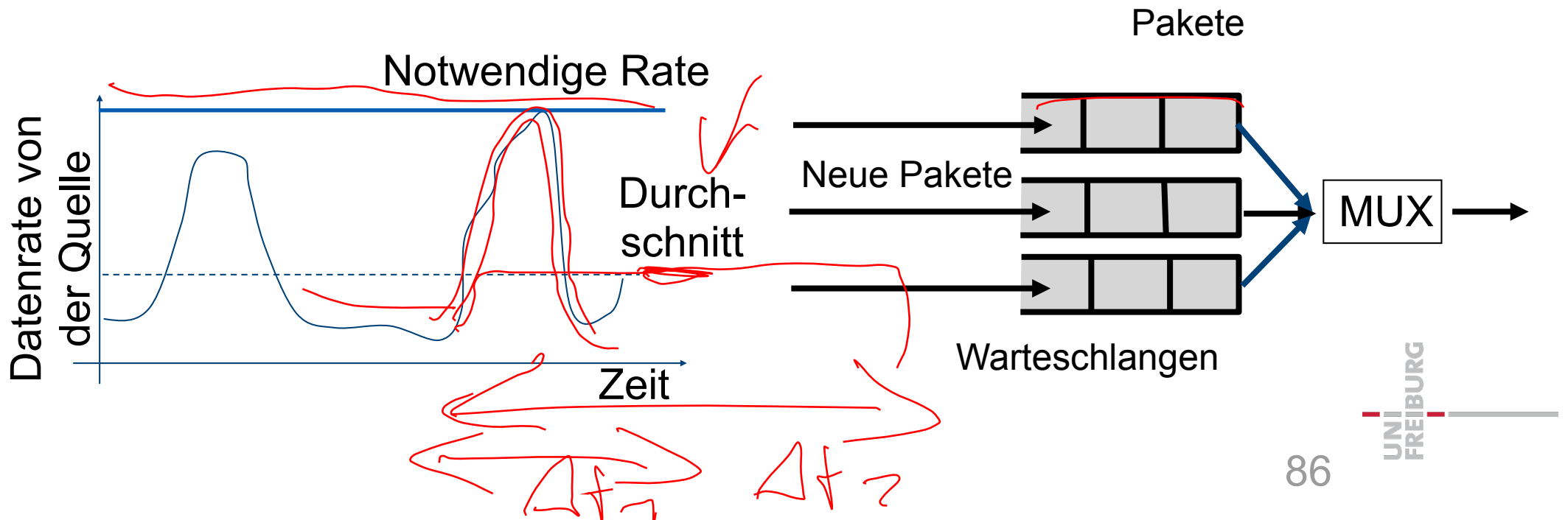
- Statisches Multiplexen
- Dynamische Kanalbelegung
  - Kollisionsbasierte Protokolle
  - Kollisionsfreie Protokolle (contention-free)
  - Protokolle mit beschränktem Wettbewerb (limited contention)



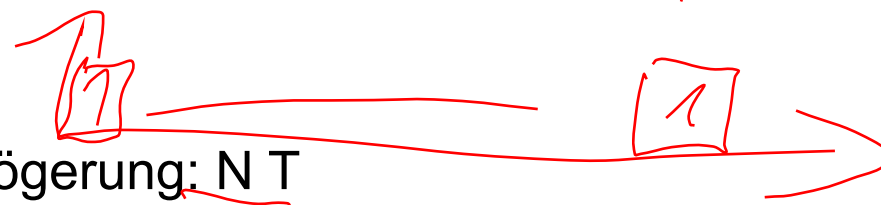
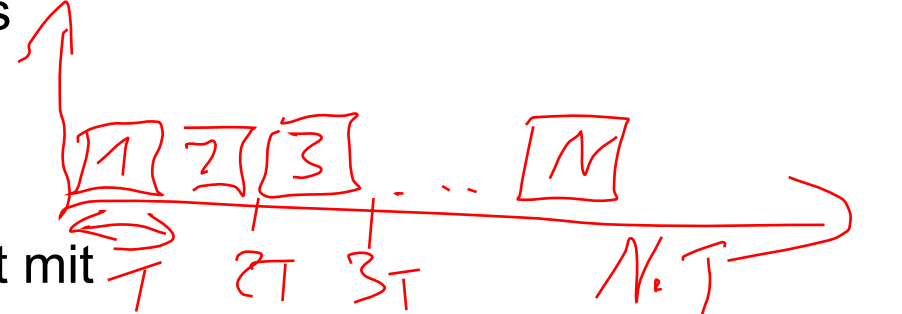
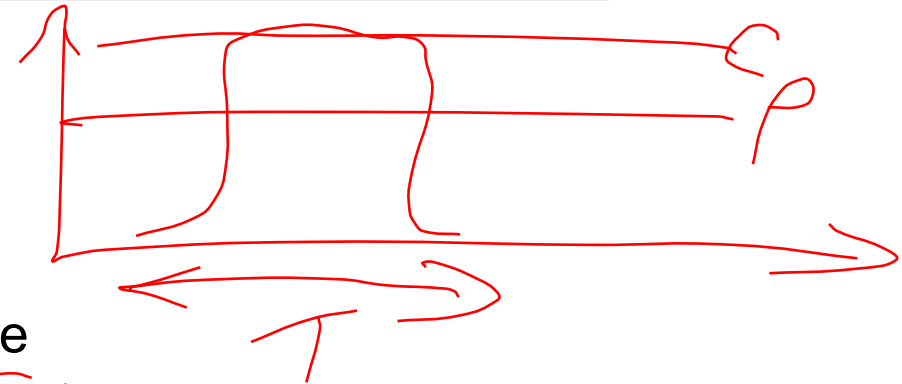
- Problem: Verkehrsspitzen (bursty traffic)
  - Definition: Großer Unterschied zwischen Spitze und Durchschnitt
  - In Rechnernetzwerken: Spitze/Durchschnitt = 1000/1 nicht ungewöhnlich



- 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



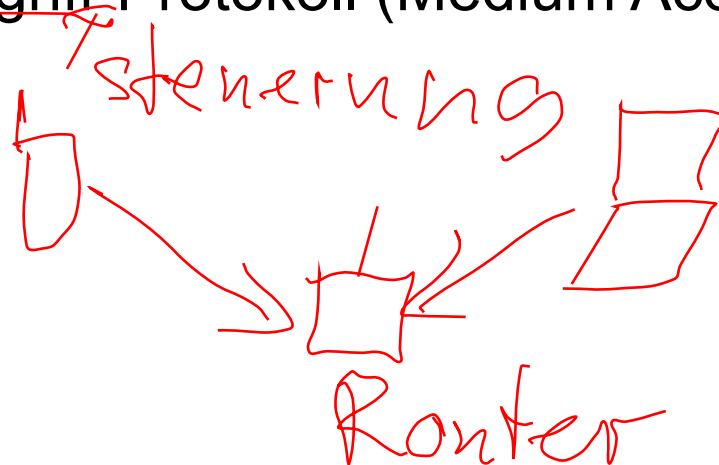
- Vergleich der Verzögerung
- Ausgangsfall:
  - Kein Multiplexing
  - Einfacher Datenquelle mit Durchschnittsrate  $\rho$  (bits/s) und der Leitungskapazität  $C$  bits/s
  - Sei  $T$  die Verzögerung
- Multiplex-Fall
  - Die Datenquelle wird in  $N$  Quellen unterteilt mit derselben Datenrate
  - Statischer Multiplex über dieselbe 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



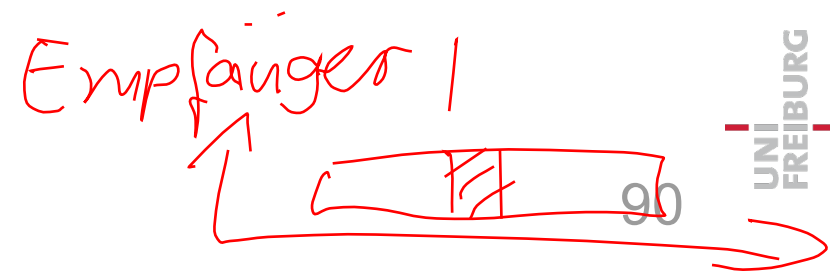
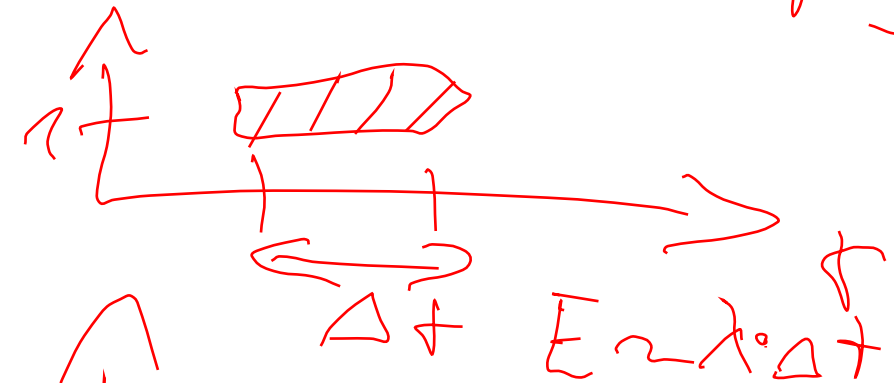
- Statisches Multiplexen
- Dynamische Kanalbelegung
  - Kollisionsbasierte Protokolle
  - Kollisionsfreie Protokolle (contention-free)
  - Protokolle mit beschränktem Wettbewerb (limited contention)



- 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



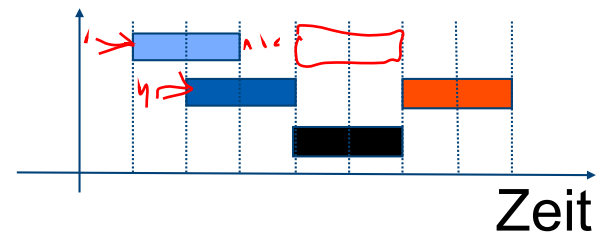
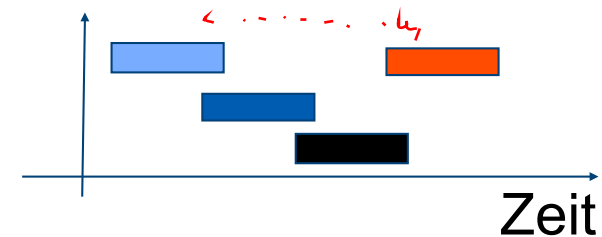
## ■ Zeitmodelle

### - Kontinuierlich

- Übertragungen können jeder Zeit beginnen (keine zentrale Uhr)

### - Diskret (Slotted time)

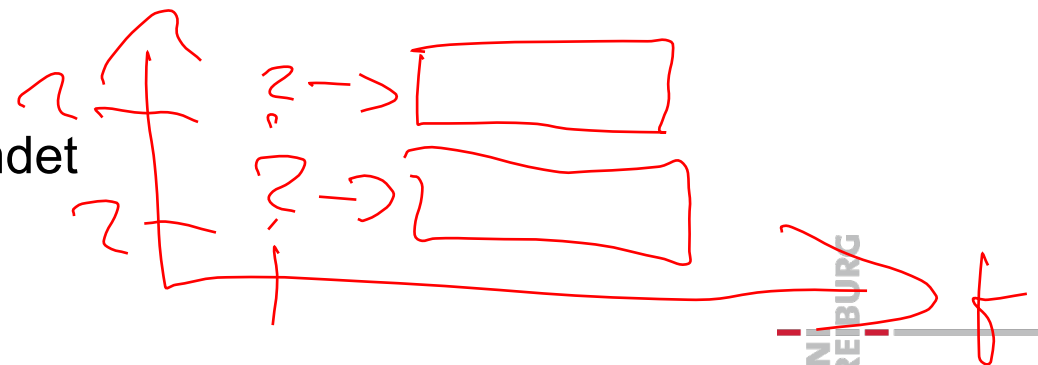
- Die Zeitachse ist in Abschnitte (slots) unterteilt
- Übertragungen können nur an Abschnittsgrenzen starten
- Slots können leer (idle), erfolgreich (mit Übertragung) sein oder eine Kollision beinhalten



## ■ Träger-Messung (Carrier Sensing)

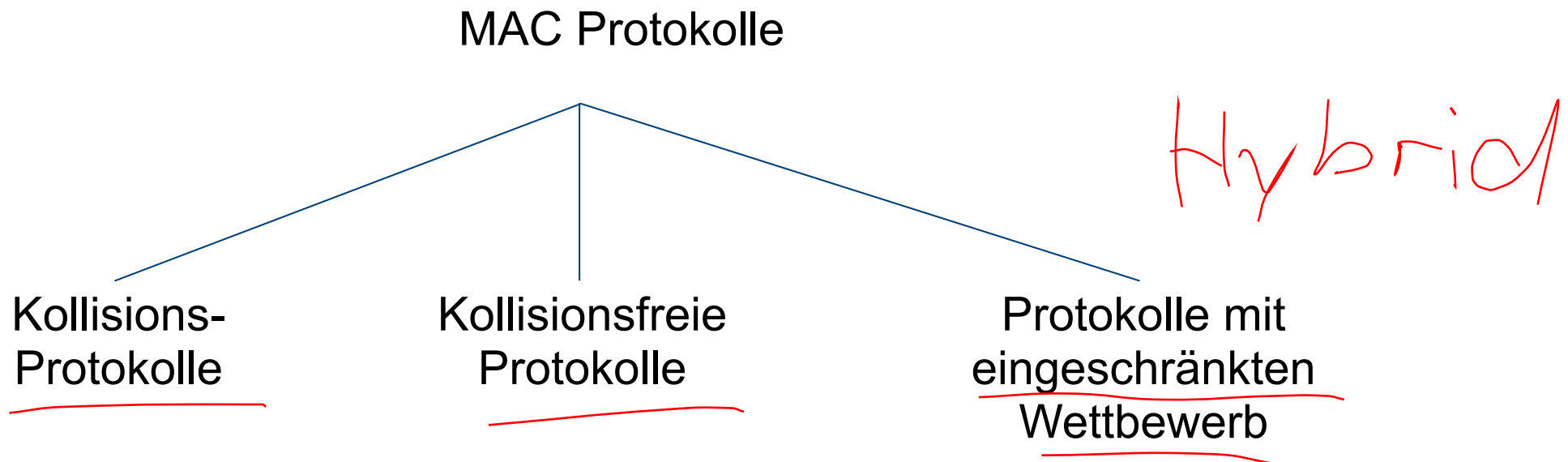
- Stationen können erkennen ob der Kanal momentan von anderen Stationen verwendet wird

- Nicht notwendigerweise zuverlässig



- Kriterien:
  - 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 Systemscheidung
  - Die unbedingte Kollisionsvermeidung kann zu Effizienzeinbußen führen



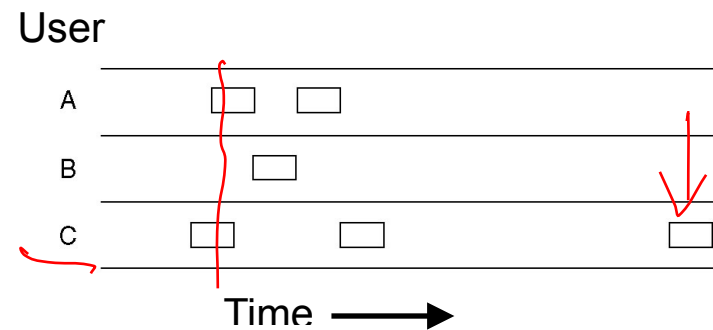
System mit Kollisionen: **Contention System**

- Ursprung
  - 1985 by Abramson et al.,  
University of Hawaii



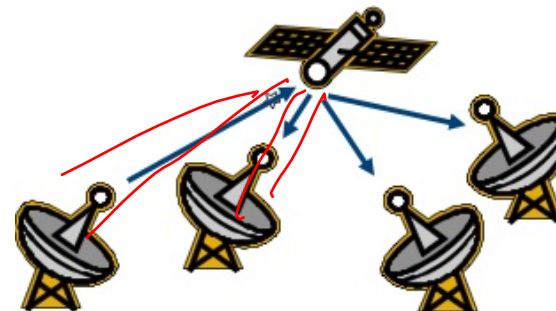
[aus Doku „Networking the Nerds“]

- Algorithmus
  - Sobald ein Paket  
vorhanden ist, wird es  
gesendet



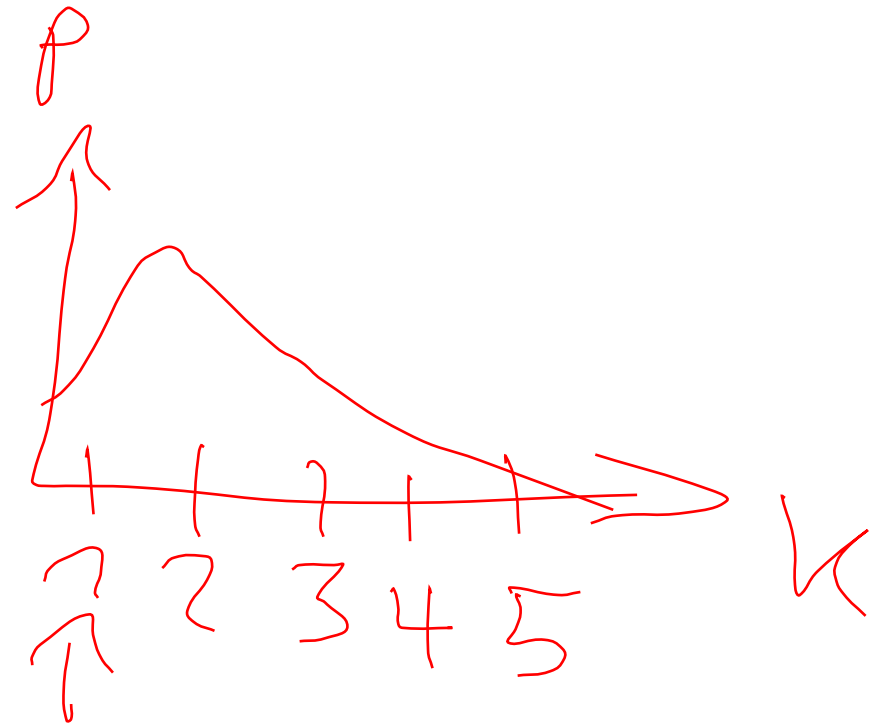
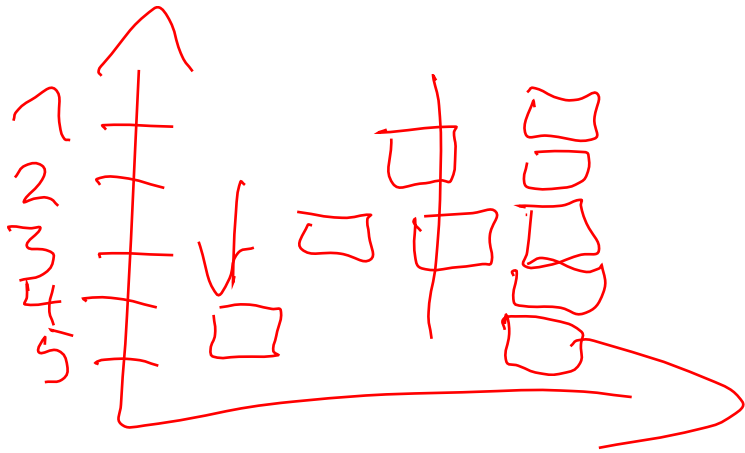
Pakete werden zu  
beliebigen Zeiten  
übertragen

- Ziel
  - Verwendung in Satelliten-  
Verbindung



- 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  $n$  Sender, die mit Wahrscheinlichkeit  $p$  ein Paket senden
  - Alle Pakete haben gleiche Länge



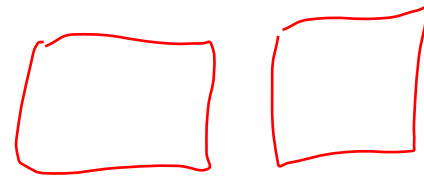
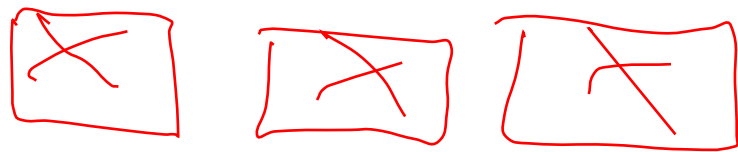


# ALOHA – Effizienz (2)

- betrachte  $n$  Sender, die mit Wahrscheinlichkeit  $p$  ein Paket senden
  - Alle Pakete haben gleiche Länge
- Wahrscheinlichkeit, dass  $k$  Pakete gleichzeitig gesendet werden entspricht Binomialverteilung

$$B(k|p, n) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$$

$$E = n \cdot p = 5 \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{2}$$



$n=5$   
 $k=3$   
 $p=\frac{1}{10}$

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)! \cdot k!}$$

$$\frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10}$$

$$\frac{9}{10} \cdot \left(\frac{9-1}{10}\right)$$

$$p^k = \left(\frac{1}{10}\right)^3$$

$$\left(\frac{9}{10}\right)^{n-k}$$

- Betrachte Poisson-Prozess zur Erzeugung von Paketen
  - entsteht durch “unendlich” viele Stationen ( $n=\infty$ )
  - Zeit zwischen zwei Sende-Versuchen ist exponentiell verteilt
  - sei G der Erwartungswert der Übertragungsversuche pro Paketlänge
  - die Wahrscheinlichkeit für die Kollision von  $k$  Paketen ist dann

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

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

# ALOHA – Effizienz (4)

$$B(k|n, p) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$$

$$G = n \cdot p \Rightarrow p = \frac{G}{n}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} B(k|n, p) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n!}{(n-k)! \cdot k!} \cdot \left(\frac{G}{n}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{n-k}$$

$$= \frac{G^k}{k!} \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-k+1)}{n \cdot n \cdot n \cdot \dots \cdot n} \cdot \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{n-k}$$

$\rightarrow 1 \rightarrow \quad \rightarrow 1 \quad \rightarrow 1$

$$= \frac{G^k}{k!} \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{G}{n}\right)^n \cdot \left(1 - \frac{G}{n}\right)^{-k}$$

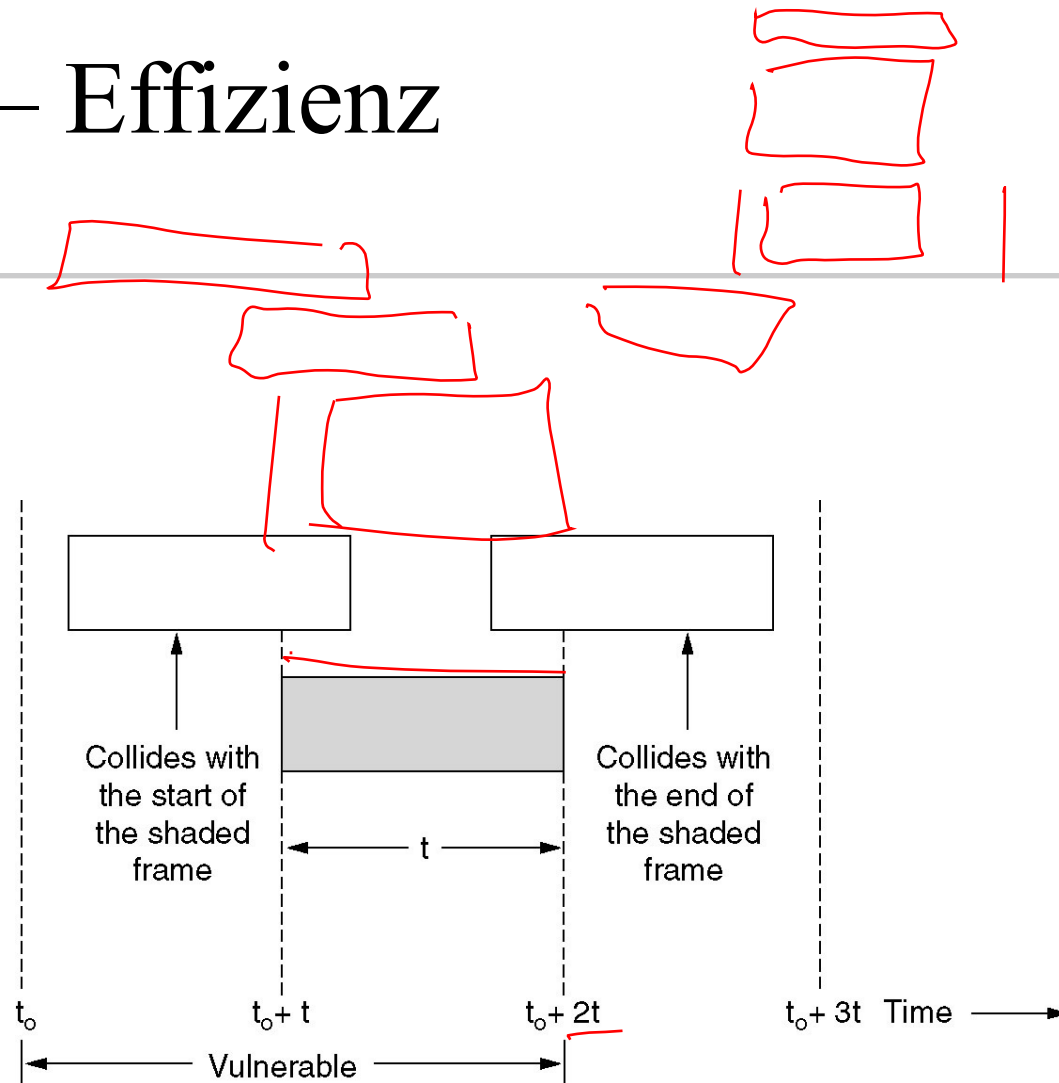
$$= \frac{G^k}{k!} \cdot e^{-G} \cdot \underbrace{\left(1 - \frac{G}{n}\right)^{-k}}_{\rightarrow 1}$$

Euler

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

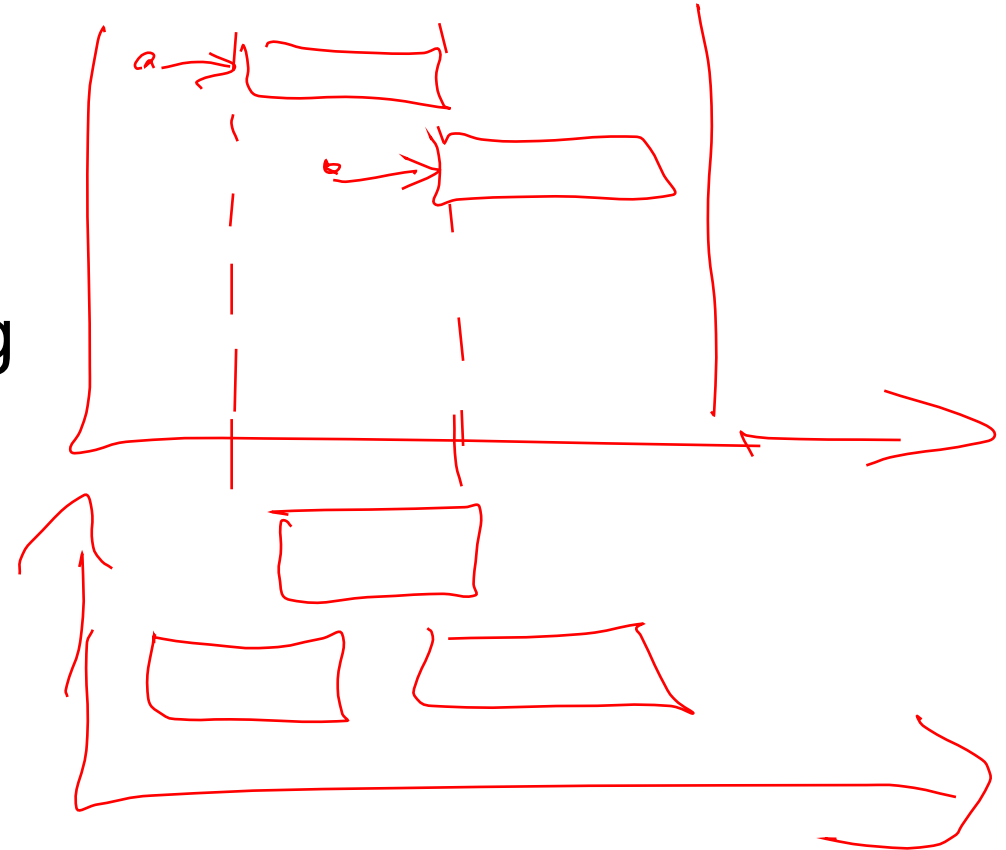
$$m = \frac{n}{G}$$

- 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
- Durchsatz:
  - $S(G) = Ge^{-2G}$
  - Optimal für  $G=1/2$ ,  $S=1/e$



slotted

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



# Systeme II

## 7. Die Datensicherungsschicht (Teil 4)

Thomas Janson<sup>°</sup>, Kristof Van Laerhoven\*, Christian  
Ortolf<sup>°</sup>

Folien: Christian Schindelbauer<sup>°</sup>

Technische Fakultät

<sup>°</sup>: Rechnernetze und Telematik, \*: Eingebettete Systeme