

# Medien-Zugriffe



<https://iuk.one/1012-1023>

Clemens H. Cap

ORCID: 0000-0003-3958-6136

Department of Computer Science  
University of Rostock  
Rostock, Germany  
[clemens.cap@uni-rostock.de](mailto:clemens.cap@uni-rostock.de)

Version 2



## Situation:

- Alice, Bob und Carol sind in einem Raum.
- Wenn Alice und Bob gleichzeitig sprechen, dann versteht Carol nichts.

## Frage: Was können wir tun, wenn

- mehrere Kommunikationspartner das selbe Medium nutzen,
- viele gleichzeitig senden
- und sich dadurch gegenseitig stören?

## 1. Aloha-Protokolle

**Ziele:** Wir untersuchen einfache Protokolle, bei denen eine analytische Untersuchung leicht fällt und die hauptsächlich didaktische Bedeutung haben.

## 1. Aloha-Protokolle

## 2. Carrier-Sense Protokolle

## 3. Kollisionsfreie Protokolle

1970 für Funknetze an der Universität Hawaii entwickelt.

**Grundproblematik:** Gemeinsamer Übertragungskanal (Luftschnittstelle).  
Wegen begrenzter Funkreichweite können nicht alle Stationen die Aussendungen aller anderen Stationen wahrnehmen.

**Abhör-Strategie:** Bevor eine Station sendet, hört sie, ob andere senden.

**Problem:** Wegen Signalverzögerung können immer noch mehrere gleichzeitig anfangen zu senden und damit eine Kollision verursachen (sich gegenseitig stören).

**Idee:** Kollisionen zulassen und Strategie entwickeln, mit ihnen umzugehen.

## Ableitung Durchsatz im Pure Aloha Verfahren (1)

### Verfahren:

- Jede Station beginnt zufällig zu senden.
- Alle Sende-Beginne sind zufällig und voneinander unabhängig verteilt.
- Im Mittel sieht "die Luft"  $\lambda$  Sende-Beginne pro Zeiteinheit.

**Also:** Die Sende-Beginne folgen einer Poisson / Exponential-Verteilung.

### Annahmen zur Vereinfachung:

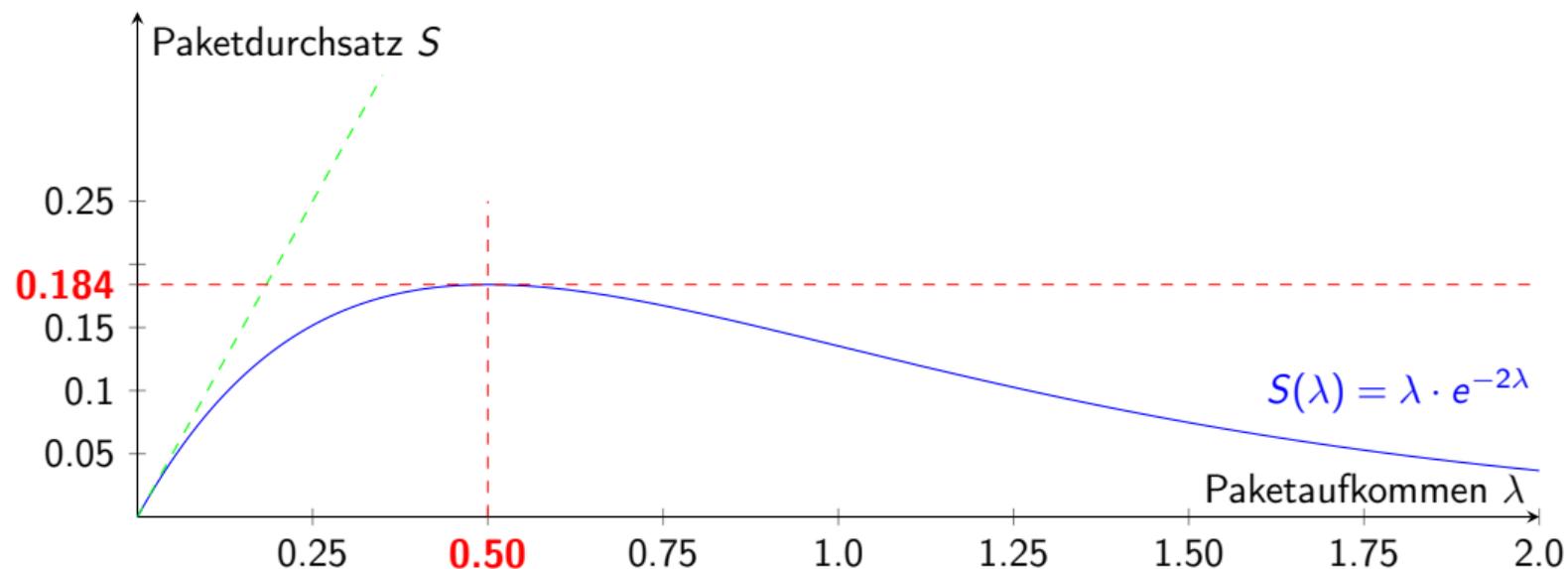
- Wähle feste Paket-Länge für alle Stationen.
- Wähle Zeiteinheit so, daß ein Paket 1 Zeiteinheit lang ist.
- Kollisions-Wahrscheinlichkeit hängt nur von  $\lambda$  ab.

## Ableitung Durchsatz im Pure Aloha Verfahren (2)

- Eine Station sendet ein Paket der Dauer 1 zum Zeitpunkt  $t$ .
- **Wie wahrscheinlich** ist es, daß das Paket durchkommt?
- Unter **welcher Bedingung** kommt das Paket durch?
- Dann, wenn im Zeitraum  $t - 1$  bis  $t + 1$  kein anderer Sende-Beginn stattfand.
- **Wie wahrscheinlich** ist nun das?
- Das beantwortet uns die Poisson-Verteilung!
- **Einwand:** Es ist aber keine beliebige Poisson-Situation mehr, sondern eine solche, bei der wir wissen, daß zum Zeitpunkt  $t$  bereits ein Paket gesendet wurde.
- **Entgegnung:** Das spielt aber keine Rolle, weil die Poisson-Verteilung unabhängige Ereignisse voraussetzt!
- Betrachte also ein Intervall der Länge  $(t + 1) - (t - 1) = 2$ .
- Poisson ergibt die **Wahrscheinlichkeit**  $P_{\lambda;2}(0) = e^{-2\lambda}$ .
- Multiplikation mit **Paket-Rate**  $\lambda$  ergibt die Durchsatz-Rate  $S(\lambda)$  an Paketen pro Zeiteinheit zu:  $S(\lambda) = \lambda \cdot e^{-2\lambda}$

# 1. Aloha-Protokolle

## Durchsatz bei Pure Aloha



**Abb. 1:** Durchsatz beim Pure Aloha Verfahren. Die grüne Linie wäre der theoretisch maximal mögliche Durchsatz, der sich ergäbe, wenn jedes ausgesendete Paket durchkäme. Der tatsächliche Durchsatz bleibt weit dahinter zurück.

# 1. Aloha-Protokolle

## Interpretation

### Maximaler Durchsatz:

$S'(\lambda) = e^{-2\lambda} - 2\lambda \cdot e^{-2\lambda} = 0$  liefert  $\lambda_{\max} = 0.5$  und  $S(\lambda_{\max}) \sim 0.184$ .

Maximaler Durchsatz tritt bei halber Kanalauslastung auf und ist 18.4% des theoretisch möglichen Maximums.

### Verluste:

Differenz zwischen 0.5 Paketaufkommen und 0.184 Durchsatz ist die Verlustrate. Mit rund 31% ist das fast das Doppelte des Paktedurchsatzes.

### Saturierung:

Weitere Erhöhung des Paketaufkommens verringert den Durchsatz wieder.

## Slotted Aloha

**Problem:** Pure Aloha erlaubt beliebige Teil-Überlappungen der Pakete.

**Idee:** Fixe Zeiten (*slots*) für die Paket-Beginne vorschreiben.  
Hier: Ganzzahlige Zeiten.  
Alle Stationen mit demselben Takt betreiben.

**Vorstellen:** Wenn Station Sende-Beginn wünscht, so wird dieser verzögert bis zur nächsten vollen Sekunde.

**Änderung:** Kollisionsermittlung in  $[t - 1, t]$  statt in  $[t - 1, t + 1]$ .

... ergibt dann ...

**Durchsatz:**  $S_{\text{slotted}} = \lambda \cdot e^{-\lambda}$ .

# 1. Aloha-Protokolle

## Durchsatz bei Pure und Slotted Aloha

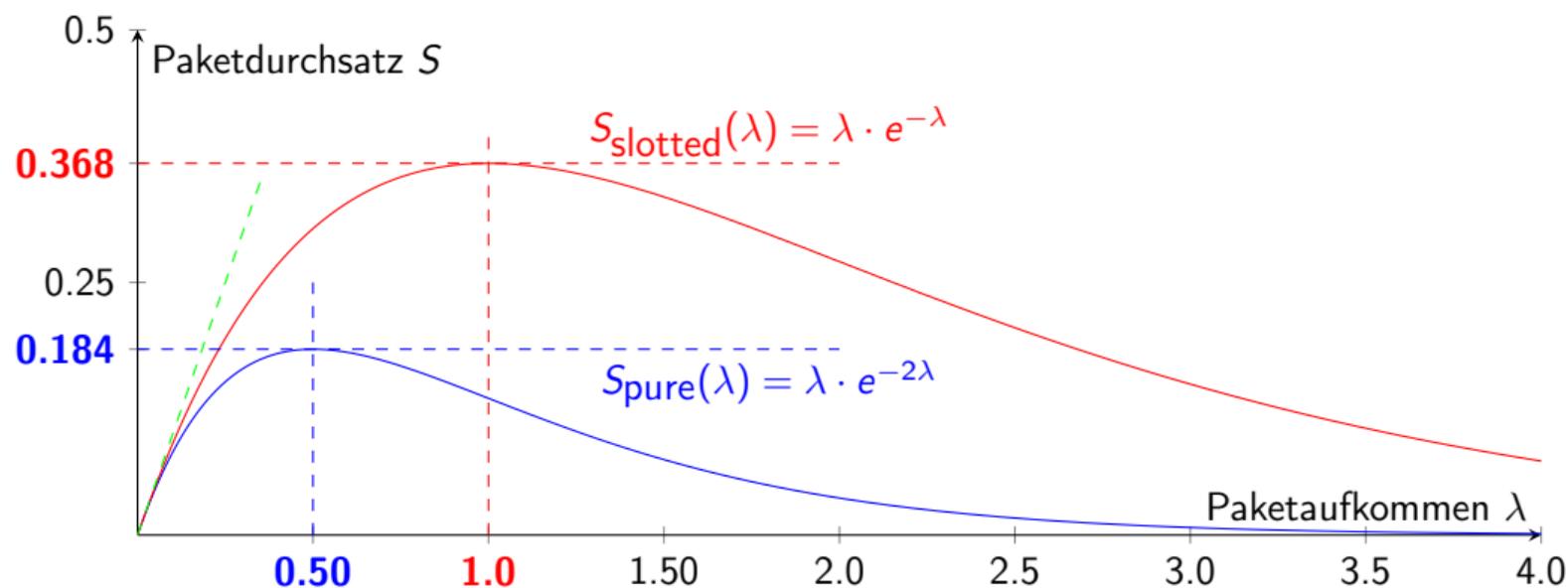


Abb. 2: Durchsatz von Pure Aloha und Slotted Aloha im Vergleich.

## 2. Carrier-Sense Protokolle

**Ziele:** Carrier-Sense Protokolle sind die heute weithin eingesetzten Protokolle zum Medien-Zugriff.

1. Aloha-Protokolle
2. Carrier-Sense Protokolle
3. Kollisionsfreie Protokolle

**CSMA: Carrier Sense Multiple Access**

Hören vor dem Senden.

Genügt nicht zur Kollisionsvermeidung (wegen Signallaufzeit).

**CSMA / CD: Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection**

Erkennt und reagiert auf Kollisionen.

Bei Ethernet eingesetzt.

Problem: Kollisionen kosten Strom – speziell bei Mobilgeräten heikel.

**CSMA / CA: Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance**

Versucht Kollisionen möglichst zu vermeiden.

Meist bei Mobilgeräten eingesetzt, da Strom-sparend.

### CSMA (1)

**CSMA** Carrier Sense Multiple Access:

- **Idee:** Vor dem Senden Medium abhören und wenn belegt nicht senden.
- **Folge:** Kollisionsgefahr steigt gegen Ende einer Übertragung an.
- **Daher:** Sendebeginn etwas hinauszögern.

**Sendepolitik:** Verschiedene Strategien des Hinauszögerns.

Unterschieden nach dem Grad der Persistenz oder Aggressivität.

**Non-persistent:**

- Wenn Kanal frei, dann sende.
- Wenn Kanal belegt, dann warte ein wenig, anschließend prüfe erneut.

**1-persistent:**

- Wenn Kanal frei, dann sende.
- Wenn Kanal belegt, dann warte bis er frei wird und sende dann sofort.
- Eingesetzt bei **Ethernet**.

### CSMA (2)

#### **p-persistent:**

- Wenn Kanal frei, dann sende (mit Wahrscheinlichkeit  $p$ )  
oder warte (mit Wahrscheinlichkeit  $1 - p$ )
- Wenn Kanal belegt, dann warte bis er frei wird und prüfe erneut.

# Warte-Strategien

### Optionen:

- Feste Warte-Zeit ist schlecht, erzeugt Livelock.
- Zufällige Warte-Zeit ist schlecht, da nicht an Lastsituation angepaßt.
- Truncated Exponential Backoff ist die Methode der Wahl.

### Truncated Exponential Backoff:

Beim  $n$ -ten Versuch werden zufällig  $k$  Slots gewartet, dabei ist  $k$  eine zufällig gewählte ganze Zahl zwischen 0 und  $2^n - 1$ .

Es gibt eine Obergrenze für maximales Backoff (truncation).

#### *Vorteile:*

- Vermeidet Livelock, bei dem viele Stationen ungefähr gleich lang warten.
- Paßt sich gut der Lastsituation an.
- Vermeidet zu starke Eskalation des Wartens durch die Obergrenze.

**Sendeverzögerung:** Technologie-abhängig sind weitere Verzögerungen denkbar:  
9.6 [ $\mu$ s] bei Ethernet, 0.96 [ $\mu$ s] bei Fast Ethernet, 96 [ns] bei Gigabit Ethernet.

## 2. Carrier-Sense Protokolle

# Kollisions-Strategien

### **Kollisionsdetektion:**

Abhören der eigenen Aussendung.

Wenn Störung erkannt: Jam Signal senden.

**CSMA / CD:** Bei Kollision Übertragung abbrechen; nach Wartezeit erneut beginnen.

### **Zur Vereinfachung:**

Kollision soll durch Sender erkennbar sein, so lange er noch sendet.

Das ist immer möglich, wenn minimale Sendedauer mindestens doppelt so lang ist wie die Zeit, um das Kabel vom einen bis zum anderen Ende zu durchqueren.

Deshalb fordert Ethernet minimale Paket-Längen und maximale Kabel-Längen.

**Drahtlos:** Keine festen Kabel-Längen, sondern Positions-abhängige Ausbreitung.

Daher andere Probleme, wie zB: Hidden Station und Exposed Station Problem.

Diese durch CSMA / CA gelöst.

## 2. Carrier-Sense Protokolle

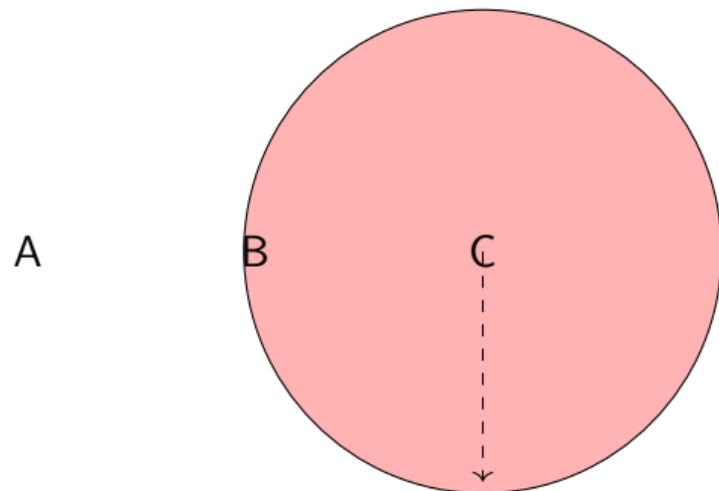
# Hidden Station Problem

### Situation:

- C sendet zu B.
- A ist außer Reichweite von C.
- A glaubt fälschlicherweise, es könnte zu B senden.
- A sendet und stört bei B den Empfang von C.

### Lösung: RTS / CTS Mechanismus

- C sendet **RTS** request to send.
- B antwortet mit **CTS** clear to send.
- A hört CTS von B mit und wartet.



**Abb. 3:** Hidden Station Problem: In A, B und C sind Kommunikations-Endpunkte, der rote Kreis deutet die Reichweite des Senders in C an.

## 2. Carrier-Sense Protokolle

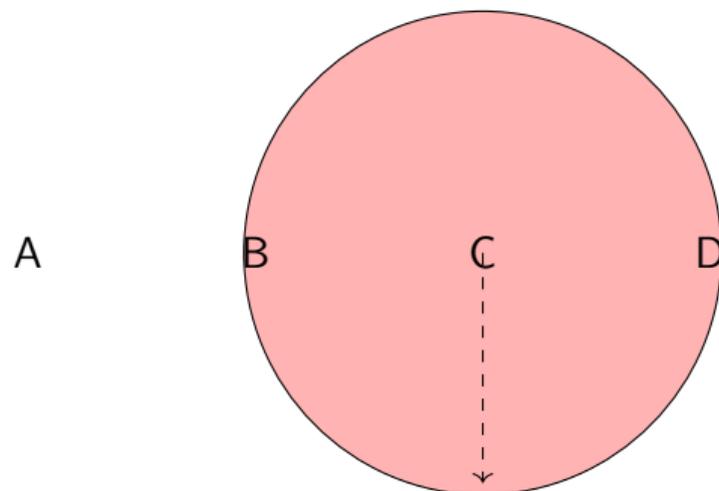
# Exposed Station Problem

### Situation:

- C sendet zu D.
- B ist in Reichweite von C.
- B glaubt fälschlicherweise, es könnte nicht zu A senden.
- Da A außer Reichweite von C ist, könnte es Sendungen von B empfangen.

### Teil-Lösung: RTS / CTS Mechanismus

- B hört das RTS von C aber nicht das CTS von D.
- B kann versuchen zu kommunizieren.
- B weiß aber nicht, wo A liegt.



**Abb. 4:** Exposed Station Problem: In A, B, C und D sind Kommunikations-Endpunkte, der rote Kreis deutet die Reichweite des Senders in C an.

# Durchsatz verschiedener Protokolle

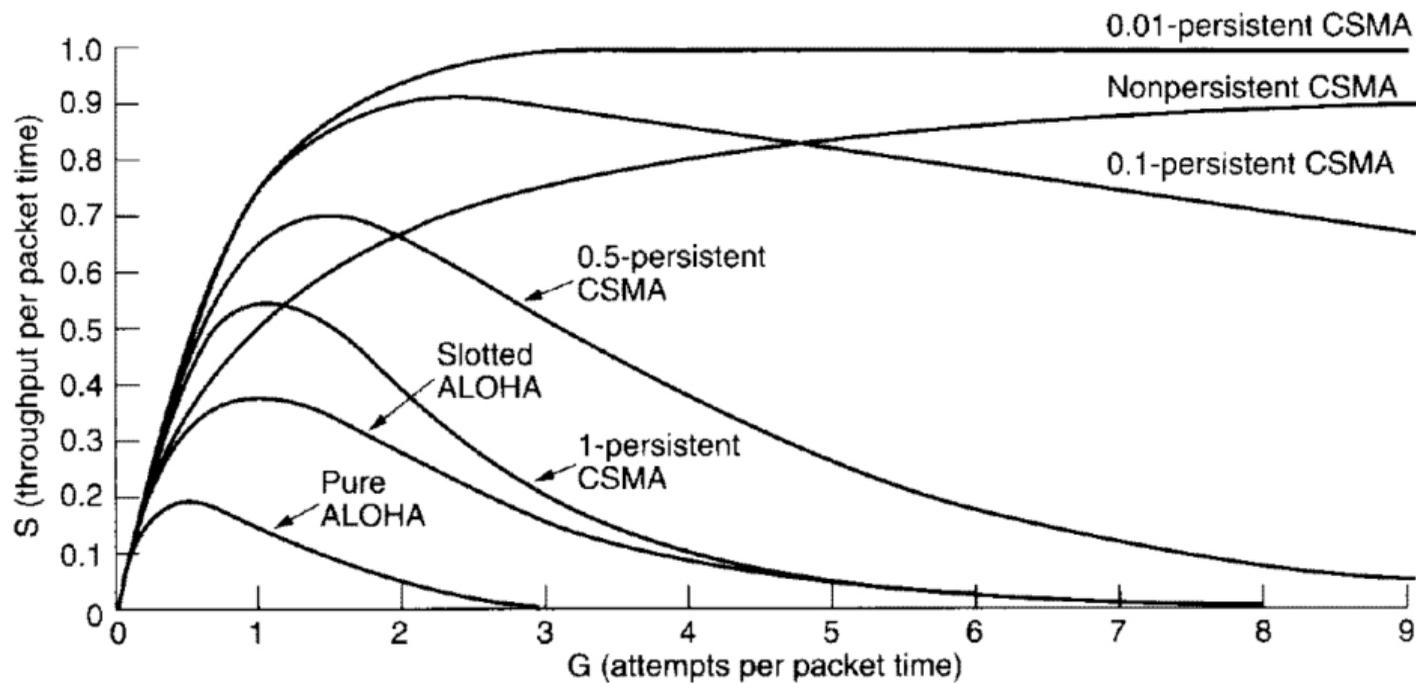


Abb. 5: Durchsatz verschiedener Protokolle.

### 3. Kollisionsfreie Protokolle

**Ziele:** Wir untersuchen drei seltener eingesetzte Protokolle, die aber Kollisionen gänzlich ausschließen.

1. Aloha-Protokolle
2. Carrier-Sense Protokolle
3. **Kollisionsfreie Protokolle**

# Bit Map Protokoll

### Reservationspolitik:

- Stationen sind durchnummeriert.
- Reservationsrunde mit  $n$  Slots für  $n$  Stationen.
- Jede Station sendet in ihrem Slot 0 oder 1 (=Reservation).
- Stationen mit Reservierung senden in Reihenfolge ihrer Nummern.

# Token-Ring

**Token** steuert als spezielles Bitmuster den Medienzugriff.

### Frei-Token:

- Kreist auf dem unbenutzten Ring.
- Von Station zu Station mit geringer Verzögerung weitergegeben.
- Verkabelung stellt Weitergabe sicher, auch wenn Station ausgeschaltet.

### Vorgehensweise

- Sender möchte Daten senden.
- Sender wartet, bis das Frei-Token bei ihm eintrifft.
- Sender wandelt Frei-Token in Belegt-Token um, hängt Daten an.
- Belegt-Token plus Nutzlast kreist im Ring.
- Empfänger kopiert Daten, setzt Header-Bit, legt Token wieder auf den Ring.
- Paket gelangt zum Sender.
- Sender erkennt am Header, ob Nachricht empfangen wurde.
- Sender wandelt Besetzt-Token in Frei-Token um.
- Sender gibt Frei-Token ohne Daten auf den Ring.

# Störfälle bei Token-Ring (1)

### Verlust des Token:

- Monitorstation überwacht Existenz des Tokens.
- Kriterium: Ringumlaufzeit.
- Fehlerfall: Monitorstation generiert ein neues Frei-Token.

### Endlos kreisendes Besetzt-Token:

- Bsp: Sender abgestürzt.
- Monitor setzt in jedem vorbeikommenden besetzten Paket das Monitor-Bit
- Monitor nimmt Paket mit gesetztem Monitor-Bit vom Netz und generiert Frei-Token.

### Mehrere Frei-Token auf dem Ring:

- Station nutzt Frei-Token, erhält als Antwort aber nicht ihr eigenes Paket.
- Station geht in Abhörmodus und wartet auf Frei-Token.
- Monitor entsorgt Pakete beim jeweils zweiten Umlauf und regeneriert Frei-Token.

# Störfälle bei Token-Ring (2)

### Ausfall der Monitorstation:

- Alle Stationen arbeiten als Stand-By-Monitor und überwachen Ring.
- Wenn Fehlerzustand längere Zeit nicht behoben wird Monitorausfall angenommen.
- Diagnostizierende Station startet Abstimmung über neuen Monitor.
- Diagnostizierende Station sendet Frei-Token mit ihrer Adresse.
- Mithörende Stationen tragen ihre Adresse ein, wenn sie größer ist.
- Station mit höchster Adresse wird neuer Monitor.
- Vgl. verteilte Systeme: Election-of-a-leader Algorithmen.

# Bewertung von Token-Ring

### Vorteile:

- Gerechter Medien-Zugang für alle Stationen.
- Kollisionen werden erfolgreich verhindert.
- Maximalzeit für erfolgreiche Datenübertragung kann angegeben werden; daher für Echtzeitanwendungen geeignet (Bsp: Maschinen-Steuerung).
- Bei **hoher Kommunikationslast**: Guter Durchsatz da keine Kollisionen.

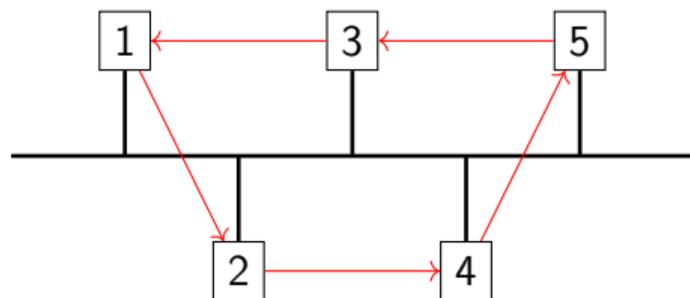
### Nachteile:

- Kompliziertes Verfahren.
- Viele Fehlermodi möglich mit komplizierter Fehlerbehebung.
- Schlechte Ausnutzung der vorhandenen Bandbreite.
- Bei **geringer Kommunikationslast**: Ineffektiv, wegen Wartezeit auf Token.

# Token-Bus

- Nutzt Token-Ring auf Bus-Struktur.
- Stationen als Bussystem verkabelt.
- Virtueller Ring dank Adreßfolgetabelle.
- Virtueller Ring dann nach Token-Ring betrieben.
- Ausgefallene Stationen aus Adreßtabellen ausgeblendet.

**Herausforderung:** Konsistenz der Adreßfolgetabellen bei allen Stationen.



# Anhang

## Übersicht

Verzeichnis aller Abbildungen

Abb

Rechtliche Hinweise

§

Zitierweise dieses Dokuments

→

Verzeichnis aller Folien



1	Durchsatz beim Pure Aloha Verfahren.....	7
2	Durchsatz von Pure Aloha und Slotted Aloha im Vergleich.....	10
3	Hidden Station Problem.....	17
4	Exposed Station Problem.....	18
5	Durchsatz verschiedener Protokolle.....	19

Die hier angebotenen Inhalte unterliegen deutschem Urheberrecht. Inhalte Dritter werden unter Nennung der Rechtsgrundlage ihrer Nutzung und der geltenden Lizenzbestimmungen hier angeführt. Auf das Literaturverzeichnis wird verwiesen. Das **Zitatrecht** in dem für wissenschaftliche Werke üblichen Ausmaß wird beansprucht. Wenn Sie eine Urheberrechtsverletzung erkennen, so bitten wir um Hinweis an den auf der Titelseite genannten Autor und werden entsprechende Inhalte sofort entfernen oder fehlende Rechtsnennungen nachholen. Bei Produkt- und Firmennamen können Markenrechte Dritter bestehen. Verweise und Verlinkungen wurden zum Zeitpunkt des Setzens der Verweise überprüft; sie dienen der Information des Lesers. Der Autor macht sich die Inhalte, auch in der Form, wie sie zum Zeitpunkt des Setzens des Verweises vorlagen, nicht zu eigen und kann diese nicht laufend auf Veränderungen überprüfen.

Alle sonstigen, hier nicht angeführten Inhalte unterliegen dem Copyright des Autors, Prof. Dr. Clemens Cap, ©2020. Wenn Sie diese Inhalte nützlich finden, können Sie darauf verlinken oder sie zitieren. Jede weitere Verbreitung, Speicherung, Vervielfältigung oder sonstige Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts bedarf der schriftlichen Zustimmung des Rechteinhabers. Dieses dient der Sicherung der Aktualität der Inhalte und soll dem Autor auch die Einhaltung urheberrechtlicher Einschränkungen wie beispielsweise **Par 60a UrhG** ermöglichen.

Die Bereitstellung der Inhalte erfolgt hier zur persönlichen Information des Lesers. Eine Haftung für mittelbare oder unmittelbare Schäden wird im maximal rechtlich zulässigen Ausmaß ausgeschlossen, mit Ausnahme von Vorsatz und grober Fahrlässigkeit. Eine Garantie für den Fortbestand dieses Informationsangebots wird nicht gegeben.

Die Anfertigung einer persönlichen Sicherungskopie für die private, nicht gewerbliche und nicht öffentliche Nutzung ist zulässig, sofern sie nicht von einer offensichtlich rechtswidrig hergestellten oder zugänglich gemachten Vorlage stammt.

# Zitierweise dieses Dokuments

Wenn Sie Inhalte aus diesem Werk nutzen oder darauf verweisen wollen, zitieren Sie es bitte wie folgt:

Clemens H. Cap: Medien-Zugriffe. Electronic document. <https://iuk.one/1012-1023> 25. 1. 2021.

**Bibtex Information:** <https://iuk.one/1012-1023.bib>

```
@misc{doc:1012-1023,  
  author      = {Clemens H. Cap},  
  title       = {Medien-Zugriffe},  
  year        = {2021},  
  month       = {1},  
  howpublished = {Electronic document},  
  url         = {https://iuk.one/1012-1023}  
}
```

## Typographic Information:

Typeset on January 25, 2021

This is pdfTeX, Version 3.14159265-2.6-1.40.21 (TeX Live 2020) kpathsea version 6.3.2

This is pgf in version 3.1.5b

This is preamble-slides.tex myFormat©C.H.Cap

- 1 Titelseite
- 2 Ziel

## 1. Aloha-Protokolle

- 4 Aloha-Protokoll
- 5 Ableitung Durchsatz im Pure Aloha Verfahren (1)
- 6 Ableitung Durchsatz im Pure Aloha Verfahren (2)
- 7 Durchsatz bei Pure Aloha
- 8 Interpretation
- 9 Slotted Aloha
- 10 Durchsatz bei Pure und Slotted Aloha

## 2. Carrier-Sense Protokolle

- 12 Grundbegriffe
- 13 CSMA (1)
- 14 CSMA (2)
- 15 Warte-Strategien
- 16 Kollisions-Strategien
- 17 Hidden Station Problem

- 18 Exposed Station Problem
- 19 Durchsatz verschiedener Protokolle

## 3. Kollisionsfreie Protokolle

- 21 Bit Map Protokoll
- 22 Token-Ring
- 23 Vorgehensweise
- 24 Störfälle bei Token-Ring (1)
- 25 Störfälle bei Token-Ring (2)
- 26 Bewertung von Token-Ring
- 27 Token-Bus

### Legende:

-  Fortsetzungsseite
-  Seite ohne Überschrift
-  Bildseite