

# Grundlagen: Rechnernetze und verteilte Systeme

**Vierte Woche: 7./11. Mai 2018**

Medienzugriffsverfahren

---

**Leo Glavinić**

netze@eo.gl

eo.gl/netze

# Inhalt

1. ALOHA

2. CSMA/CD

# 1. ALOHA

Medienzugriffsverfahren mit durch Frequenzduplex  
getrennten Kommunikationsrichtungen  
(Vermittlungsstation ↔ Inseln)

Kollision bei zeitlicher Überschneidung zweier  
Übertragungen

Versand von Bestätigungen (im Gegensatz zu  
Ethernet)

# 1. ALOHA

Erste Version: Sendeerlaubnis direkt nach Erhalt von Daten

Slotted ALOHA: Sendebeginn nur noch am Anfang fester Zeitabschnitte, gemeinsames Taktsignal

$p$ -persistentes Slotted ALOHA: wenn Daten vorliegen, entweder Sendung im nächsten Slot (mit Wahrscheinlichkeit  $p$ ) oder Verzögerung um einen Slot (mit Wahrscheinlichkeit  $1-p$ ) und neues „Auswürfeln“

# 1. ALOHA

Anfangs:  $n$  saturierte (sendebereite) Nutzer

Wahrscheinlichkeit für Sendung im nächsten möglichen Zeitslot:  $p$

Dauer eines Sendevorgangs gleich Länge des Zeitschlitzes

# 1. ALOHA

a. Wahrscheinlichkeit, dass in einem Zeitschlitz kollisionsfreie Übertragung stattfindet

Zufallsvariable  $X$ : Anzahl der gleichzeitig sendenden Stationen (Binomialverteilung); kollisionsfreie Übertragung gdw.  $X=1$

$$\Pr[X = k] = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k} \text{ (Cheatsheet!)}$$

$$\Rightarrow \Pr[X = 1] = \binom{n}{1} p(1 - p)^{n-1} = np \cdot (1 - p)^{n-1} =: f(n, p)$$

# 1. ALOHA

**b.** optimale Sendewahrscheinlichkeit  $p^*$  für maximale Wahrscheinlichkeit einer kollisionsfreien Übertragung

Ableitung von  $f(n, p)$  nach  $p$  gleich 0 setzen:

$$\frac{\partial f}{\partial p} = n \cdot (1 - p)^{n-1} - np \cdot (n - 1) \cdot (1 - p)^{n-2} \stackrel{!}{=} 0$$

$$n \cdot (1 - p)^{n-1} = np \cdot (n - 1) \cdot (1 - p)^{n-2}$$

$$1 - p = p \cdot (n - 1)$$

$$p = \frac{1}{n}$$

# 1. ALOHA

c. maximale Kanalauslastung (Übertragungsrates ohne Kollision) bei  $n$  Nutzern

$p^*$  einsetzen:

$$f(n, p^*) = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1}$$



# 1. ALOHA

d. maximale Kanalauslastung bei einer sehr großen Anzahl an Nutzern

Hinweis:  $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n = e^x$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} f(n, p^*) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left(1 - \frac{1}{n}\right)^n}{\left(1 - \frac{1}{n}\right)} = \frac{1}{e} \approx 0.37$$

# 1. ALOHA

Relevanz für uns: kein heutiger Einsatz für ALOHA, aber Grundlage für Ethernet und gut für Verständnis von Medienzugriffsverfahren

Nächste Aufgabe: CSMA/CD

# Lustige Folie mit 1en und 0en

010001000110100101100100001000000111001011011101110101001000000110010101110011001010111001000100000011010000110010101100001011100100010000  
00110100011010000110010100100000011010001110010011000010110011101100101011001000111100100100000011011101100110001000000100010001100001011100  
100111010001101000001000000101000001101100011000010110011101101011001010110100101110011001000000101010001100101001000000101011101101  
00101110011011001010011111001000000100100100100000011010001101000011011101110101011001110110100001101000010000001101110011011101101000010111  
00010000001001001011101001000000001100101110011001000000101110011011101110100001000000110001011101000110111011001001111001  
0010000001110100011010000110010100100000010010100110010101100100011010010010000001110111011011101101011011000110010000100000011101000110010  
101101100011011000010000001110010110111011101010010111000100000010010011101001000000011001011100110010000001100001001000000101001101101001  
0111010001101000001000000110110001100101011001110110010101101100110010000101110001000000100010001100001011000110100000100000010100  
00011011000110000101100111011101010110010101101001011100110010000001110111011000010111001100100000011000010010000001000100011000010111001001101  
011001000000100110001101110111001001100100001000000110111011001100010000001100001001000000100010001100001011100100110110000110100001  
0110000100000011100110110111001000000110000010111011101110110010101110010011001001100100110110000100000011000010110111001100100001000000111  
001101101110010000001110111011010010111001101100101001000000110100001100101001000000110001101101110111010110110001100100001000000111010101110  
011011001010010000001110100011010000110010100100000010001100110111011100100110001101100101001000000110100011011100100000011010010110111001100  
11001101100011101010110010110111001100011011001010010000001110100011010000110010100100000011010101101001011001000110100101100110011001100  
0001101111011100100110100101100001011011100110011001000000111010001101110010000001100011011100100110001011010001100101001000000110110  
0011010010110011001100101100000010011000100000010010000110010100100000011010000110000101100100001000000110011011101011000110110100000100  
000011000010010000001101011011011100110111011101101100110010101100100011001110110010100100000011011101100110001000000111010001101000011001  
01001000000110010001100001011100100110100100100000011100101101001011001000110010001100100011000010000001101000011010000110100001101000011  
0010100100000110001101101110111010101100110010000100000011001011010010110010001100100101101100010000001101001011001011011000000100000011  
10100011010000110010100100000011011101101110011001010111001100100000011010000110010001100100011000010111000010111001001100101110000001000000  
110000101100010011011101110101110100001000000110011001110010011011101101101001000000110010001111001011010010110111001110010111000100000010  
101000110100001100101001000000110010001100001011100100110101100100000011100110110100101100100011001010010000001101110110011000100000011101000  
110100001100101001000000100011001101110111001001100011011001010010000001101001011100110010000001100001001000000111000001100001011101000110100  
0011101110110000101111001001000000111010001101111001000000110110101100001011011100111100100100000011000010110001001101001011011000110100101110100  
01101001011001010111001100100000011100110110111011011010110010100100000011000110110111011100111001101100101100100011001010111001000100000011  
1010001101111001000000110001001100101001000000111010101101110011011100110000101110100011101010111001001100001011100010000001001000011  
00101001000000110001001100101011000110110000101101101100101001000000111001101101110010000001110000010111101110110110010101110010011001100111  
01010110110010000000100110001000000111010001101000011001010010000001101110110111001100100011110010010000001110100011010000110100101101110011001  
110010000001101000011001010010000001110111011000010111001100100000011000010110011001110010011000010110100101100100001000000110111011001100010  
0000011101110110000101110011001000000110110001101110111001101100101101110011001110010000001101000011010010111001100100000011100000110111101101  
1101100101011100100010110000100000011101110110100001101001011000110110100000100000011001010111011001100101011011100111010001110101011000010110110  
00110110001111001001011000010000001101110110011000100000011000110110111011101011100100111001101100101001011000010000001101000011001010010000  
0011001000110100101100100001011100010000001010101011011100110011001101110111001001110100011101010111001100001011101000110010101100011110010  
01011000010000001101000011001010010000001110100011000010111010110011101100111001001000000110100001101000011010010110110001100001110001  
00111000001110010011001010110111001110100011010010100100000011001011101100110010101110010011100101110100011010000110100001101001011011100  
1100111001000000110100001100101001000000110101101101110011001010111011100101100010000001110100011010000110010101110001000000110100001101001  
01110011001000000110000101110000011100000111001001100101011100111010001101001011000110100011010001101100011011000110011001100110011001  
0110010000100000011010000110100101101100100000011010001100100110001101100100100000011001101100100000011100110110010110010110010111000110011000  
000101110001000000100100101110010011011101101100110001011000110000001001000011001010010000001100011011011101101010111001100110010  
0001000000111001101100001011101100110010100100000011011101110100011011101110100011100100111001100100000011001100111001001101110110110100110010  
00110010001100101011000010111010001101000010110000100000011000100111010101110100001000000110110011101110110110100110011001100110011001  
010111001101100101011000010111010001100100001000000110111001101110111011010000100000011011100110111011010000100000011010000101001101101  
010111001101100101011011000110011000101110

## 2. ALOHA und CSMA/CD

„Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection“:  
Verbesserung von ALOHA

Listen Before Talk: Abhören des Mediums und  
Sendebeginn, wenn es frei ist

Kollisionserkennung und ggf. Wiederholung der  
Übertragung

Verzicht auf Bestätigungen; erfolgreiche  
Übertragung, falls kein Jam-Signal empfangen wird

## 2. ALOHA und CSMA/CD

„GRNVS-Standardaufgabe“!



$$d_{12} = 500 \text{ m}, d_{23} = 250 \text{ m}$$

Übertragungsrate  $r = 10 \text{ Mbit/s}$

$v = 2/3$  (der Lichtgeschwindigkeit  $c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

$t_1 = 1 \mu\text{s}$  (PC1 beginnt Rahmen zu senden)

$t_2 = 4 \mu\text{s}$  (PC2 und PC3 wollen Rahmen senden)

Rahmenlänge  $L = 3 \text{ B}$

## 2. ALOHA und CSMA/CD

a. Serialisierungszeit  $t_s$  für eine Nachricht (Zeit, bis komplette Nachricht „auf dem Weg“ ist)

$$t_s = \frac{l}{r} = \frac{3 \cdot 8 \text{ bit}}{10 \cdot 10^6 \text{ bit/s}} = 2,4 \mu\text{s (Cheatsheet!)}$$

## 2. ALOHA und CSMA/CD

b. Ausbreitungsverzögerungen auf den beiden Streckenabschnitten

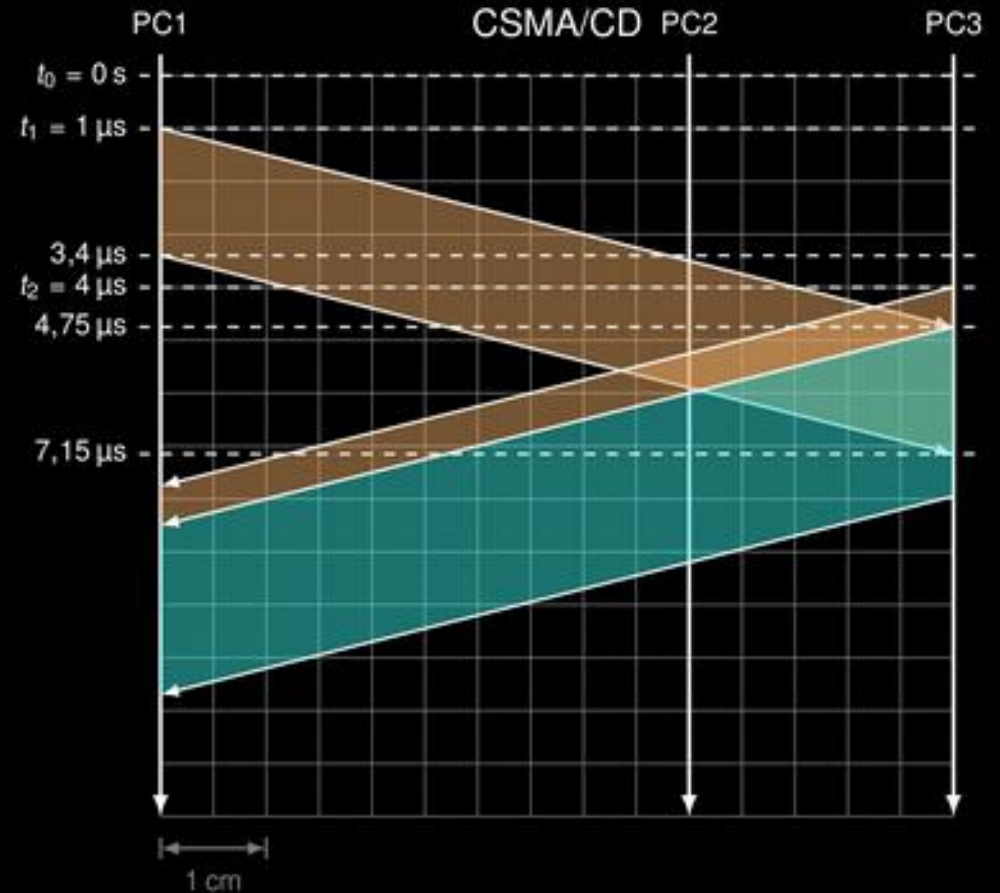
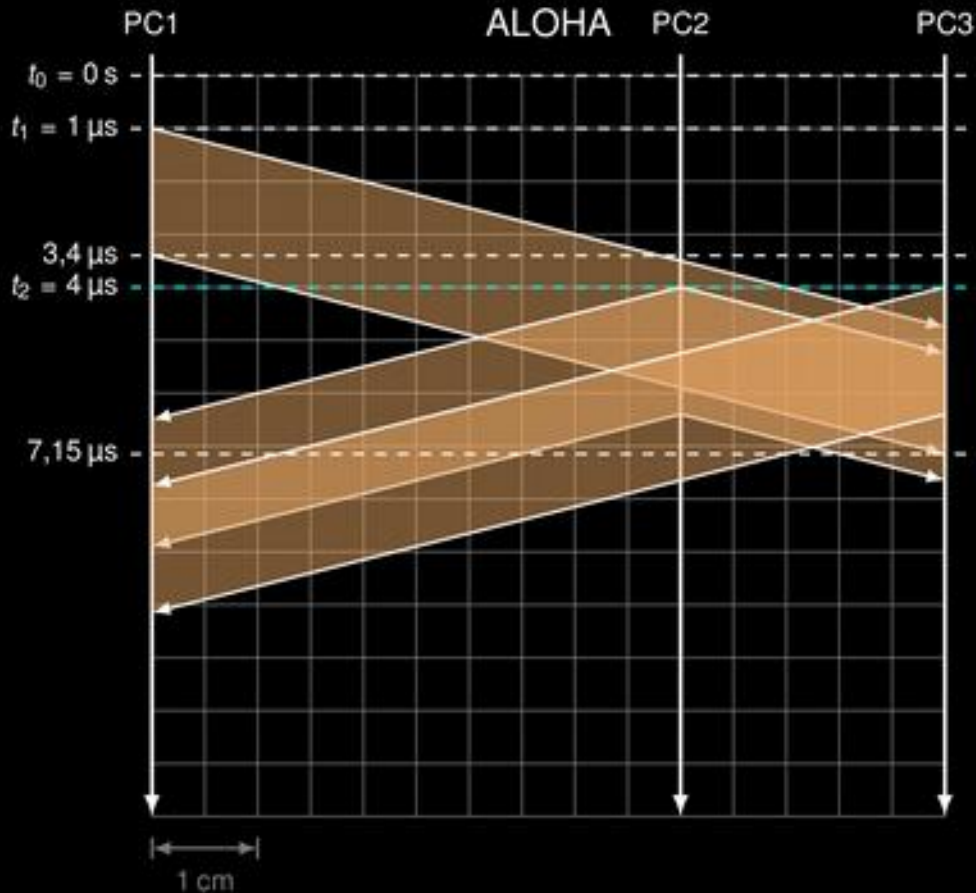
$$t_p(1, 2) = \frac{d_{12}}{\nu c_0} = \frac{500 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2,5 \mu\text{s}$$

$$t_p(2, 3) = \frac{d_{23}}{\nu c_0} = \frac{250 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,25 \mu\text{s}$$

(Cheatsheet!)

# 2. ALOHA und CSMA/CD

## c. Weg-Zeit-Diagramme für ALOHA und 1-persistentes CSMA/CD





## 2. ALOHA und CSMA/CD

d. Warum funktioniert hier ALOHA, aber CSMA/CD nicht?

Rahmenverlust bei ALOHA: keine Bestätigung

Bei CSMA/CD: Abschluss der Übertragung von PC1, bevor Jam-Signal von PC3 ankommt; PC1 geht von erfolgreicher Übertragung aus

## 2. ALOHA und CSMA/CD

e. Maximale Entfernung zweier Rechner in Kollisionsdomäne abhängig von minimaler Rahmenlänge; gegeben:  $r=100$  Mbit/s,  $L_{min}=64$  B

Kein sendender Knoten darf Sendung beenden, bevor Kollision bemerkt wurde (siehe Aufg. d)

→ Minimale Serialisierungszeit  $t_{s, min}$  eines Rahmens muss doppelt so lang sein wie Ausbreitungsverzögerung zwischen Stationen

## 2. ALOHA und CSMA/CD

e. Maximale Entfernung zweier Rechner in Kollisionsdomäne abhängig von minimaler Rahmenlänge; gegeben:  $r=100$  Mbit/s,  $L_{min}=64$  B

$$t_{s,min} = 2 \cdot t_{p,max}$$

$$\frac{L_{min}}{r} = 2 \cdot \frac{d_{max}}{vC}$$

$$d_{max} = \frac{1}{2} \cdot vC \cdot \frac{L_{min}}{r}$$

$$d_{max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{64 \cdot 8 \text{ bit}}{100 \cdot 10^6 \frac{\text{bit}}{\text{s}}}$$

$$d_{max} = 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{64 \cdot 8 \text{ bit}}{100 \cdot 10^6 \frac{\text{bit}}{\text{s}}} = 512 \text{ m}$$

## 2. ALOHA und CSMA/CD

f. Einfluss von Hubs, Brücken und Switches auf Kollisionsdomänen

Hub: Verbindung von Netzsegmenten auf physikalischer Schicht, gemeinsame Kollisionsdomäne (Bus)

Brücke: Unterbrechung von Kollisionsdomänen, Weiterleitung von Rahmen nur in Segment, in dem sich Empfänger-MAC-Adresse befindet (Switch: Brücke mit mehr als zwei Ports)

## 2. ALOHA und CSMA/CD

Relevanz für uns: Unterschied zwischen Hubs und Switches, Kollisionsdomänen, Weg-Zeit-Diagramme, allerlei Formeln

# 3. Bitübertragungstechniken

„Hausaufgabe“

Wichtige Formeln, mit denen der Umgang beherrscht werden muss!