

# Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

Übungsblatt 5 26. Mai – 30. Mai 2025

# Aufgabe 1 Bitübertragungstechniken

Seit 2010 verbindet ein neues Unterseekabel Japan und die USA. Das Kabel verläuft von Chikura nahe Tokio nach Los Angeles in Kalifornien (ca. 10 000 km) und besteht aus 8 Faserpaaren (wobei in jedem Faserpaar eine Faser für die eine Richtung und die andere Faser für die andere Richtung benutzt wird). Die Übertragungsrate beträgt insgesamt 7.68 Tbit/s pro Richtung.

Als vereinfachende Annahmen setzen wir voraus, dass das Licht nur den Weg des Kabels zurücklegt und keine Signalbeeinträchtigungen oder Verzögerungen durch Signalverstärker, Steckverbinder und ähnliches auftreten. Die relative Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht innerhalb einer Glasfaser beträgt (ebenso wie in Kupferleitungen) etwa  $\nu = 2/3$  bezogen auf die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $c_0 = 3 \cdot 10^8$  m/s.

		. Die i																									SO '
	-	leitun				·							_			_											
a)* B	estir	nmer	Sie	die	Aus	bre	eitu	ngsv	erzö	ger	ung	y vo	n C	hik	ura	nac	h L	os A	ng	eles	inn	erh	alb	de	s Ka	abe	ls.
		sagt c																									
) Be	stim	men	Sie	das	Ban	dbr	reite	enve	rzög	eru	ngs	pro	duł	ĸt.													
		1 1		1						1																	

Angeles liegt. Vernachlässigen Sie dabei die Erdkrümmung. Ein geostationärer Satellit (36 000 km Höhe) befinde sich genau über dem Mittelpunkt der Strecke.

d) Bestimmen Sie die minimale RTT für das Unterseekabel.

Hinweis: Überlegen Sie sich, welche Komponente der RTT im vorliegenden Fall den wesentlichen Beitrag liefert. Lassen Sie vernachlässigbar kleine Beträge ggf. weg.

e) Bestimmen Sie die minimale RTT für eine entsprechende Satellitenverbindung.

Hinweis: Überlegen Sie, welche Streckenabschnitte ggf. vernachlässigt werden können. Die Erdkrümmung kann vernachlässigt werden.

Die Verlegung und Instandhaltung eines Unterseekabels ist sehr aufwendig. Die Verbindung zwischen den beiden Städten könnte ebenso über Satellit erfolgen. Betrachten Sie die beiden Verbindungswege kurz in

Nehmen Sie dazu an, dass das Unterseekabel in direkter Luftlinienverbindung zwischen Chikura und Los

Bezug auf die Round-Trip-Time (RTT<sup>1</sup>).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Als RTT bezeichnet man die Zeit, die eine Nachricht vom Sender zum Empfänger und wieder zurück benötigt.

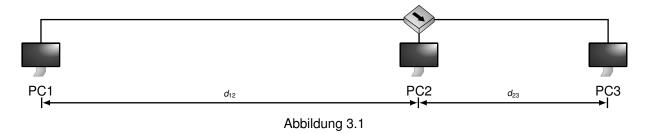
# Aufgabe 2 Medienzugriffsverfahren

a)* Erläutern Sie kurz das Prinzip von <i>ALOHA</i> .
b) Wie werden Kollisionen in ALOHA erkannt?
c) Erläutern Sie kurz das Prinzip von <i>Slotted ALOHA</i> .
d) Worin besteht der Vorteil von Slotted ALOHA gegenüber normalem ALOHA?
e)* Erläutern Sie kurz das Prinzip von <i>CSMA</i> .

f) Erläutern Sie kurz, welche Ergänzungen <i>CSMA/CD</i> gegenüber reinem <i>CSMA</i> hat.
g) Wie werden erfolgreiche Übertragungen bei CSMA/CD bei Ethernet erkannt?
h) Erläutern Sie kurz, welche Ergänzungen <i>CSMA/CA</i> gegenüber reinem <i>CSMA</i> hat.
i)* Was versteht man unter Binary Exponential Backoff?

### Aufgabe 3 ALOHA und CSMA/CD

Gegeben sei ein Netzwerk (s. Abbildung 3.1) bestehend aus drei Computern, welche über ein Hub miteinander verbunden sind. Die Distanzen zwischen den Computern betragen näherungsweise  $d_{12}=1$  km bzw.  $d_{23}=500$  m. Etwaige indirekte Kabelführung darf vernachlässigt werden. Die Übertragungsrate betrage r=100 Mbit/s. Die relative Ausbreitungsgeschwindigkeit betrage wie üblich  $\nu=2/3$ . Die Lichtgeschwindigkeit sei mit  $c_0=3\cdot10^8$ m/s gegeben.

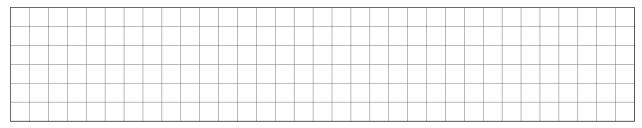


#### Zum Zeitpunkt

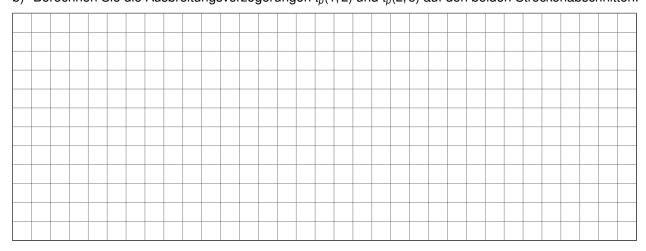
- $t_0 = 0$  s findet keine Übertragung statt und keiner der Rechner hat Daten zu versenden,
- $t_1 = 5 \,\mu\text{s}$  beginnt PC1,
- $t_2 = 15 \,\mu s$  beginnt PC2 und
- $t_3 = 10 \,\mu s$  beginnt PC3

jeweils einen Rahmen der Länge 94 B zu senden.

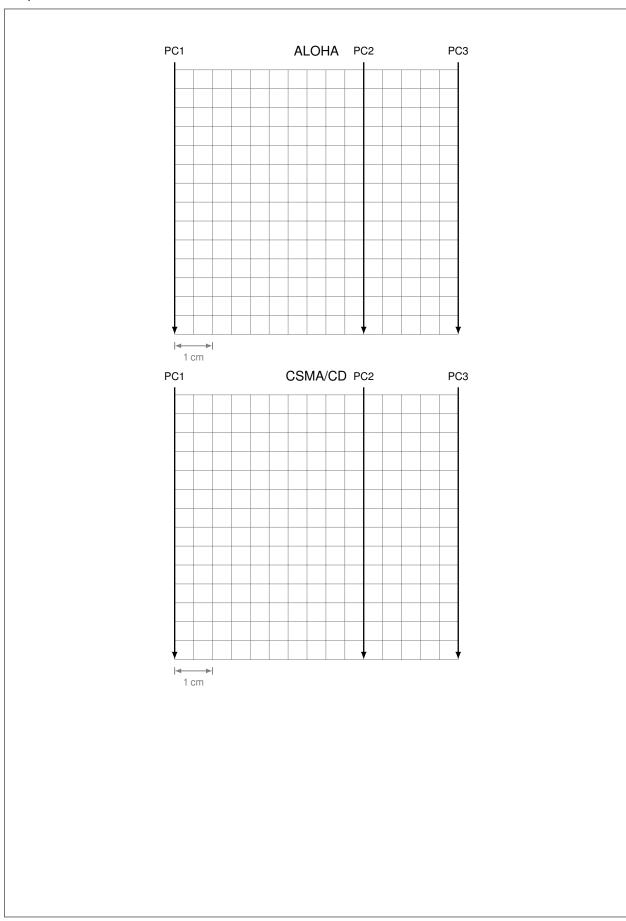
a)\* Berechnen Sie die Serialisierungszeit ts für eine Nachricht.



b)\* Berechnen Sie die Ausbreitungsverzögerungen  $t_p(1,2)$  und  $t_p(2,3)$  auf den beiden Streckenabschnitten.



c) Zeichnen Sie für ALOHA und 1-persistentes CSMA/CD jeweils ein Weg-Zeit-Diagramm, das den Sendevorgang im Zeitintervall  $t \in [t_0, t_0 + 30 \, \mu s)$  darstellt. Maßstab: 100 m  $\triangleq$  5 mm bzw. 2.5  $\mu$ s  $\triangleq$  5 mm, Slotzeit:  $\approx 5 \, \mu$ s



	ensat							e ist zı MA/CI														en. Ir
Wi	e laı	ıtet fü	r CSN	//A/C	D die	e Re	dina	ung, c	lass	ein	Knot	en ei	ne K	ollisio	n re	chtz	eitic	n erl	kenr	nen k	ann'	?
	- lac	10110					unig	urig, c	1400							01112	Citiç	9 011				
									_													
Ab	hänç	gigkei						ximale enlänç														
n =	64 B	).																				
+																						
																					_	_

#### Aufgabe 4 ALOHA (Hausaufgabe)

ALOHA (hawaiisch: "Hallo") ist eines der ältesten Medienzugriffsverfahren und wurde 1971 an der Universität von Hawaii entwickelt, um die Hawaii-Inseln über eine Funkverbindung mit einer zentralen Vermittlungsstation zu verbinden. Die Trennung der zwei Kommunikationsrichtungen von den Inseln zur Vermittlungsstation und zurück erfolgte durch Frequenzduplex (FDD). Die Steuerung des Medienzugriffs war denkbar einfach: Sobald ein Sender Daten erhalten hatte, durfte dieser zu senden beginnen. Da aber keine Richtfunkantennen eingesetzt wurden und alle Sender auf den Inseln dieselbe Frequenz verwendeten, konnte es zu Kollisionen kommen, wenn sich zwei Übertragungen zeitlich überschnitten.

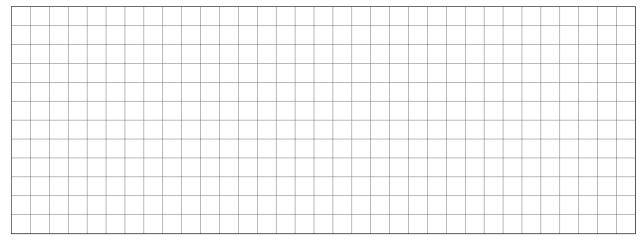
Zwei Jahre später wurde Slotted ALOHA eingeführt, bei dem die Sender nur noch zu Beginn fester Zeitschlitze (engl. *time slots*) anfangen durften zu senden. Die Vermittlungsstation übertrug dafür auf dem Rückkanal ein Taktsignal zur Synchronisation.

Wir wollen nun eine eigene Strategie definieren, die wir p-persistentes Slotted ALOHA nennen. Liegen Daten vor, so sendet eine Station mit Wahrscheinlichkeit p im nächsten Slot bzw. verzögert die Übertragung mit Wahrscheinlichkeit 1-p um einen Slot. Folgende Ausgangssituation sei gegeben:

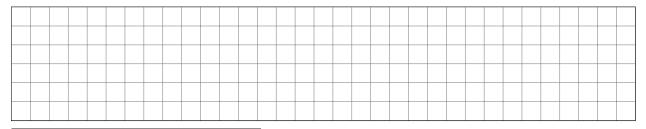
- Es seien zunächst nur einige der Hauptinseln an das Netzwerk angeschlossen, d. h.  $n < 8^2$ .
- Alle *n* Nutzer sind saturiert sind, d. h. es liegen stets Daten zum Senden vor.
- Jeder Nutzer fängt mit Wahrscheinlichkeit p im nächsten möglichen Zeitschlitz an zu senden.
- Die Dauer eines Sendevorgangs entspricht der Länge eines Zeitschlitzes.



b) Bestimmen Sie das  $p^*$ , so dass die Wahrscheinlichkeit einer kollisionsfreien Übertragung maximiert wird.



c) Bestimmen Sie nun die maximale Kanalauslastung bei *n* Nutzern.



 $<sup>^2</sup>$ Für große n (ca. n > 15) und kleine Sendewahrscheinlichkeiten könnte hier auch die Poisson-Verteilung genutzt werden.

d) Bestimmen Sie nun die maximale Kanalauslastung bei einer sehr großen Anzahl von Nutzern. **Hinweis:**  $\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{x}{n}\right)^n=e^x$ 

