

# Repetitorium Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

Niels Mündler

Garching, 19.9.2018



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.

a)\* Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung zwischen Chikura nach Los Angeles innerhalb des Kabels.

b)\* Was sagt das *Bandbreitenverzögerungsprodukt* aus?

c) Bestimmen Sie das Bandbreitenverzögerungsprodukt.

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

Nehmen Sie dazu an, dass das Unterseekabel in direkter Luftlinienverbindung zwischen Chikura und Los Angeles liegt. Vernachlässigen Sie dabei die Erdkrümmung. Ein geostationärer Satellit (36 000 km Höhe) befindet sich genau über dem Mittelpunkt der Strecke.

d) Bestimmen Sie die minimale RTT für das Unterseekabel.

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

**Hinweis:** Überlegen Sie, welche Streckenabschnitte ggf. vernachlässigt werden können.

Quelle: <https://grnvs.net>

a)\* Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung zwischen Chikura nach Los Angeles innerhalb des Kabels.

$$t_p = \frac{d}{\nu c_0} = \frac{10^7 \text{ m}}{2/3 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 50 \text{ ms}$$

b)\* Was sagt das *Bandbreitenverzögerungsprodukt* aus?

Das Bandbreitenverzögerungsprodukt gibt die „auf der Leitung gespeicherte“ Datenmenge an, d. h. wie viele Bit vom Sender serialisiert werden bevor das erste Bit den Empfänger erreicht.

c) Bestimmen Sie das Bandbreitenverzögerungsprodukt.

$$B = r \cdot t_p = 7,68 \cdot 10^{12} \text{ bit/s} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 384 \cdot 10^9 \text{ bit} = 384 \text{ Gbit} = 48 \text{ GB}$$

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

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

$RTT = 2 \cdot (t_s + t_p)$ . Mit  $t_s \rightarrow 0$  (kleine Pakete bzw. sehr hohe Übertragungsrate), reduziert sich die RTT auf  $RTT = 2t_p$ .

$$RTT = 2t_p = 100 \text{ ms}$$

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

**Hinweis:** Überlegen Sie, welche Streckenabschnitte ggf. vernachlässigt werden können.

$$RTT_{\text{Satellit}} = 2 \cdot t_{p,\text{sat}} = 2 \cdot \frac{d_{\text{sat}}}{c_0} = 2 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{5000^2 + 36000^2} \text{ km}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

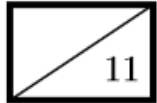
Da  $5000^2 \ll 36000^2$ , kann in erster Näherung  $5000^2 + 36000^2 \approx 36000^2$  verwendet werden (Fehler beträgt etwa 2%). Wir erhalten somit:

Quelle: <https://grnvs.net>

$$\frac{d_{\text{sat}}}{c_0} = 2 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{36000^2} \text{ km}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4 \cdot \frac{36 \cdot 10^6 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 4 \cdot 12 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 480 \text{ ms}$$

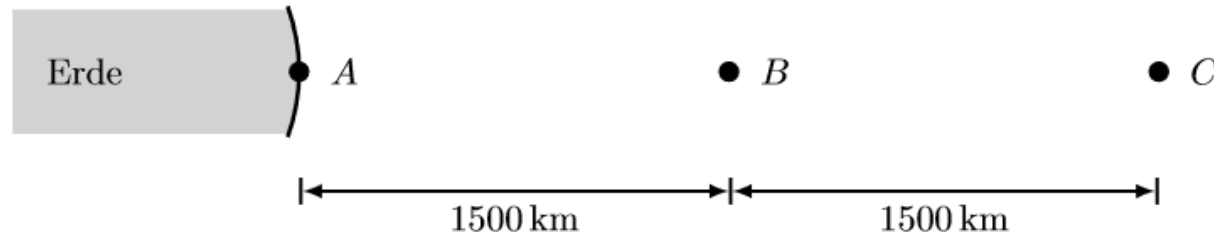
# Retake 2013 Aufgabe 2 bis g)

Quelle: <https://grnvs.net>



## Aufgabe 2 Zeitsynchronisation (11 Punkte)

Ein hypothetischer Pico-Satellit  $B$  befindet sich in einer niedrigen Erdumlaufbahn. Wir betrachten den Zeitpunkt, zu dem er eine Entfernung von 1500 km zur Bodenstation  $A$  auf der Erdoberfläche hat. Er befindet sich damit direkt zwischen der Bodenstation und einem weiteren, baugleichen Satelliten  $C$  in einem höheren Orbit, der eine Entfernung von 3000 km zur Bodenstation hat.



Die Modems der Satelliten können mit 14.4 kbit/s senden und mit 56.0 kbit/s empfangen. Die Bodenstation sendet und empfängt mit den maximalen Datenraten, die die Satelliten unterstützen. Nehmen Sie als Lichtgeschwindigkeit auf allen Strecken  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s an.

Satellit  $B$  möchte seine Borduhr mit der Uhrzeit der Bodenstation synchronisieren. Dazu wird folgendes, einfaches Protokoll durchgeführt:  $B$  sendet eine 64 B lange Anfrage an die Bodenstation. Diese antwortet mit einem 64 B langen Rahmen, der die aktuelle Uhrzeit der Bodenstation enthält. Verarbeitungszeiten an den Endpunkten sollen in dieser Aufgabe vernachlässigt werden.

Quelle: <https://grnvs.net>

a)\* Bestimmen Sie die Serialisierungszeiten  $t_s(A, B)$  und  $t_s(B, A)$  zwischen der Bodenstation  $A$  und dem Satelliten  $B$ .

b)\* Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung  $t_p(A, B)$  zwischen der Bodenstation  $A$  und dem Satelliten  $B$ .

Quelle: <https://grnvs.net>

a)\* Bestimmen Sie die Serialisierungszeiten  $t_s(A, B)$  und  $t_s(B, A)$  zwischen der Bodenstation  $A$  und dem Satelliten  $B$ .

$$t_s(A, B) = \frac{L}{r} \checkmark = \frac{64 \text{ B}}{56.0 \text{ kbit/s}} = \frac{512 \text{ bit}}{56\,000 \text{ bit/s}} = 9.2 \text{ ms}$$

$$t_s(B, A) = \frac{L}{r} = \frac{64 \text{ B}}{14.4 \text{ kbit/s}} = \frac{512 \text{ bit}}{14\,400 \text{ bit/s}} = 36 \text{ ms} \checkmark$$

b)\* Bestimmen Sie die Ausbreitungsverzögerung  $t_p(A, B)$  zwischen der Bodenstation  $A$  und dem Satelliten  $B$ .

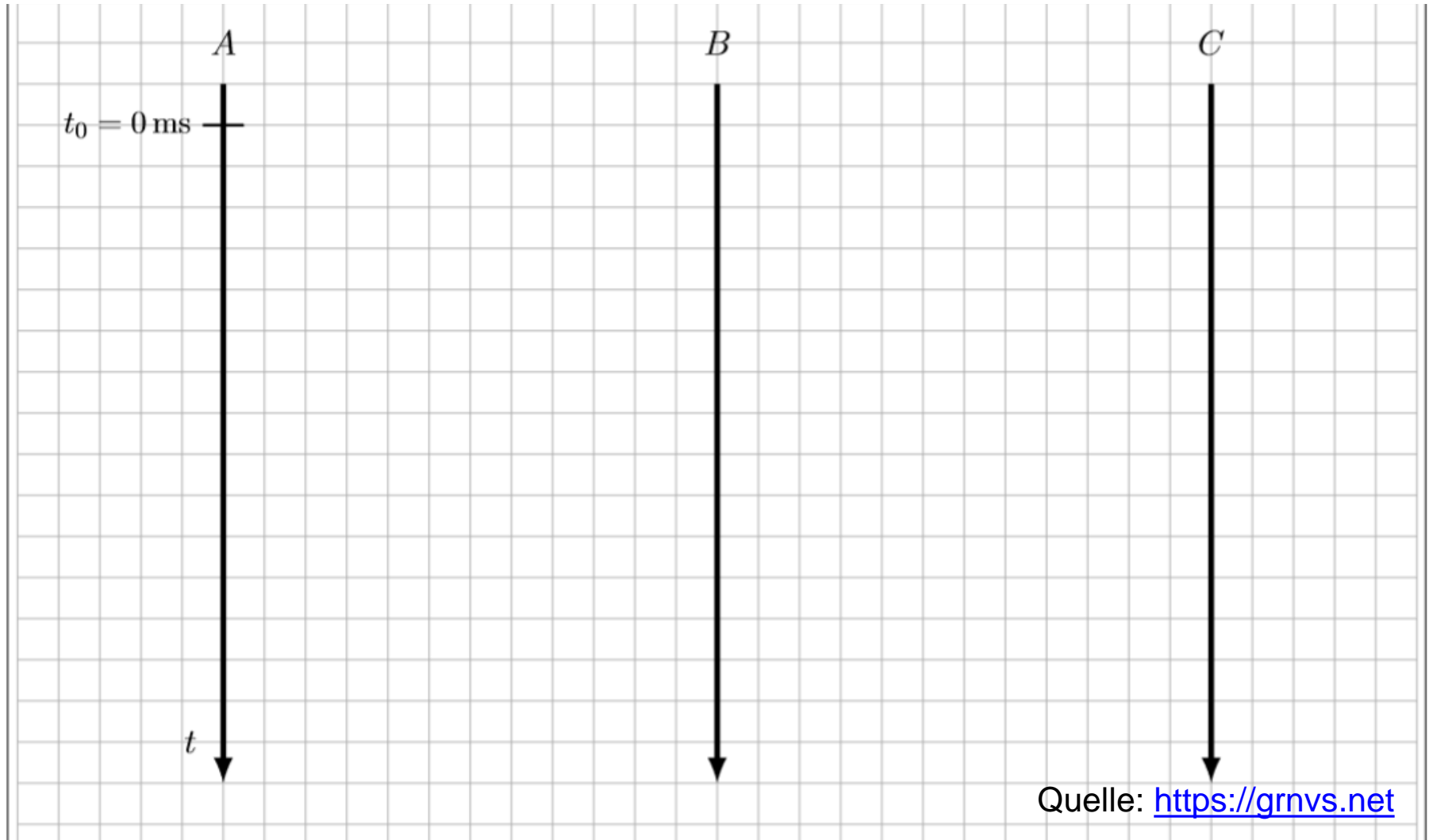
$$t_p(A, B) = \frac{d}{c} \checkmark = \frac{1500 \text{ km}}{300\,000 \text{ km/s}} = 5.0 \text{ ms} \checkmark$$

Quelle: <https://grnvs.net>

c) Zeichnen Sie die Anfrage von Satellit  $B$  und die Antwort der Bodenstation  $A$  in das folgende Weg-Zeit-Diagramm ein. Die Anfrage wird zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  ms gesendet.

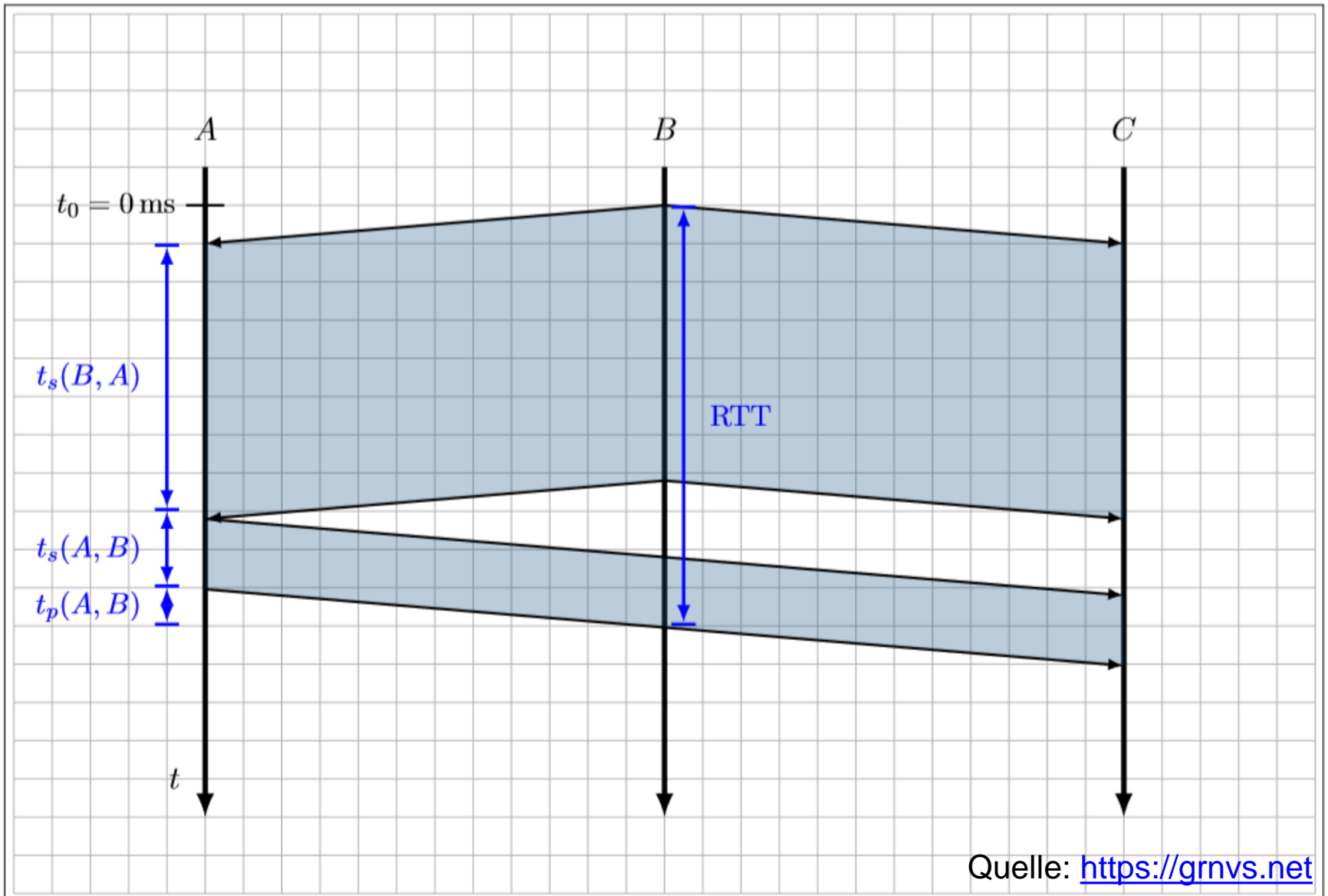
(Maßstab: horizontal 1 cm  $\triangleq$  250 km, vertikal 1 cm  $\triangleq$  10 ms)

d) Kennzeichnen Sie die Serialisierungszeiten  $t_s(A, B)$  und  $t_s(B, A)$  sowie die Ausbreitungsverzögerung  $t_p(A, B)$  und die Round-Trip-Time (RTT) in ihrer Lösung von Teilaufgabe c).





c) Zeichnen Sie die Anfrage von Satellit  $B$  und die Antwort der Bodenstation  $A$  in das folgende Weg-Zeit-Diagramm ein. Die Anfrage wird zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ ms}$  gesendet.  
 (Maßstab: horizontal  $1 \text{ cm} \triangleq 250 \text{ km}$ , vertikal  $1 \text{ cm} \triangleq 10 \text{ ms}$ )



Durch die Serialisierungs- und Ausbreitungsverzögerungen stimmt die von der Bodenstation gesendete Zeit zum Zeitpunkt des Empfangs am Satelliten  $B$  nicht mehr exakt. Der Satellit schätzt die tatsächliche Uhrzeit, indem er die halbe RTT auf die empfangene Zeit aufaddiert. Hierbei entsteht ein Fehler  $\Delta t$ , der im Folgenden bestimmt werden soll.

e) Berechnen Sie die RTT aus Sicht des Satelliten  $B$ .

Quelle: <https://grnvs.net>

f)\* Begründen Sie, warum hier nicht die korrekte Zeit berechnet wird, wenn man die halbe RTT auf die empfangene Zeit addiert.

g) Beim beschriebenen Verfahren addiert der Satellit die Korrektur  $t_{c,S}$  auf die empfangene Zeit. Berechnen Sie  $t_{c,S}$ .

Quelle: <https://grnvs.net>

f)\* Begründen Sie, warum hier nicht die korrekte Zeit berechnet wird, wenn man die halbe RTT auf die empfangene Zeit addiert.

Die RTT verteilt sich asymmetrisch auf Up- und Downlink, da sich die Serialisierungszeiten in beide Richtungen unterscheiden. ✓

g) Beim beschriebenen Verfahren addiert der Satellit die Korrektur  $t_{c,S}$  auf die empfangene Zeit. Berechnen Sie  $t_{c,S}$ .

$$t_{c,S} = t_{RTT}/2 \quad \checkmark = 29 \text{ ms} \quad \checkmark$$

Quelle: <https://grnvs.net>

## Aufgabe 1 Medienzugriffsverfahren

- a)\* Erläutern Sie kurz das Prinzip von *ALOHA*.
- b) Wie werden Kollisionen in *ALOHA* erkannt?
- c) Erläutern Sie kurz das Prinzip von ***Slotted ALOHA***.
- d) Worin besteht der Vorteil von *Slotted ALOHA* gegenüber normalem *ALOHA*?
- e)\* Erläutern Sie kurz das Prinzip von *CSMA*.
- f) Erläutern Sie kurz, welche Ergänzungen *CSMA/CD* gegenüber reinem *CSMA* hat.
- g) Wie werden erfolgreiche Übertragungen bei *CSMA/CD* erkannt?
- h) Erläutern Sie kurz, welche Ergänzungen *CSMA/CA* gegenüber reinem *CSMA* hat.
- i)\* Was versteht man unter *Binary Exponential Backoff*?

Quelle: <https://grnvs.net>

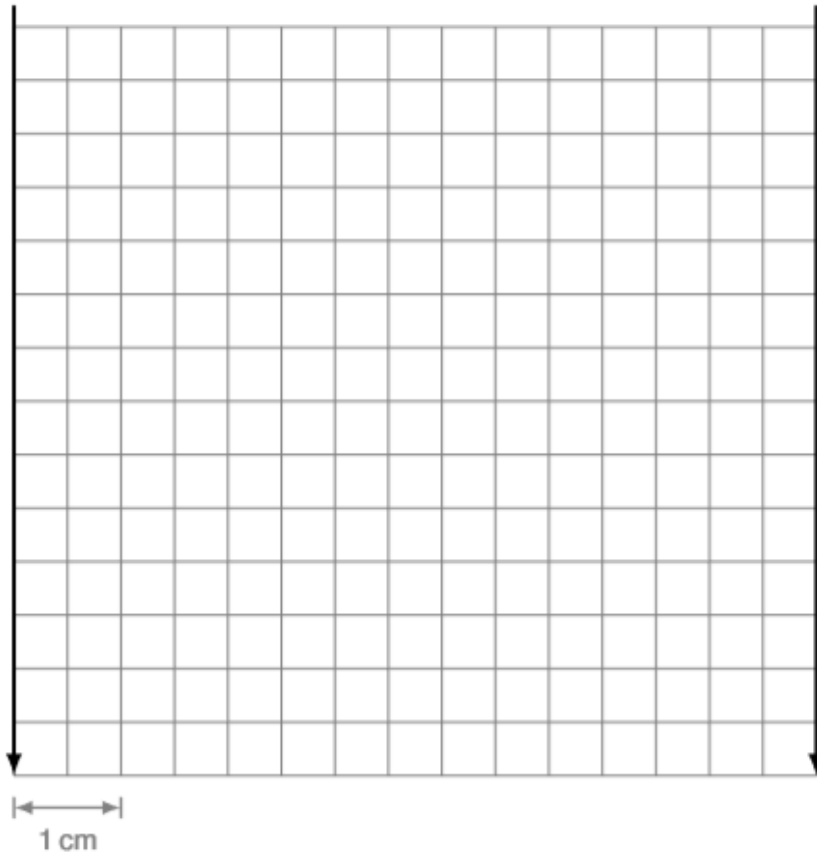
Zum Zeitpunkt  $t_0 = 0$  s findet keine Übertragung statt und keiner der Rechner hat Daten zu versenden. Zum Zeitpunkt  $t_1 = 1 \mu\text{s}$  beginnt PC1 einen Rahmen der Länge 3 B zu senden. Bei  $t_2 = 4 \mu\text{s}$  stehen auch bei PC2 und PC3 Rahmen der Länge 3 B zum Senden an.

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

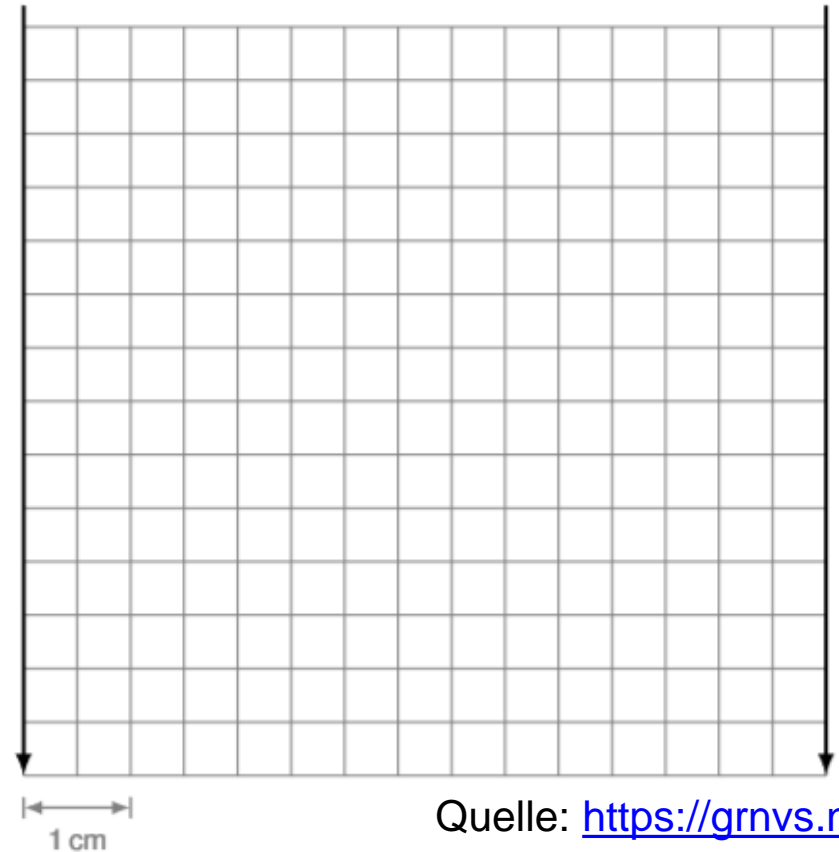
b)\* Berechnen Sie die Ausbreitungsverzögerungen  $t_p(1, 2)$  und  $t_p(2, 3)$  auf den beiden Streckenabschnitten.

c) Zeichnen Sie für ALOHA und 1-persistentes CSMA/CD jeweils ein Weg-Zeit-Diagramm, das den Sendevorgang im Zeitintervall  $t \in [t_0, t_0 + 10 \mu\text{s})$  darstellt. (Maßstab:  $100 \text{ m} \triangleq 1 \text{ cm}$  bzw.  $1 \mu\text{s} \triangleq 5 \text{ mm}$ )

ALOHA



CSMA/CD



# Übungsblatt 4 Aufgabe 2 a-c

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

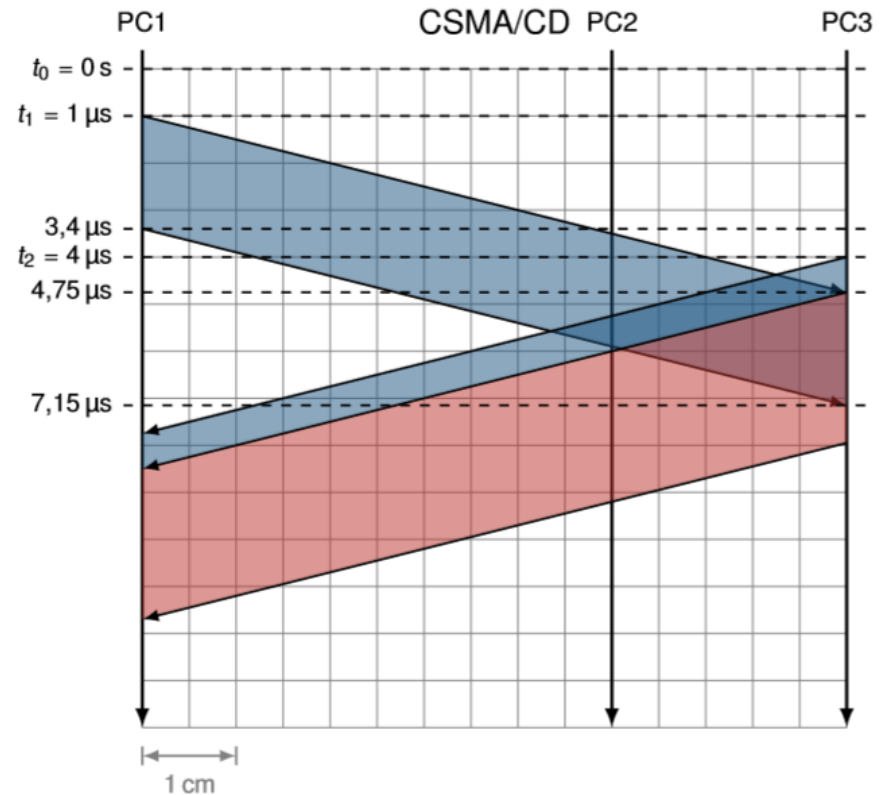
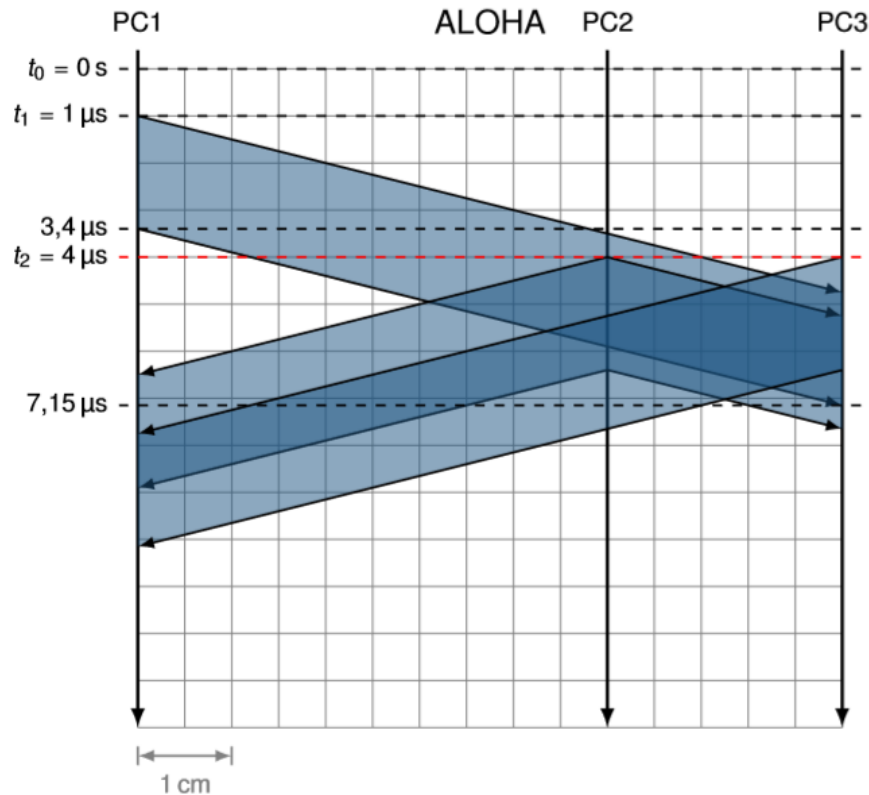
$$t_s = \frac{l}{r} = \frac{3 \cdot 8 \text{ bit}}{10 \cdot 10^6 \text{ bit/s}} = 2,4 \mu\text{s}$$

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

$$t_p(1, 2) = \frac{d_{12}}{\nu c_0} = \frac{500 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2,5 \mu\text{s}$$
$$t_p(2, 3) = \frac{d_{23}}{\nu c_0} = \frac{250 \text{ m}}{\frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,25 \mu\text{s}$$

Quelle: <https://grnvs.net>

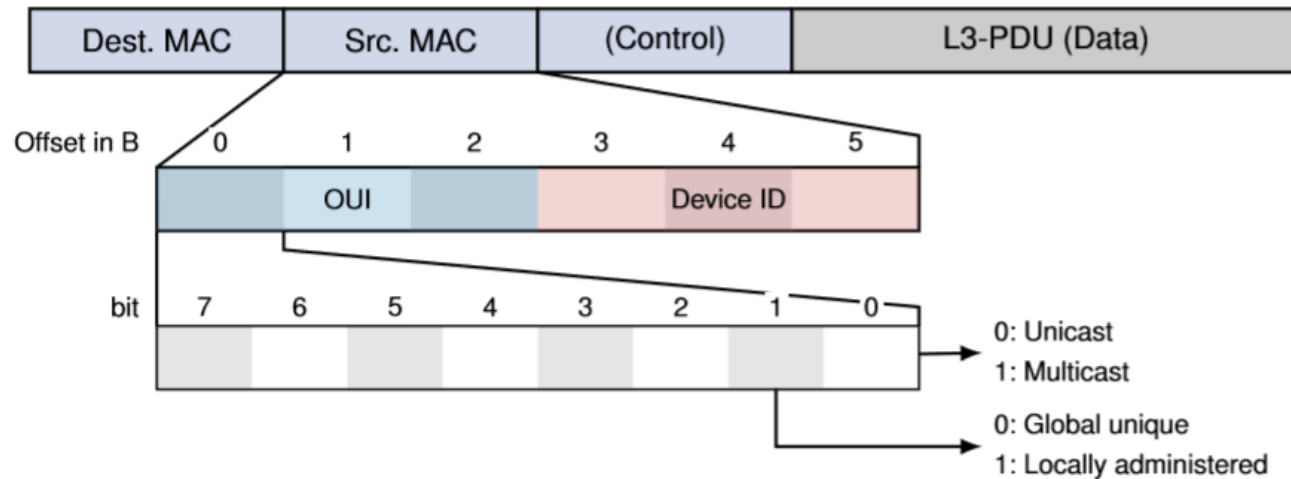
# Übungsblatt 4 Aufgabe 2 a-c



Quelle: <https://grnvs.net>



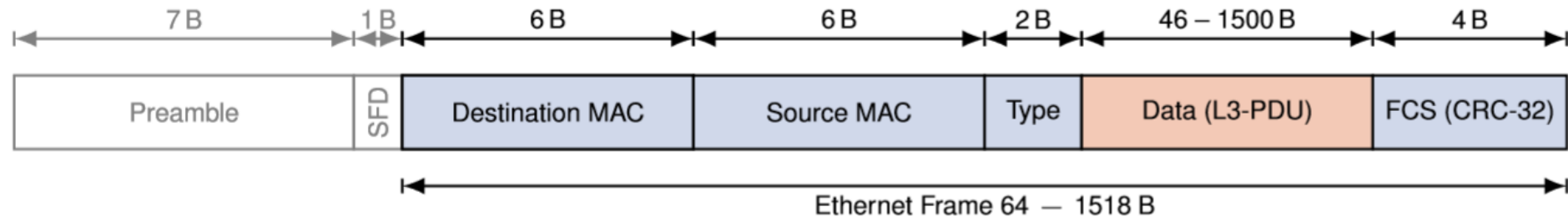
MAC-Adressen aller IEEE 802-Standards (z.B. Ethernet, WLAN, Bluetooth) haben den folgenden Aufbau:



Quelle: <https://grnvs.net>

## Fallbeispiel: IEEE 802.3u (FastEthernet)

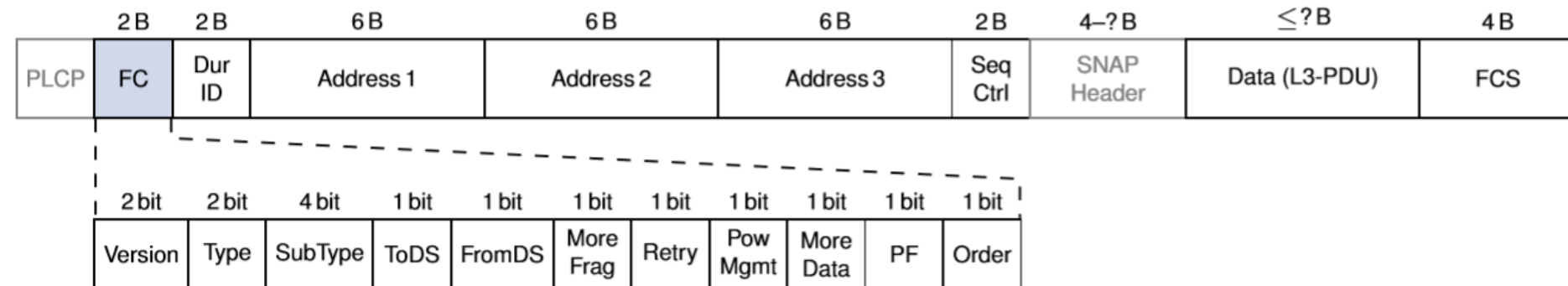
Frame **vor** der 4B5B-Kodierung:



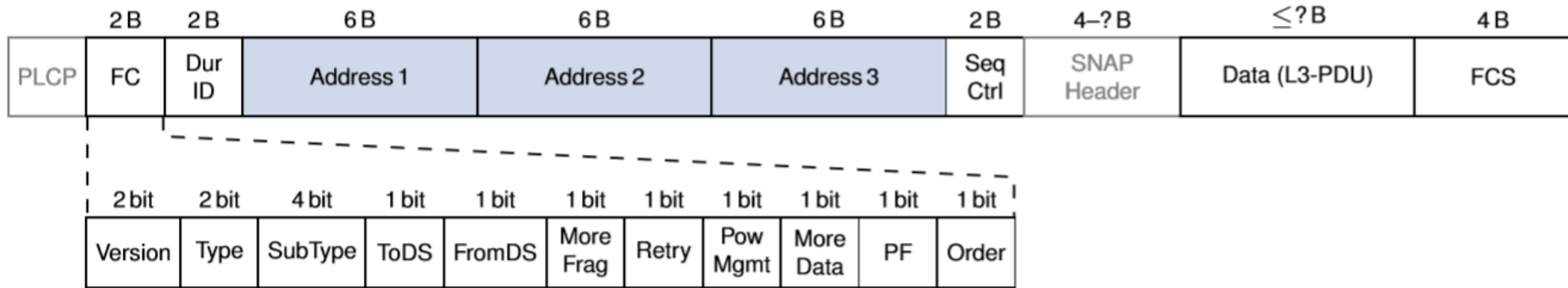
Quelle: <https://grnvs.net>

## Fallbeispiel: IEEE 802.11a/g (WLAN)

Daten-Frame im Infrastructure Mode (d. h. mit Access Point) ohne Verschlüsselung:

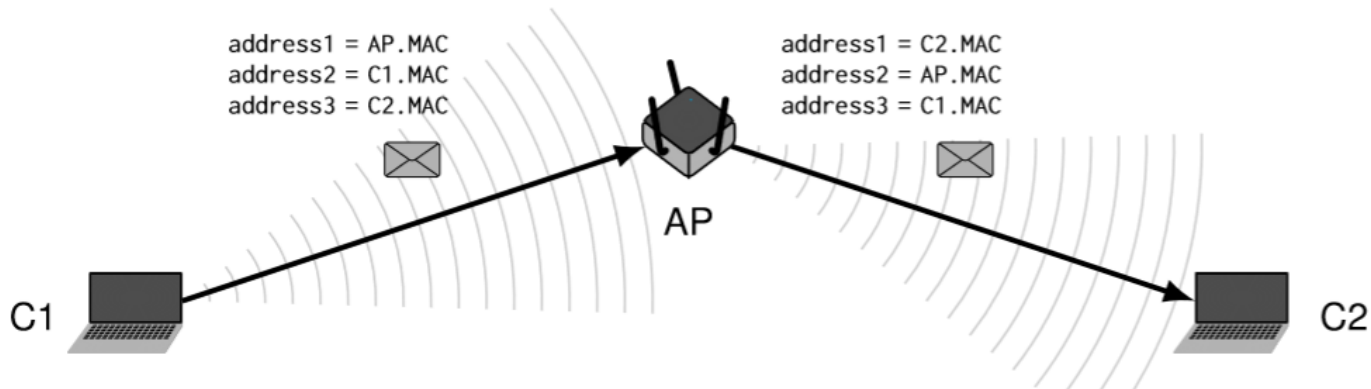


Quelle: <https://grnvs.net>

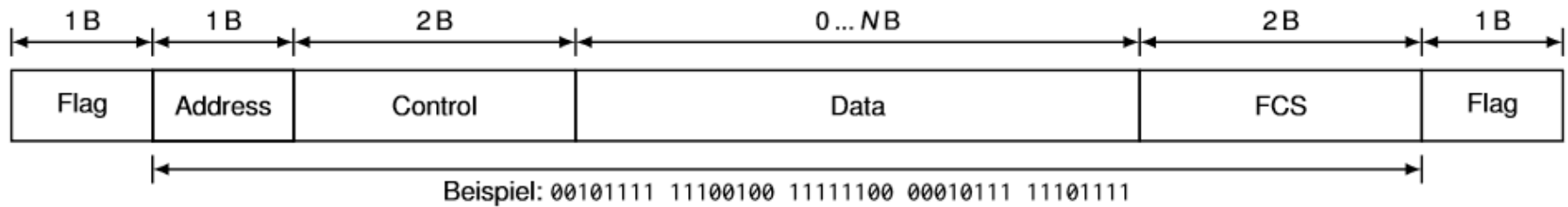


## MAC-Adressen (variable Anzahl, nachfolgend typische Nutzung der Felder)

- Address 1 gibt den direkten Empfänger (Receiver Address, RA) an
- Address 2 gibt die Adresse der übertragenden Station (Transmitter Address, TA) an
- Address 3 gibt den Sender (Source Address, SA) bzw. das Ziel (Destination Address, DA) an



Quelle: <https://grnvs.net>



**Abbildung 1:** Aufbau eines HDLC-Rahmens

HDLC sieht am Anfang und Ende eines jeden Rahmens ein spezielles Begrenzungsfeld (Flag) mit dem Wert 0x7E vor. Es ist also nicht auf die Verwendung zusätzlicher Codes zur Erkennung von Rahmengrenzen angewiesen. Allerdings muss nun sichergestellt werden, dass das Begrenzungsfeld nicht zufällig in einem Rahmen auftaucht. Alle Headerfelder seien von konstanter<sup>1</sup> Länge. Die Länge der Nutzdaten sei stets ein ganzzahliges<sup>2</sup> Vielfaches von 8 bit.

- a)\* In Abbildung 1 ist eine beispielhafte Bitsequenz für den Rahmen ohne Begrenzungsfelder abgebildet. Diese soll nun mittels HDLC übertragen werden. Um zu verhindern, dass das Begrenzungsfeld 0x7E in den Daten auftaucht, soll Bit-Stuffing verwendet werden. Überlegen Sie sich ein möglichst effizientes Verfahren. Beschreiben Sie dieses in Worten.
- b) Geben Sie die gesamte zu übertragende Bitsequenz gemäß dem in Teilaufgabe a) entwickelten Verfahren an. Markieren Sie die eingefügten Bitstellen.
- c)\* Modifizieren Sie den in Abbildung 1 dargestellten HDLC-Header, so dass anstelle von Bit-Stuffing Längenangaben verwendet werden können. Nehmen Sie dabei an, dass maximal  $N = 255$  B Daten pro Frame übertragen werden können.

Quelle: <https://grnvs.net>

# Übungsblatt 5 Aufgabe 3

Die Nachricht 10101100 werde mittels CRC, wie in der Vorlesung eingeführt, gesichert. Als Reduktionspolynom sei  $r(x) = x^3 + 1$  gegeben.

- a)\* Wie lang ist die Checksumme?
- b) Bestimmen Sie die Checksumme für die gegebene Nachricht.
- c) Geben Sie die übertragene Bitfolge an.

Bei der Übertragung trete nun das Fehlermuster 00100000000 auf.

- d)\* Wie lautet die empfangene Bitfolge?
- e) Zeigen Sie, dass der Übertragungsfehler erkannt wird.

Quelle: <https://grnvs.net>

# Aufgabe 5 f) Retake 2012

f)\* Gegeben sei die zu sendende Nachricht 00101101 in binärer Schreibweise sowie das Generatorpolynom  $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ . Bestimmen Sie die mittels CRC gesicherte Nachricht.

g) Wie lang ist die Checksumme?

h) Testen sie ob die CRC den Übertragungsfehler 00100100000 erkennt

Quelle: <https://grnvs.net>

f)\* Gegeben sei die zu sendende Nachricht 00101101 in binärer Schreibweise sowie das Generatorpolynom  $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ . Bestimmen Sie die mittels CRC gesicherte Nachricht.

$$g(x) = 1101$$

$$00101101\ 000 : 1101 = 0011001, \text{ Rest: } 010$$

⇒ zu senden ist 00101101 010

- Ansatz (Anhängen von Nullen + Division durch  $g(x)$  in Binärschreibweise aufstellen) ✓
- Richtiger Rest (Rechnung) ✓
- Angabe der gesamten zu sendenden Nachricht ✓

Quelle: <https://grnvs.net>



a)\* Begründen Sie, ob mit Hilfe einer CRC-Checksumme, welche aus dem Generatorpolynom  $g(x) = x^5 + x^2 + 1$  erzeugt wurde, Burstfehler der Länge 4 erkannt werden.

Quelle: <https://grnvs.net>

a)\* Begründen Sie, ob mit Hilfe einer CRC-Checksumme, welche aus dem Generatorpolynom  $g(x) = x^5 + x^2 + 1$  erzeugt wurde, Burstfehler der Länge 4 erkannt werden.

Ja, da  $g(x)$  von Grad von 5 ist (und irreduzibel ist) können Burstfehler bis Länge 5 erkannt werden. ✓

Quelle: <https://grnvs.net>



c)\* Bestimmen Sie die CRC-Summe der Nachricht 10011011. Das Generatorpolynom sei  $g(x) = x^2 + 1$ .

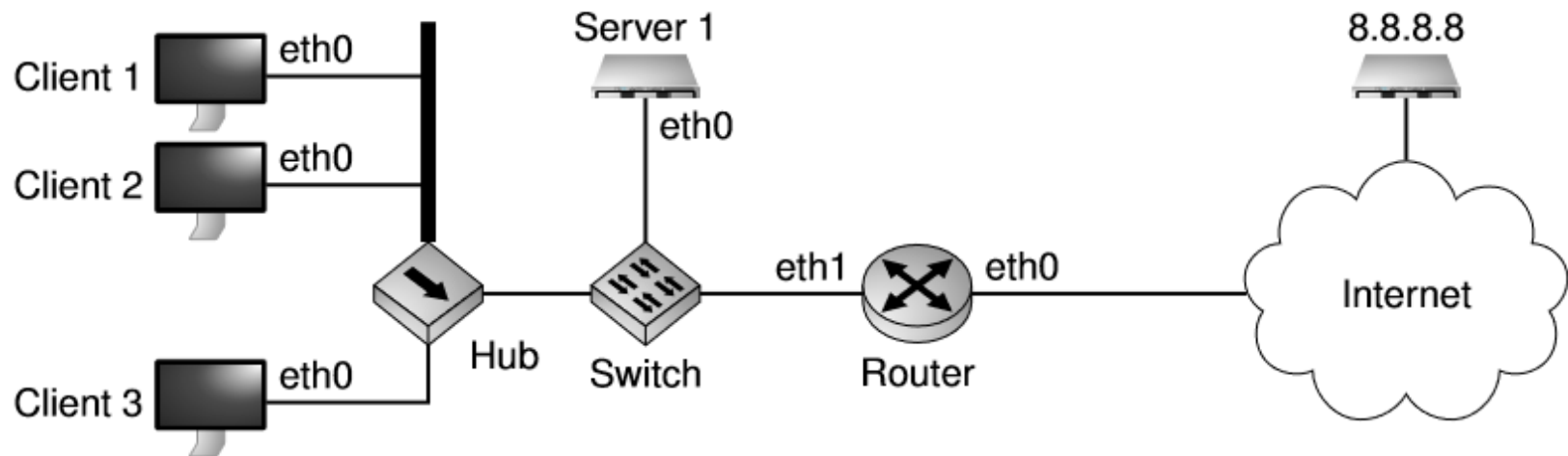
Das Generatorpolynom in binärer Schreibweise: 101 ✓

10011011 00 : 101 = 1011011, Rest 010

Richtiger Rest ✓ , Anhängen der beiden Nullen an die zu übertragende Bitfolge ✓

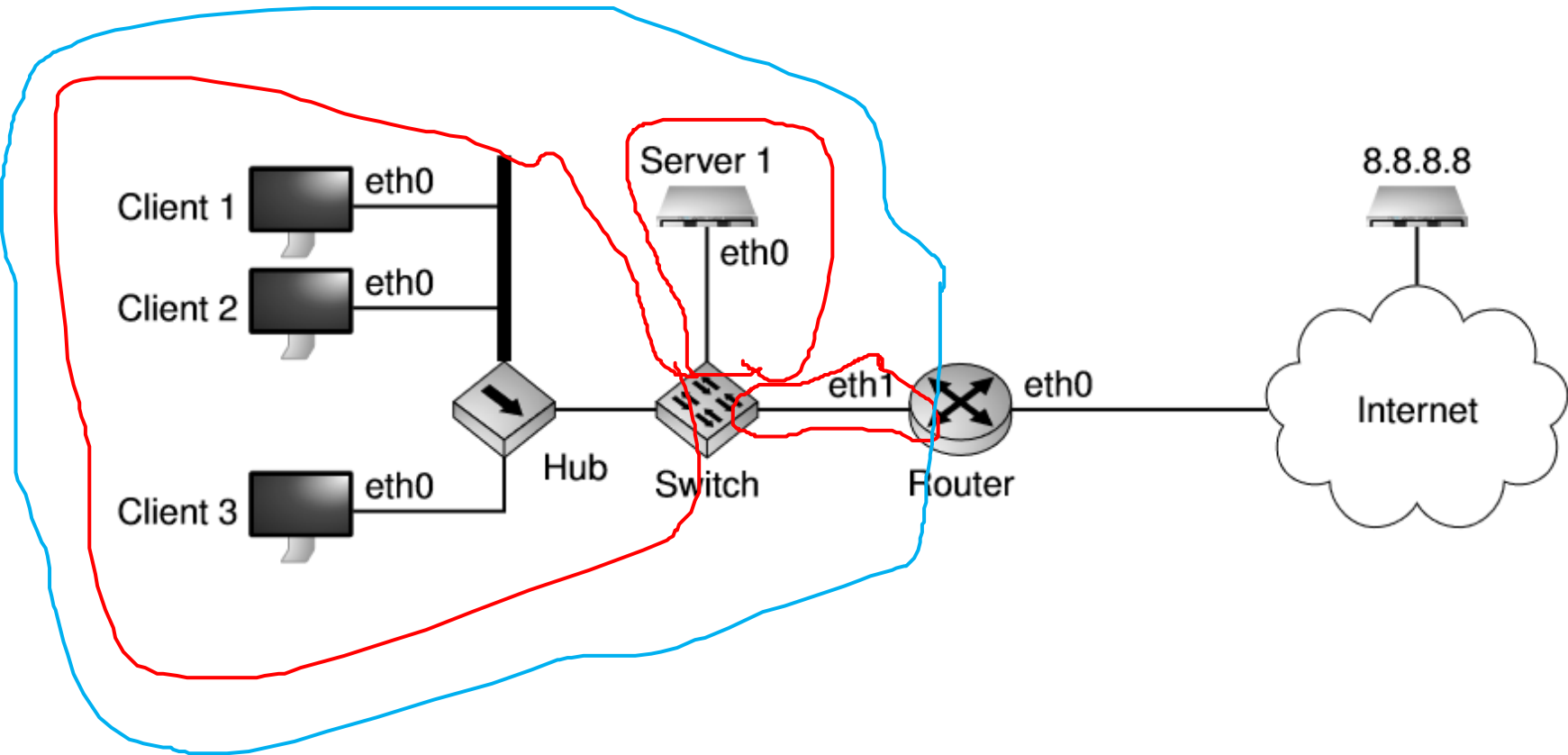
Quelle: <https://grnvs.net>

# Kollisions und Broadcastdomänen



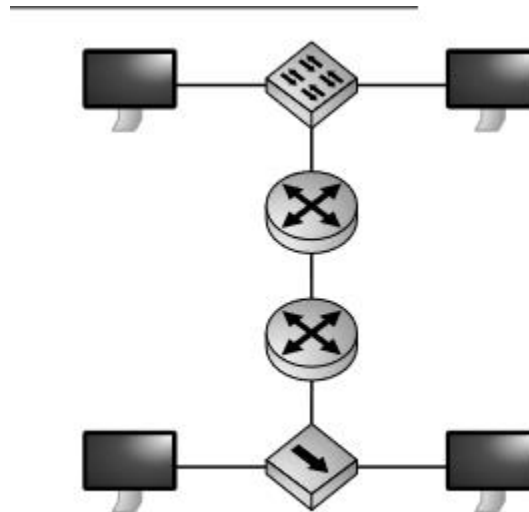
Quelle: <https://grnvs.net>

# Kollisions und Broadcastdomänen



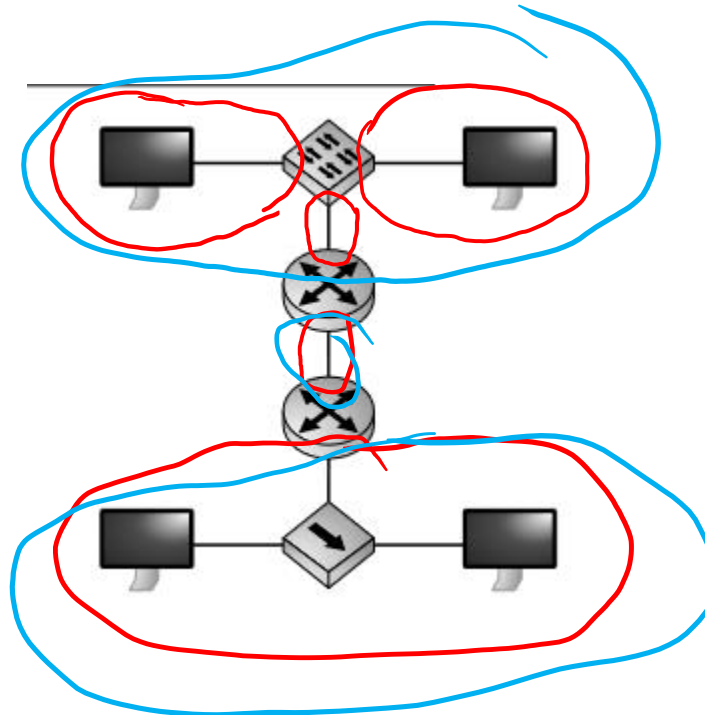
Quelle: <https://grnvs.net>

# Kollisions und Broadcastdomänen



Quelle: <https://grnvs.net>

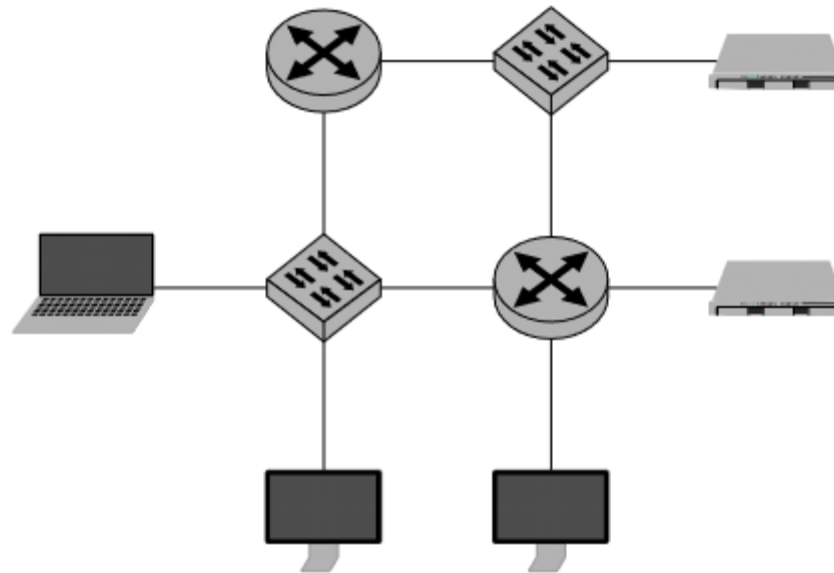
# Kollisions und Broadcastdomänen



Quelle: <https://grnvs.net>

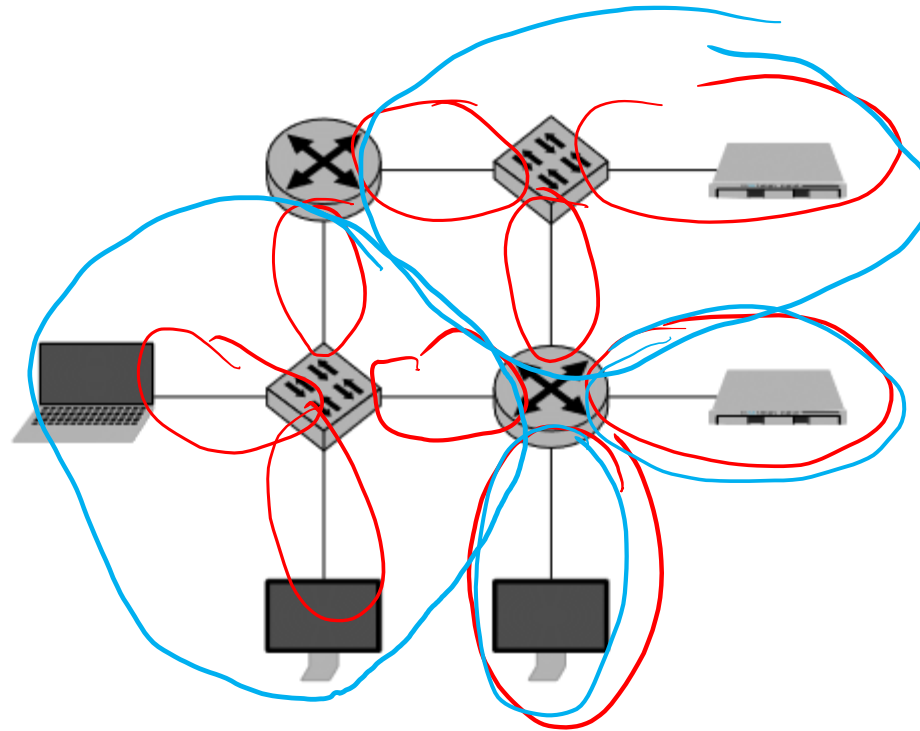


# Kollisions und Broadcastdomänen



Quelle: <https://grnvs.net>

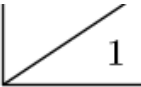
# Kollisions und Broadcastdomänen



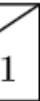
Quelle: <https://grnvs.net>



c)\* Welche Metrik wird optimiert, um einen Shortest Path Tree zu erzeugen?



d)\* Welche Metrik wird optimiert, um einen Minimum Spanning Tree zu erzeugen?



Quelle: <https://grnvs.net>

c)\* Welche Metrik wird optimiert, um einen Shortest Path Tree zu erzeugen?

Summe der Kantengewichte von einer Wurzel zu jeweils einem anderen Knoten wird minimiert. ✓

d)\* Welche Metrik wird optimiert, um einen Minimum Spanning Tree zu erzeugen?

Gesamtsumme der Kantengewichte wird minimiert. ✓

Quelle: <https://grnvs.net>

# Aufgabe 1 in Endterm 2011 (Schicht 1 Wdh.)

Quelle: <https://grnvs.net>