



#### Hinweise zur Personalisierung:

- Ihre Prüfung wird bei der Anwesenheitskontrolle durch Aufkleben eines Codes personalisiert.
- Dieser enthält lediglich eine fortlaufende Nummer, welche auch auf der Anwesenheitsliste neben dem Unterschriftenfeld vermerkt ist.
- Diese wird als Pseudonym verwendet, um eine eindeutige Zuordnung Ihrer Prüfung zu ermöglichen.

## Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

**Klausur:** IN0010 / Retake

**Datum:** Freitag, 7. Oktober 2022

**Prüfer:** Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

**Uhrzeit:** 10:45 – 12:15

Bevor wir mit dem Verlesen der Bearbeitungshinweise fortfahren, bitten wir Sie die nachfolgenden Fragen zu beantworten. Mit diesen Angaben helfen uns, den Lernerfolg in Abhängigkeit einzelner Vorlesungsbestandteile zu untersuchen. Die Angaben sind **freiwillig** und fließen **nicht in die Bewertung** ein. Um eine Beeinflussung auszuschließen, wird diese Seite während der Korrektur nicht zugänglich gemacht.

a) Haben Sie die **Vorlesung** besucht?

1 (immer)     2     3     4     5 (nie)

b) Haben Sie sich die **Aufzeichnung des Vorjahres** angesehen?

1 (immer)     2     3     4     5 (nie)

c) Haben Sie die **Tutorübungen** besucht?

1 (immer)     2     3     4     5 (nie)

d) Haben Sie am **Repetitorium** teilgenommen?

1 (immer)     2     3     4     5 (nie)

e) Haben Sie sich die **Aufzeichnung des Repetitoriums** angesehen?

1 (immer)     2     3     4     5 (nie)

### Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **16 Seiten** mit insgesamt **7 Aufgaben** und einer Formelsammlung (Cheatsheet). Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Klausur beträgt 90 Punkte.
- Das Heraustrennen von Seiten aus der Prüfung ist untersagt.
- Als Hilfsmittel sind zugelassen:
  - ein **nicht-programmierbarer Taschenrechner**
  - ein **analoges Wörterbuch** Deutsch ↔ Muttersprache **ohne Anmerkungen**
- Mit \* gekennzeichnete Teilaufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorheriger Teilaufgaben lösbar.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen der Lösungsweg erkennbar ist.** Auch Textaufgaben sind **grundsätzlich zu begründen**, sofern es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Schreiben Sie weder mit roter / grüner Farbe noch mit Bleistift.
- Schalten Sie alle mitgeführten elektronischen Geräte vollständig aus, verstauen Sie diese in Ihrer Tasche und verschließen Sie diese.

Hörsaal verlassen von \_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_ / Vorzeitige Abgabe um \_\_\_\_\_

## Aufgabe 1 Multiple Choice (18 Punkte)

Die folgenden Aufgaben sind Multiple Choice / Multiple Answer, d. h. es ist jeweils mind. eine Antwortoption korrekt. Teilaufgaben werden mit 1 Punkt pro richtigem und –1 Punkt pro falschem Kreuz bewertet. Fehlende Kreuze haben keine Auswirkung. Die minimale Punktzahl pro Teilaufgabe beträgt 0 Punkte.

Kreuzen Sie richtige Antworten an



Kreuze können durch vollständiges Ausfüllen gestrichen werden



Gestrichene Antworten können durch nebenstehende Markierung erneut angekreuzt werden



a)\* Gehen Sie von den Autonomen Systemen (ASen) aus Abbildung 1.1 aus. Die Routen zu welchen ASen wird Vodafone an Orange über die Peering Verbindung mitteilen?

- AT&T     Vodafone     Orange     Vodafones Kunden

b)\* Gibt Vodafone die Route zu den Kunden von Orange an AT&T weiter? Geben Sie nur die wahrscheinlichste Antwort an.

- Ja, so wurde es im BGP definiert.  
 Ja, um mehr Geld von seinen Kunden einzunehmen.  
 Nein, so wurde es im BGP definiert.  
 Nein, um Last auf dem eignen Netz zu vermeiden.  
 Nein, Vodafone kennt die Kunden gar nicht.  
 Ja, um die Last im Internet besser zu verteilen.

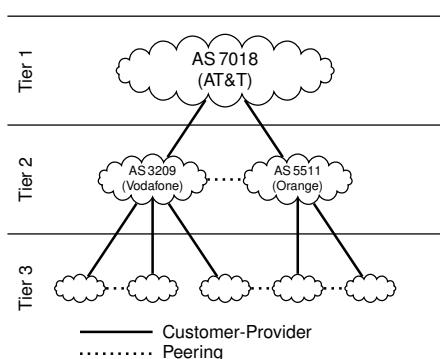


Abbildung 1.1: Vereinfachte Darstellung Autonomer Systeme

c)\* Welche der folgenden Adressen werden global geroutet?

- |                                    |                                      |                                     |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ::1       | <input type="checkbox"/> 10.11.12.13 | <input type="checkbox"/> fec0::1    |
| <input type="checkbox"/> 128.0.0.1 | <input type="checkbox"/> fea0::1     | <input type="checkbox"/> 127.8.9.10 |

d)\* Die Pfad-MTU betrage 1500 B. Auf Schicht 3 werde IPv4 verwendet. Wie groß sollte die MSS gewählt werden, sofern keine TCP Optionen verwendet werden?

- 1500 B     1452 B     1540 B     1520 B     1480 B     1460 B

e)\* Gegeben Sei ein Leitungscode, der 3 bit pro Symbol kodiert. Es soll eine Datenrate von 10 Mbit/s erzielt werden. Bestimmen Sie die minimal notwendige Bandbreite unter den gegebenen Bedingungen.

- anderer Wert     1,33 MHz     0,67 MHz     0,33 MHz     3,33 MHz     1,67 MHz

f)\* Was versteht man unter Kanalkodierung?

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> nichts davon                 | <input type="checkbox"/> Gezieltes Hinzufügen von Redundanz                         |
| <input type="checkbox"/> Die Entfernung von Redundanz | <input type="checkbox"/> Darstellung von Daten durch Abfolge von Sendegrundimpulsen |

g)\* Sei  $n$  die Länge der Prüfsumme, also  $n = \text{grad}(r(x))$ , mit  $n > 1$ . Welche der folgenden Fehler werden, unabhängig der konkreten Wahl des Reduktionspolynoms, **alle**, **immer** und **zuverlässig** erkannt?

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Fehler, die aus mehreren Bursts bestehen | <input type="checkbox"/> Burst-Fehler, die länger sind als $n$                  |
| <input type="checkbox"/> Isolierte 2 bit-Fehler                   | <input type="checkbox"/> 1 bit-Fehler   |
| <input type="checkbox"/> Burst-Fehler, die kürzer sind als $n$    | <input type="checkbox"/> Fehler, die ein Vielfaches des Reduktionspolynoms sind |

h)\* Bei welcher/n der folgenden Adressierungsarten kann es mehr als einen Empfänger geben?

- Broadcast     Unicast     Anycast     Multicast

i)\* Es gebe 30 Hosts in einem IPv4 basiertem Netzwerk. Welche Subnetzmaske beschreibt das kleinstmögliche Subnetz, sodass allen Hosts eine IPv4-Adresse zugewiesen werden kann?

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> 255.255.255.248 | <input type="checkbox"/> 255.255.255.224 | <input type="checkbox"/> 255.255.255.254 |
| <input type="checkbox"/> 255.255.255.240 | <input type="checkbox"/> 255.255.255.192 | <input type="checkbox"/> 255.255.255.252 |

j)\* Welche der folgenden Eigenschaften gelten für Link-State Routing Protokolle?

- Das Funktionsprinzip ähnelt dem Algorithmus von Djikstra
- Router bestimmen aus den ausgetauschten Informationen einen minimalen Spannbaum
- Router tauschen regelmäßig Statusnachrichten aus
- Router tauschen untereinander lediglich kumulierte Kosten aus
- Router haben keine Information über Netzwerktopologie
- Das Funktionsprinzip ähnelt dem Algorithmus von Bellman-Ford

k)\* Sie möchten den folgenden Datenstrom komprimieren und verwenden dafür einen Huffman-Code. Der Knoten zu welchem Zeichen hat im zugehörigen Huffman-Baum die geringste Tiefe?

DADCCBDBCD

A

B

C

D

l)\* Gegeben sei das Zeitsignal  $s(t)$  mit  $s(t) = 1,5 \cdot \cos(4\omega t) + 3$ . Dabei gilt  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ,  $T = 1$  s. Welche der folgenden Aussage(n) über die Koeffizienten der zu  $s(t)$  gehörenden Fourierreihe ist/sind wahr?

- |                                    |                                    |                                      |                                      |                                      |                                      |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> $a_0 = 4$ | <input type="checkbox"/> $b_0 = 4$ | <input type="checkbox"/> $a_4 = 1,5$ | <input type="checkbox"/> $a_0 = 1,5$ | <input type="checkbox"/> $a_3 = 4$   | <input type="checkbox"/> $b_4 = 1,5$ |
| <input type="checkbox"/> $a_0 = 3$ | <input type="checkbox"/> $b_0 = 6$ | <input type="checkbox"/> $a_0 = 6$   | <input type="checkbox"/> $b_3 = 1,5$ | <input type="checkbox"/> $a_3 = 1,5$ | <input type="checkbox"/> $b_3 = 4$   |

## Aufgabe 2 Kurzaufgaben (4.5 Punkte)

a)\* Gegeben sei die IPv4-Adresse 203.0.113.4. Geben Sie den entsprechenden FQDN des PTR Records an.

0  
1

b)\* Gegeben sei die IPv4-Subnetz 192.168.240.15/20. Begründen Sie, warum sich dieses Subnetz nicht mit dem Subnetz 192.168.223.15/20 zu einem /19 Supernetz vereinigen lässt.

0  
1

c)\* Gegeben sei die IPv4-Subnetz 192.168.240.15/20. Mit welchem anderen /20 Netz lässt sich dieses zu einem /19 Supernetz vereinigen?

0  
1

d)\* Gegeben sei die IPv6-Adresse 2001:0db8:0000:0000:0110:0000:0000:0123. Geben Sie die Adresse in der üblichen, vollständig gekürzten Form an.

0  
1

## Aufgabe 3 Frequenzanalyse (16.5 Punkte)

Gegeben sei der in Abbildung 3.1 dargestellte Sendeimpuls.

- a)\* Wie heißt dieser Sendeimpuls geläufiger Weise? (ohne Begründung)
  - b)\* Wie wird mittels dieses Impulses eine logische 0 bzw. 1 kodiert? (Begründung oder Skizze)

1

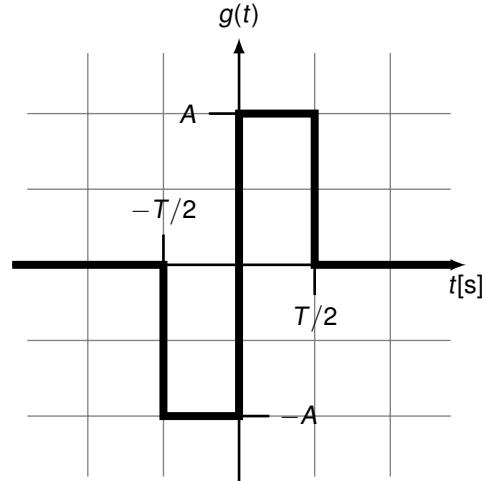
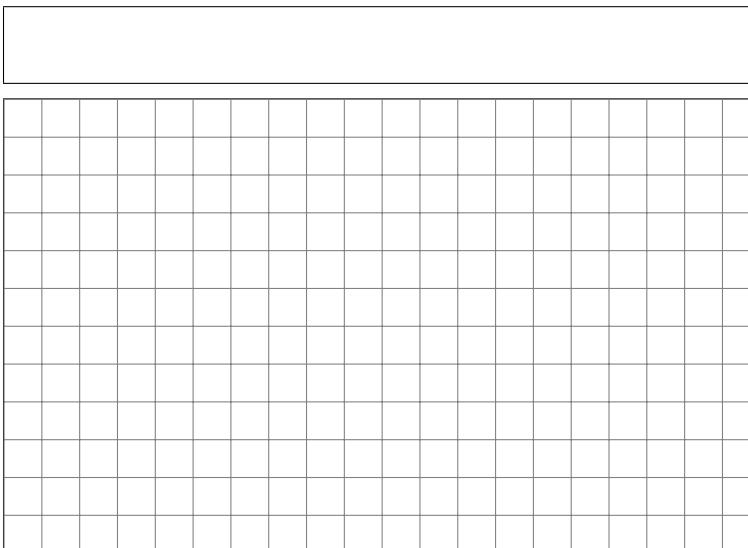


Abbildung 3.1: Sendeimpuls

- c)\* Beschreiben Sie kurz einen **Vorteil** dieses Impulses.

0  
1

For more information about the study, please contact Dr. John Smith at (555) 123-4567 or via email at [john.smith@researchinstitute.org](mailto:john.smith@researchinstitute.org).

- d)\* Beschreiben Sie kurz einen **Nachteil** dieses Impulses.


Im Folgenden soll das Frequenzverhalten dieses Sendeimpulses untersucht werden.

- e)\* Begründen Sie, ob hierzu eine Fouriertransformation oder eine Fourierreihe Verwendung findet.

0	
1	

For more information about the study, please contact Dr. John Smith at (555) 123-4567 or via email at [john.smith@researchinstitute.org](mailto:john.smith@researchinstitute.org).

- f)\* Geben Sie einen analytischen Ausdruck für den in Abbildung 3.1 dargestellten Sendeimpuls an.

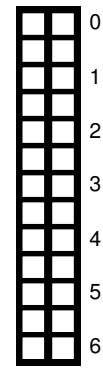
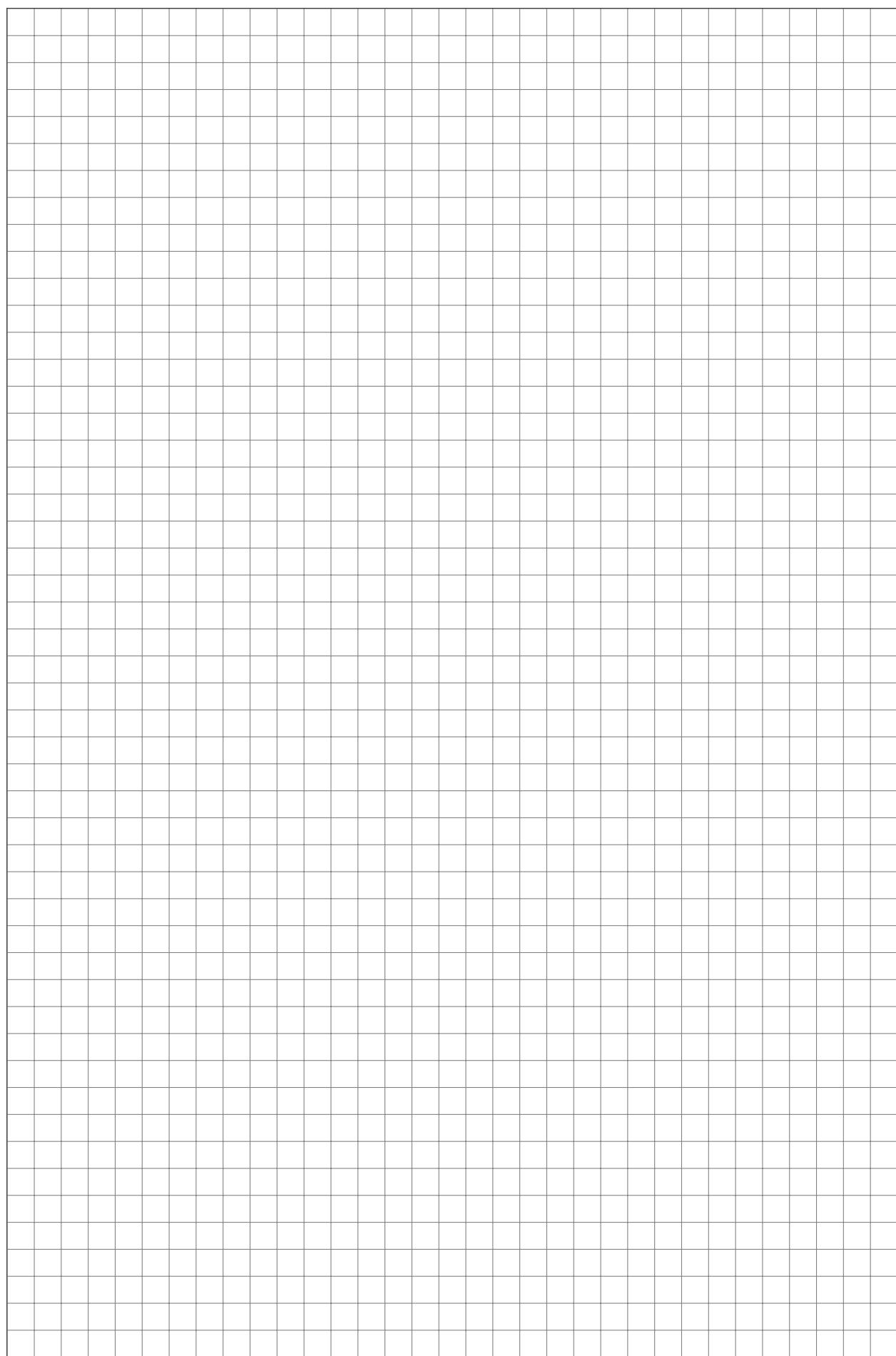
0		
1		

- g)\* Weswegen kann es sinnvoll sein, das Spektrum eines Sendeimpulses als Betrag anzugeben?

A 3x6 grid of 18 empty square boxes arranged in 3 rows and 6 columns.

For more information about the study, please contact Dr. John Smith at (555) 123-4567 or via email at [john.smith@researchinstitute.org](mailto:john.smith@researchinstitute.org).

h) Bestimmen Sie das Spektrum. Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit wie möglich.



## Aufgabe 4 Die Clacks (14.5 Punkte)

Die Clacks sind ein Netzwerk aus Türmen in Terry Pratchetts Scheibenwelt. Sie bilden dort eines der ersten Telekommunikationsnetzwerke und sie werden beschrieben als: Drei Stockwerke groß, gebaut aus Holz und sehen aus als wären sie in Eile zusammengebaut, wahrscheinlich weil es so war. Eine Laterne im inneren ermöglicht sogar eine Übermittlung bei Nacht.

Eine Nachricht wird übermittelt, indem einzelne Symbole durch gezieltes Öffnen und Schließen der **2×4 Klappen** angezeigt werden (siehe Abbildung 4.1), welche von Mitarbeitern auf einem **12 km** entfernten Turm beobachtet und von dort gegebenenfalls weitergeleitet wird. Ein Symbol einzustellen dauert **5 s**.

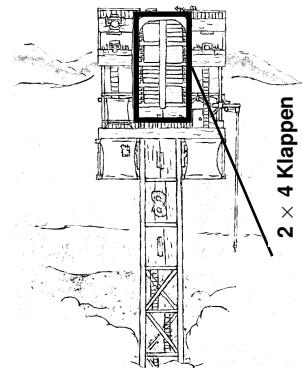


Abbildung 4.1: Ein Clack<sup>1</sup>

0  
1

a)\* Wie viele Bit können mit jedem Symbol übertragen werden? Der Rechenweg muss erkenntlich sein.

0  
1

b)\* Berechnen Sie den Informationsgehalt eines beliebigen Symbols unter der Annahme, dass alle Symbole dieselbe Auftrittswahrscheinlichkeit besitzen.

0  
1

c) Bestimmen Sie die erzielbare Datenrate in B/s.

0  
1

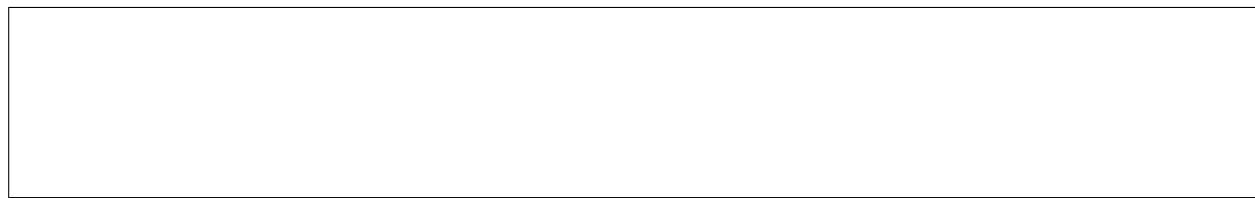
d)\* Der Patrizier von Ankh-Morpork möchte eine 47 Zeichen lange Nachricht an seinen Nachbarstaat schicken. Nachrichten werden ASCII-codiert und mit NUL beendet. Die Clacks verwenden ein zusätzliches (von ASCII ungenutztes) Bit pro Symbol zur Fehlerkennung. Wie viele Byte benötigt die Nachricht?

0  
1

e) Berechnen Sie die Serialisierungszeit im Fall von Nachrichtenvermittlung.

<sup>1</sup>Basierend auf "Clacks Tower, small" by Carl Mitchell (CC BY-NC-ND 3.0)

f) Das ursprüngliche Design der Clacks umfasste nur  $2 \times 3$  Klappen. Wozu hätte man die zusätzlichen 2 Klappen noch verwenden können, außer einfach mehr Symbole darzustellen? Begründen Sie.



<input type="checkbox"/>	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1

Im Folgenden wollen wir die Übertragungszeit bestimmen, falls anstelle von Nachrichtenvermittlung Paketvermittlung zum Einsatz kommt. Hierzu nehmen wir an, dass jeweils 10 B Nutzdaten ein Paket bilden. Jedem Paket werde ein 2 B langer Header vorangestellt.

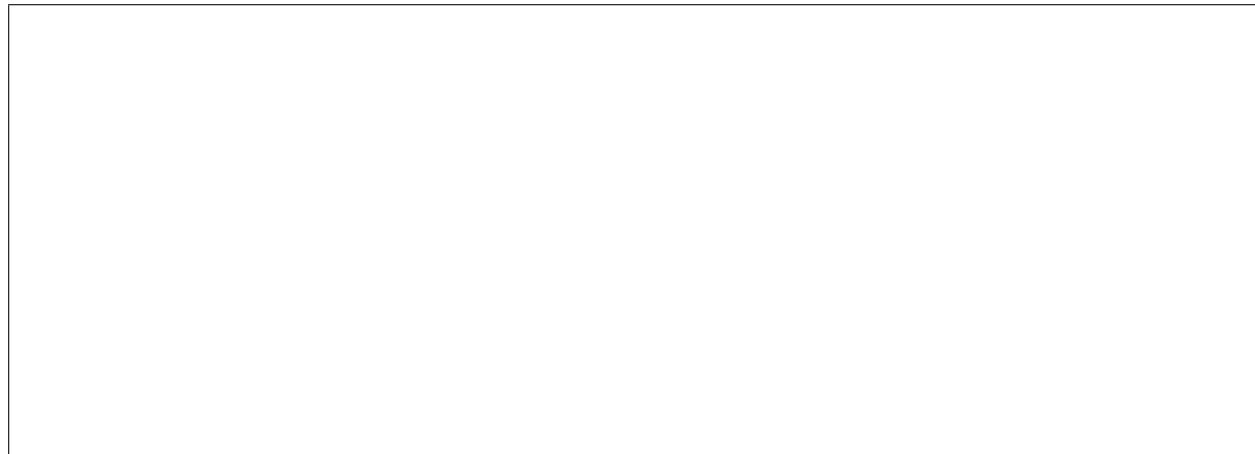
g) Berechnen Sie die Anzahl der benötigten Pakete.



<input type="checkbox"/>	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1

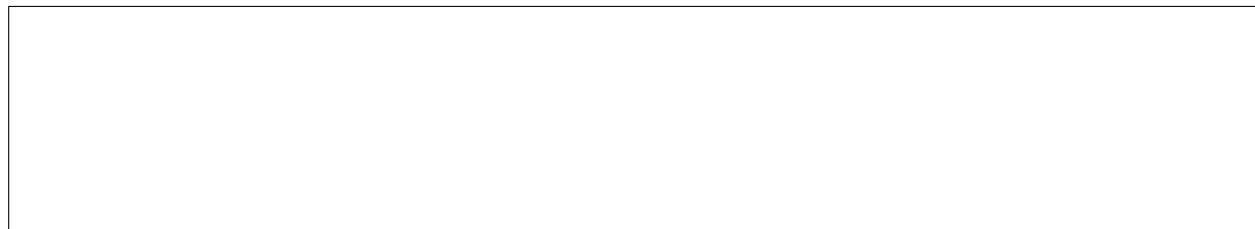
Bis zum Ziel muss die Nachricht 5 Clacks (inklusive Start und Ziel) passieren. Deren Abstand ist je 12 km. Es gibt keine Bestätigungen, aber ein Paket wird vollständig gelesen bevor es weitergeleitet wird.

h) Wie lange dauert es bis die Nachricht ihr Ziel erreicht?



<input type="checkbox"/>	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1
<input type="checkbox"/>	2
<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	4

i)\* Erläutern Sie, welchen Vorteil Paketvermittlung gegenüber **Nachrichtenvermittlung** hat.



<input type="checkbox"/>	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1

j)\* Erläutern Sie, welchen Vorteil Paketvermittlung gegenüber **Leitungsvermittlung** hat.



<input type="checkbox"/>	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1



## Aufgabe 6 Wohnheimsnetz goes Internet (15.5 Punkte)

Gegeben sei ein Studentenwohnheim mit mehreren Häusern, deren Netzwerk über Ethernet und IPv4 aufgebaut ist. Jedes Haus hat dafür ein eigenes privates /24 Präfix. Das Hausnetz für Haus x ist durch das Präfix  $10.0.x.0/24$  beschrieben. Alle Bewohner eines Hauses sind über einen Switch miteinander verbunden, der mit dem jeweiligen Gateway des Hauses verbunden ist. Diese Router sind über das Transportnetz  $10.0.255.0/24$  miteinander verbunden. Ein Ausschnitt des Netzes ist in Abbildung 6.1 gegeben.

Dem Wohnheim wurde die öffentliche IP Adresse  $203.0.113.23$  zugewiesen. Für die Zuordnung zwischen öffentlichen und privaten IP-Adressen verfügt der NAT-fähige Router über eine Abbildungstabelle, die die Beziehung zwischen lokalem und globalem Port speichert, sowie die IP-Adresse des internen Hosts. Der NAT-Router ist mit dem "Internet" verbunden. Dieses ist als Wolke dargestellt und hat eine nicht näher bestimmte Anzahl an Hops zwischen  $R_x$  und  $R_y$ .

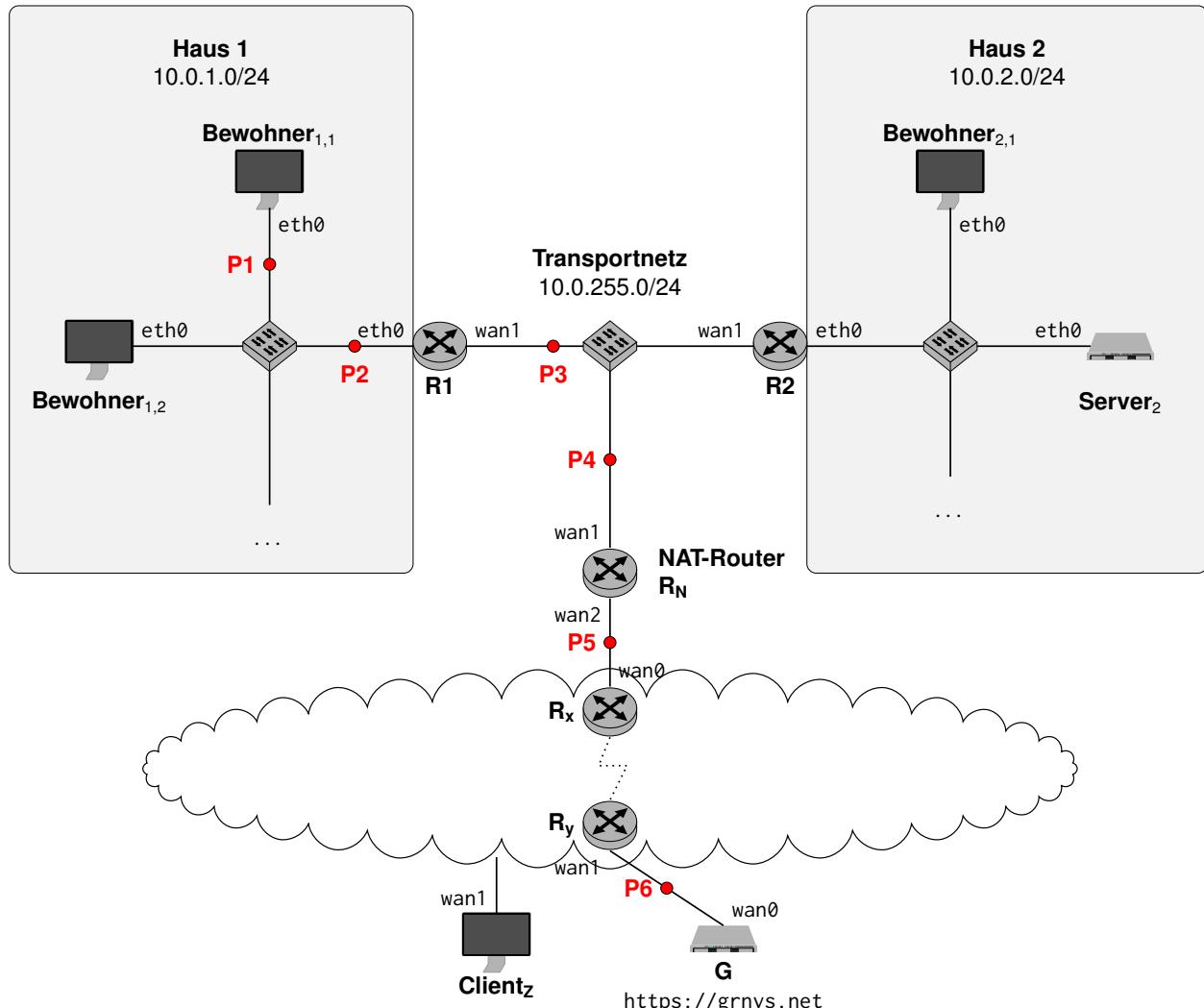


Abbildung 6.1: Ausschnitt des Wohnheimnetzes

a)\* Nennen Sie **zwei** Möglichkeiten den Hosts/Bewohnern IP-Adressen zuzuweisen?

0
1

0  
½

b) Welche *zusätzliche* Möglichkeit der Zuweisung gibt es bei IPv6?

0  
1

c)\* Warum muss es einen NAT-fähigen Router geben?

0  
1

d) Welchen Vorteil bietet diese Architektur mit dem NAT?

0  
1

e)\* Wieviele Einträge kann die Abbildungstabelle des NAT-Routers für TCP maximal haben?

Bewohner<sub>1,1</sub> möchte nun die Website mit der URL <https://grnvs.net> zugreifen und kennt dessen IP-Adresse 198.41.0.4.

0  
½

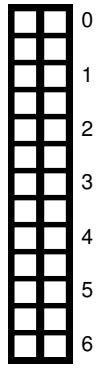
f)\* An welchen TCP-Port wird der Request wahrscheinlich adressiert? (ohne Begründung)

0  
½

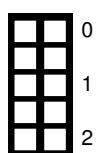
g)\* Welche HTTP Methode wird wahrscheinlich verwendet? (ohne Begründung)

h) Wir betrachten nun das Versenden des Requests. Geben Sie dafür die entsprechenden Headerfelder in der Tabelle an den in der Grafik markierten Punkten P1 bis P6 an. Verwenden Sie dafür die folgende Schreibweise: MAC(k.iface) für die MAC-Adresse des Interfaces iface von Knoten k, z.B. MAC(R7.eth9) für die MAC-Adresse das dem Interface eth9 am Router R7 zugewiesen ist; analog IP(k.iface) für die IP-Adresse. Bewohner<sub>x,y</sub> können Sie mit  $B_{x,y}$  abkürzen. Die Ports geben Sie bitte als Zahl an.

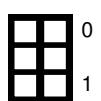
SRC-MAC	DST-MAC	SRC-IP	DST-IP	SRC-PORT	DST-PORT
P1					
P2					
P3					
P4					
P5					
P6					



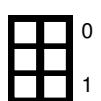
i)\* Wir nehmen nun an, dass der Host aufgrund von Verbindungsproblemen nicht erreichbar ist und der Router  $R_x$  eine ICMP Fehlermeldung zurückschickt. Wird diese bei Bewohner<sub>1,1</sub> ankommen? Begründen Sie.



j)\* In Haus 2 betreibt ein Bewohner eigenen Server (**Server**<sub>2</sub>). Client<sub>Z</sub> von außerhalb des Wohnheims möchte diesen Webserver in Haus 2 erreichen. Begründen Sie, warum das nicht möglich ist.



k) Wie kann dieses Problem umgangen werden?



## Aufgabe 7 Stau im Fluss (14 Punkte)

In dieser Aufgabe betrachten wir die Auswirkungen von Störungen im Netzwerk auf die Transportschicht. Dabei wird eine vereinfachte Form von TCP Reno betrachtet, wie sie auch in der Vorlesung vorgestellt wurde.

0	
1	

a)\* Erklären Sie das Ziel der Staukontrolle bei TCP, sowie deren Umsetzung.

0	
1	

b)\* Erklären Sie das Ziel der Flusskontrolle bei TCP, sowie deren Umsetzung.

Wir betrachten nun eine Folge von Ereignissen und wie sich diese auf die Größe des Empfangsfensters auswirkt. Im untenstehenden Diagramm sind die Fenstergröße  $w_c$  in Vielfachen der MSS angeben, die Zeit in Vielfachen der RTT zwischen den kommunizierenden Hosts.

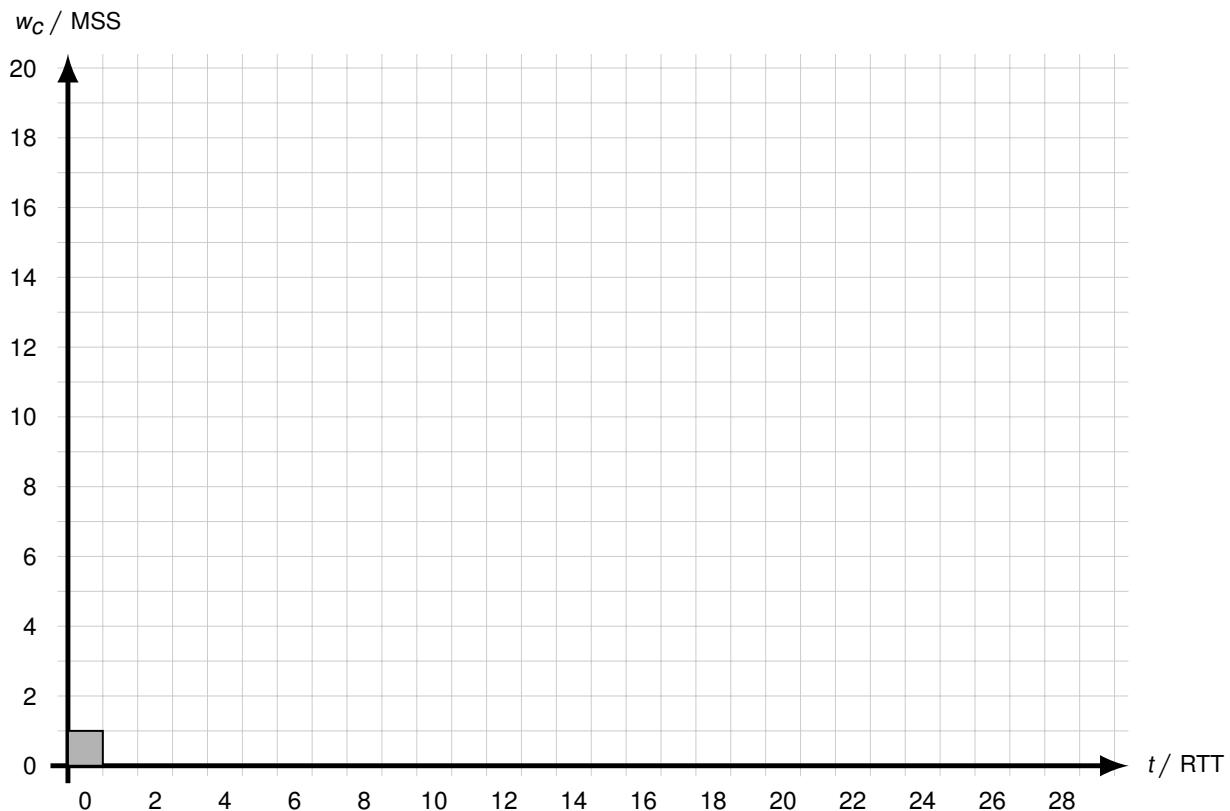
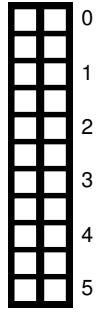


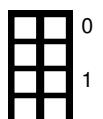
Abbildung 7.1: Vordruck für Aufgaben c) und f). Einen weiteren Vordruck finden Sie hinten. Bitte markieren Sie dies ggfs. deutlich.

Es gilt  $w_c(0) = 1$ . Wir nehmen an, dass die Bandbreite auf dem Pfad im Netzwerk maximal 15 MSS/RTT beträgt. Es kommt vorerst zu keinen Timeouts.

c)\* Zeichnen Sie den Verlauf von  $w_c$  für  $t < 18$  RTT ein und begründen Sie.

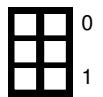


d) Wenn man vom Beginn absieht, mit welcher effektiven Übertragungsrate kann die Kommunikation stattfinden, wenn keine anderen Störungen auftreten? Geben Sie das Ergebnis in Abhängigkeit der MSS an.

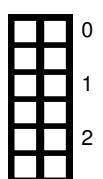


Bei  $t = 18$  RTT tritt nun ein Timeout auf.

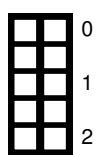
e)\* Was könnte eine Ursache dafür sein?



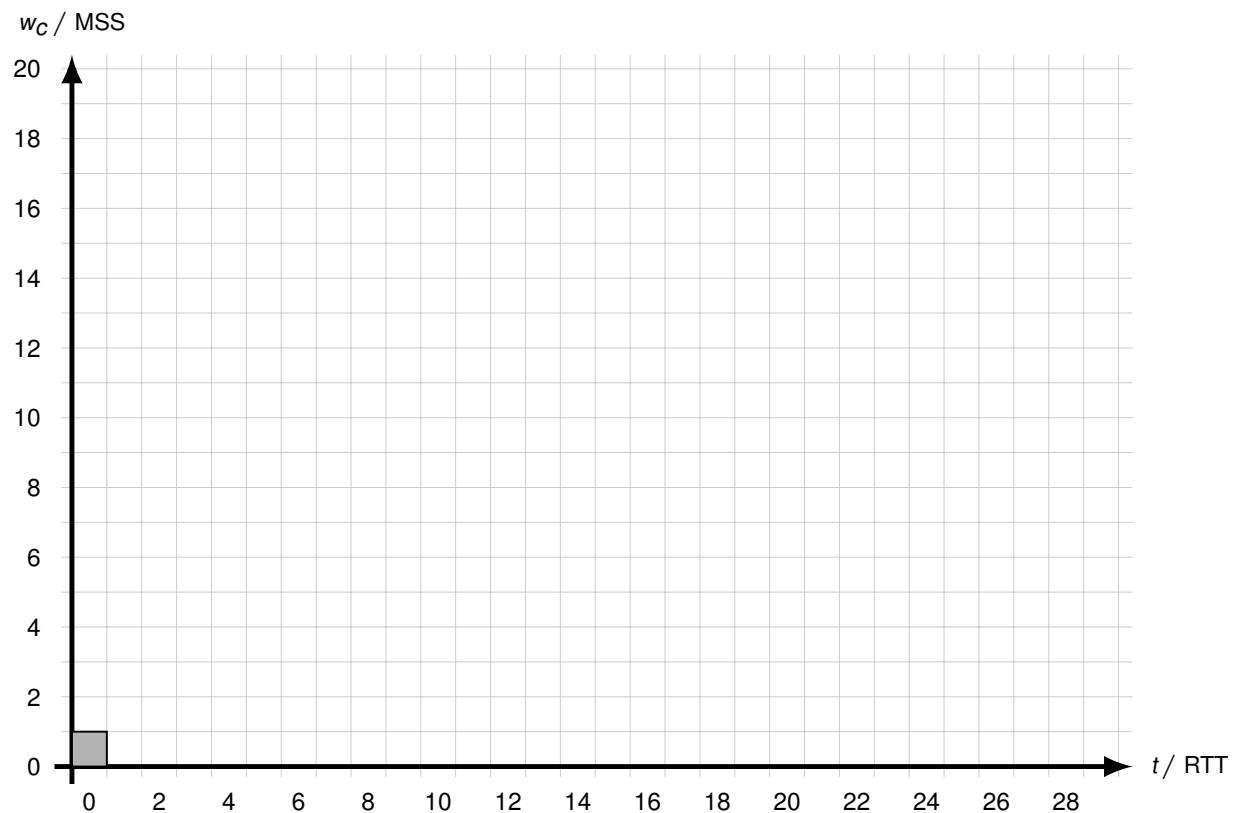
f) Es treten danach keine weiteren Störungen mehr auf. Vervollständigen Sie das Diagramm bis  $t \leq 28$  RTT und begründen Sie.



g)\* Welches Problem ergibt sich bei einer Unzuverlässigkeit von Schicht 1 bis 3 bei Verwendung von TCP?



## Zusätzlicher Vordruck für Aufgabe 7:



Zusätzlicher Platz für Lösungen. Markieren Sie deutlich die Zuordnung zur jeweiligen Teilaufgabe.  
Vergessen Sie nicht, ungültige Lösungen zu streichen.

