



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 / Endterm

Datum: Montag, 1. August 2022

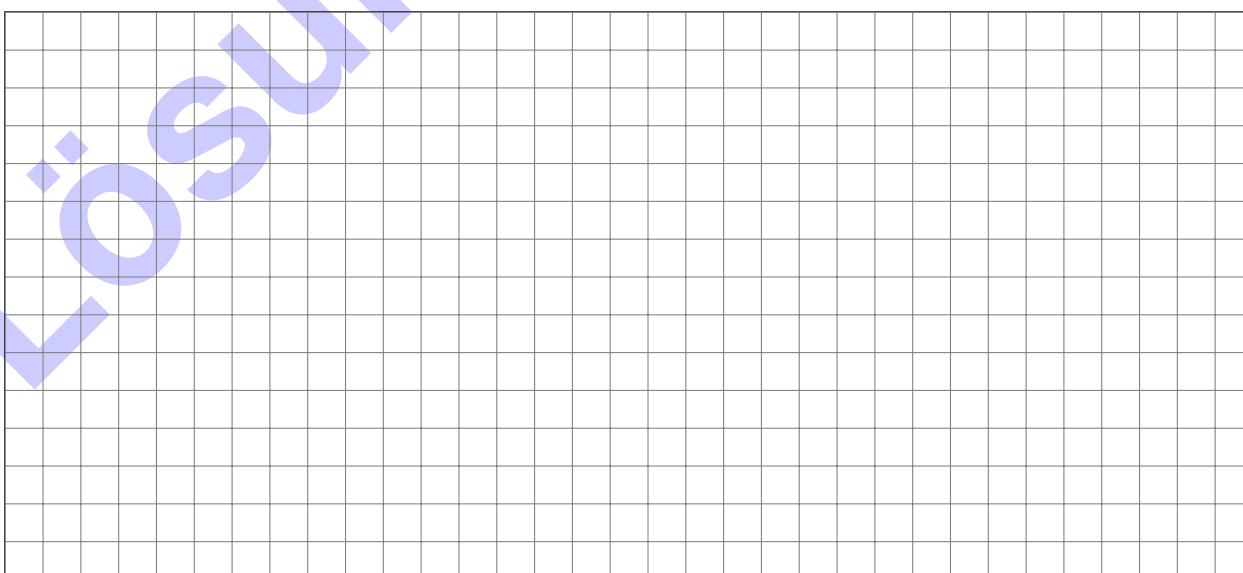
Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

Uhrzeit: 10:45 – 12:15

Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **12 Seiten** mit insgesamt **7 Aufgaben** sowie eine Formelsammlung (Cheatsheet). Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Klausur beträgt 91 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**
 - der mit dieser Klausur verteilte Cheatsheet
- 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.

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



Hörsaal verlassen von _____ bis _____ / Vorzeitige Abgabe um _____

Aufgabe 1 Multiple Choice (19 Punkte)

Die folgenden Aufgaben sind Multiple Choice / Multiple Answer, d. h. es ist jeweils mind. eine Antwortoption korrekt. Teilaufgaben mit nur einer richtigen Antwort werden mit 1 Punkt bewertet, wenn richtig. Teilaufgaben mit mehr als einer richtigen Antwort 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)* Ein Rahmen mit einer Gesamtlänge von 1500 B benötigt eine Serialisierungszeit von 2 µs. Welche Übertragungsrate hat der Link?

- 6000 GB/s 2 Gbit/s 750 MB/s 2 mbit/s 750 Mbit/s 1500 Mbit/s

b)* Ein Rahmen mit einer Gesamtlänge von 1500 B wird über eine Kupferleitung der Länge 10 km übertragen. Welche Ausbreitungsverzögerung tritt dabei in etwa auf?

- 50 ns 476 µs 33,3 µs 50 µs 33,3 ns 476 ns

c)* Welche der folgenden Eigenschaften treffen auf UDP zu?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> darf nicht fragmentiert werden | <input type="checkbox"/> streamorientiert |
| <input checked="" type="checkbox"/> arbeitet auf der Transportschicht | <input type="checkbox"/> nur Ports ≥ 1024 nutzbar |
| <input checked="" type="checkbox"/> datagram-orientiert | <input type="checkbox"/> arbeitet auf der Vermittlungsschicht |
| <input type="checkbox"/> nur Ports < 1024 nutzbar | <input type="checkbox"/> verbindungsorientiert |

d)* Worin besteht der wesentliche Unterschied zwischen CSMA/CD und CSMA/CA

- Beim Medienzugriff mittels CSMA/CA gibt es immer eine Contention Phase
- CSMA/CD verwendet im Gegensatz zu CSMA/CA Bestätigungen
- CSMA/CA benötigt eine minimale Rahmenlänge von 64 B
- Es gibt nur Unterschiede in der Kollisionsbehandlung, nicht im Medienzugriff

e)* Welche Aussage(n) zu Fourier-Reihe und Fourier-Transformation sind bzgl. zeitkontinuierlicher Signale falsch?

- Mittels Fouriertransformation lässt sich das Spektrum nicht-periodischer Signale bestimmen.
- Mittels Fourierreihe lässt sich das Spektrum periodischer Signale bestimmen.
- Mittels Fourierreihe lässt sich das Spektrum nicht-periodischer Signale bestimmen.
- Mittels Fouriertransformation lässt sich das Spektrum periodischer Signale bestimmen.

f)* Bei einem Paket handelt es sich um eine ...

- L4-SDU L2-PDU L4-PDU L3-SDU
- L1-PDU L3-PDU L1-SDU L2-SDU

g)* Ein Interface habe die Link-local IPv6-Adresse fe80:0000:0000:0000:0312:23ff:fe34:4556. Welche L2-Adresse hat dieses Interface höchstwahrscheinlich?

- 01:02:03:04:05:06 56:45:34:23:12:01 03:12:23:34:45:56 31:22:3f:ff:e3:44
- 23:ff:fe:34:45:56 fe:80:03:12:23:ff 01:12:23:34:45:56 06:05:04:03:02:01

h)* Welche der folgenden IP Adressen sind *Loopback* Adressen?

- | | | | |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> fe80::1234 | <input checked="" type="checkbox"/> 127.0.0.2 | <input type="checkbox"/> :: | <input type="checkbox"/> 2001:db8::1234 |
| <input type="checkbox"/> 0.0.0.0 | <input type="checkbox"/> ::2 | <input type="checkbox"/> 128.0.0.1 | <input checked="" type="checkbox"/> ::1 |

i)* Wie lang ist eine IPv6-Adresse?

- | | | | |
|--|--|--------------------------------|--------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 16 B | <input type="checkbox"/> 2^{128} bit | <input type="checkbox"/> 128 B | <input type="checkbox"/> 2^{128} B |
|--|--|--------------------------------|--------------------------------------|

j)* Ethernet ist ein Protokoll für ... im ISO-OSI Modell.

- | | | | |
|------------------------------------|---|---|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Schicht 4 | <input type="checkbox"/> Schicht 7 | <input type="checkbox"/> Schicht 3 | <input type="checkbox"/> Schicht 5 |
| <input type="checkbox"/> Schicht 6 | <input checked="" type="checkbox"/> Schicht 1 | <input checked="" type="checkbox"/> Schicht 2 | |

k)* Welches Protokoll ist **kein** Teil der Anwendungsschicht?

- | | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> DNS | <input type="checkbox"/> HTTP | <input type="checkbox"/> FTP | <input type="checkbox"/> SNMP |
| <input checked="" type="checkbox"/> ICMP | <input type="checkbox"/> HTTPS | <input type="checkbox"/> SSH | <input type="checkbox"/> SMTP |

l)* Sie beobachten folgenden Datenstrom einer unbekannten Quelle. Bei welchem bzw. welchen Zeichen ist der Informationsgehalt maximal?

H G A A B B A F A G H F G B H A B G A G F B H F

- | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> G | <input type="checkbox"/> B | <input checked="" type="checkbox"/> F | <input type="checkbox"/> I | <input type="checkbox"/> A | <input checked="" type="checkbox"/> H |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|

m)* Gegeben sei folgendes Datum in Big-Endian: 0xf3b68745. Welches der folgenden Daten entspricht diesem in Network-Byte Order?

- | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 0x4587b6f3 | <input type="checkbox"/> 0x3f6b7854 | <input checked="" type="checkbox"/> 0xf3b68745 | <input type="checkbox"/> 0x54786b3f |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|

n)* Was versteht man unter Quellenkodierung?

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

Aufgabe 2 Kurzaufgaben (6.5 Punkte)

a)* Nennen Sie vier verschiedene in der Vorlesung behandelte Multiplex-Verfahren hinsichtlich der Medienzugriffskontrolle (ohne Erklärung).

Zeitmultiplex (Time Division Multiplex, TDM), Frequenzmultiplex (Frequency Division Multiplex, FDM), Raummultiplex (Space Division Multiplex, SDM), Codemultiplex (Code Division Multiplex, CDM)

0
1
2

b)* Wir betrachten einen soeben in Betrieb genommenen Switch, dessen Switching-Tabelle leer ist. Dieser bekommt einen Rahmen zur Weiterleitung. An welchen Ports wird der Switch den Rahmen wahrscheinlich weiterleiten?

Wenn der Empfänger-L2-Adresse zugehörige Port nicht bekannt ist, wird der Rahmen wahrscheinlich broadcasted werden, an alle anderen Ports außer dem, an dem der Rahmen eingegangen ist.

0
1

0
½

c)* Auf welcher Schicht im ISO-OSI Modell agiert DNS? (ohne Begründung)

Anwendungsschicht

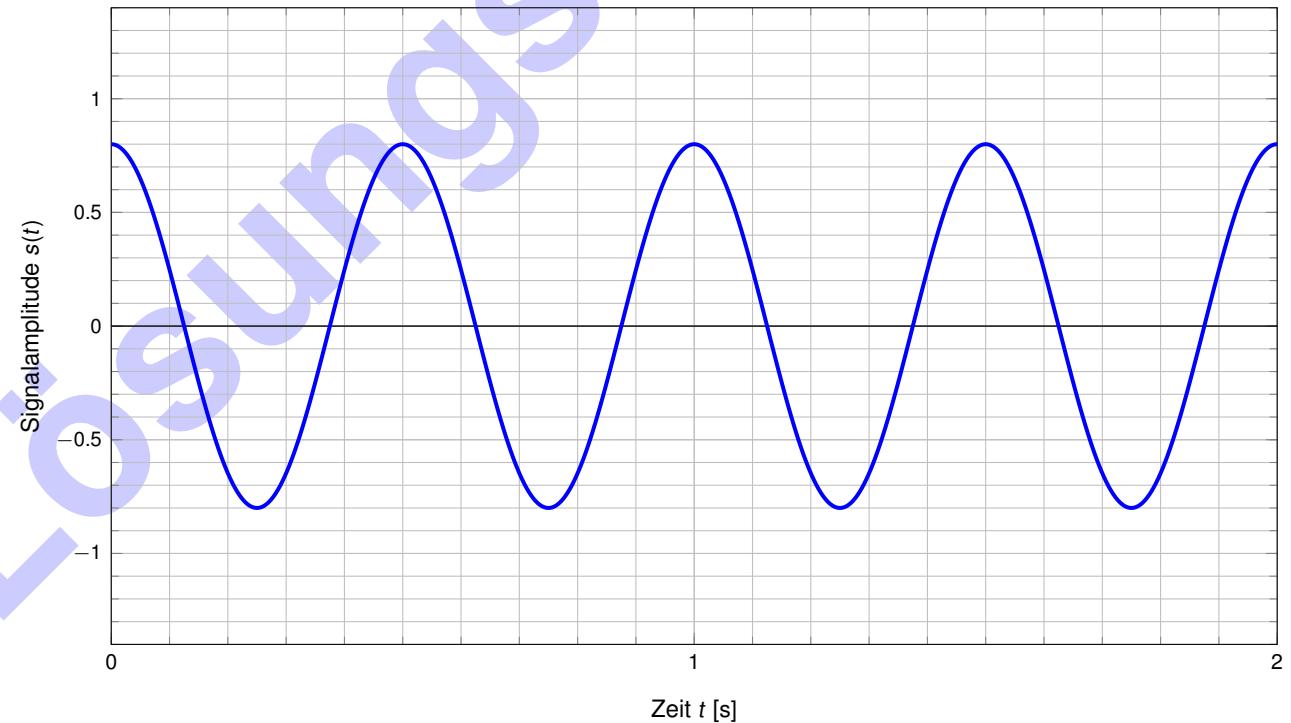
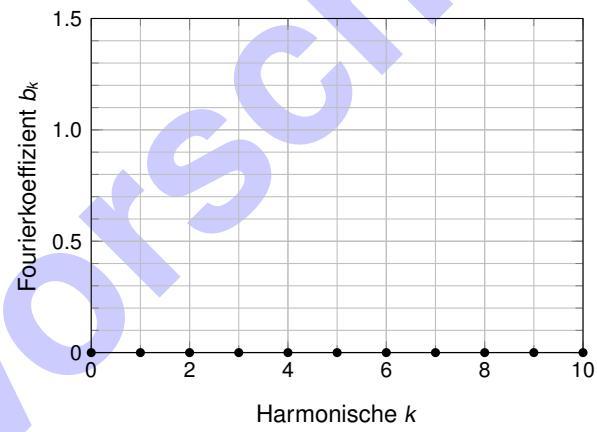
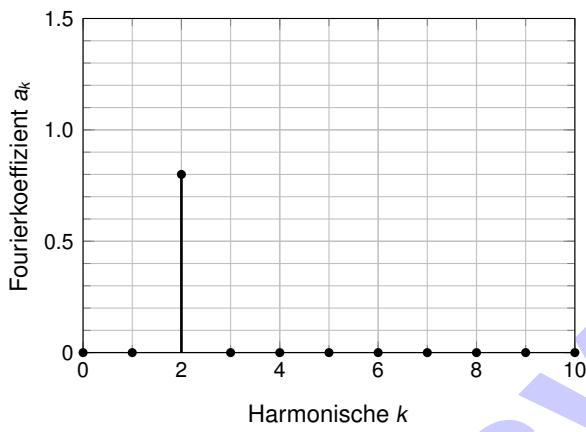
0
1

d)* Gegeben sei die Fourier Reihe eines periodischen Signales $s(t)$ mit $a_0 > 0$. Begründen Sie ob das Signal $s(t)$ bei Übertragung gleichstromfrei ist oder nicht.

Der Parameter a_0 des Fourierspektrums gibt den Gleichanteil der Kosinus bzw. Sinusfunktion an. Wenn dieser größer 0 ist, gibt es einen Gleichanteil, welcher einen Gleichstrom bewirkt.

0
1
2

e)* Gegeben sei das untenstehende Spektrum einer Fourierreihe. Zeichnen Sie im Lösungsfeld das dazu gehörende Zeitsignal $s(t)$ im Intervall $[0, 2]$. Hierbei gilt $\omega = \frac{2\pi}{T}$, mit $T = 1$ s.



Aufgabe 3 TCP Datenübertragung (8.5 Punkte)

Sie wollen über HTTP eine Website aufrufen. Ihr Rechner ist momentan per Ethernet und IPv4 verbunden. Folglich beträgt ihre aktuelle MTU 1500 B. Ihre TCP Implementierung verwendet zudem die Max Segment Size (MSS) Option, mit der ein Empfänger dem Sender die maximal erlaubte Größe von Segmenten mitteilen kann. RFC 793 definiert die MSS Option wie folgt:

Maximum Segment Size

```
+-----+-----+-----+-----+
| 00000010 | 00000100 |      max seg size   |
+-----+-----+-----+-----+
  Kind=2    Length=4
```

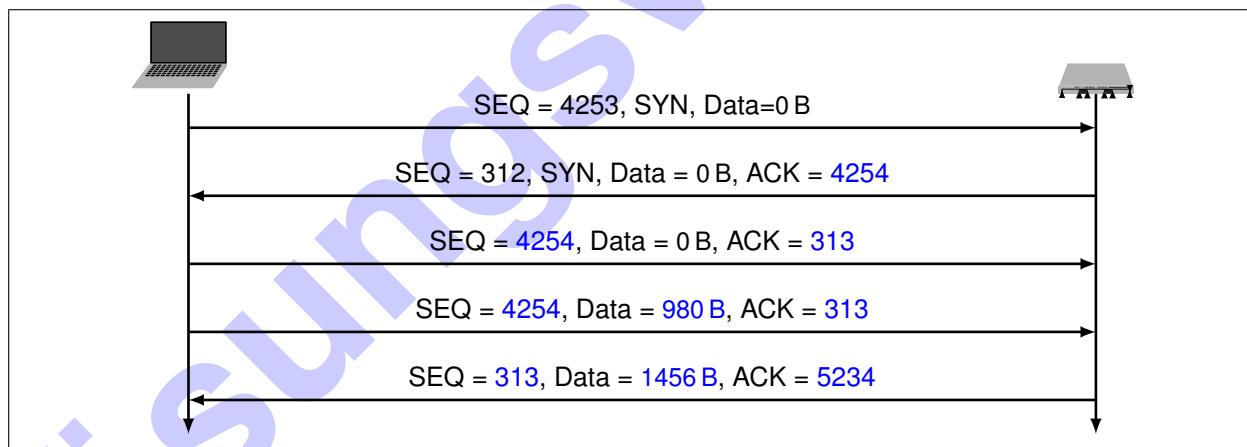
- a)* Berechnen Sie die maximale MSS, so dass nicht fragmentiert werden muss. Machen Sie kenntlich woher die Zahlen kommen.

$$1500B(EthernetMTU) - 20B(IPv4Header) - 20B(TCPHeader) - 4B(MSSOption) = 1456B$$

- b) Wie groß ist das Empfangsfenster (in Byte), wenn in den Puffer ihres Rechners die Daten von 7 Segmenten passen (so groß wie möglich).

$$7 \cdot \text{MSS} = 7 \cdot 1456 \text{ B} = 10\,192 \text{ B}$$

- c) Vervollständigen Sie den TCP Handshake und die Angaben zu den ersten beiden Segmenten vom Client und Server. Gehen Sie von einer 980 Byte HTTP-Anfrage und einer 5 MB Antwort aus. Client und Server versuchen immer, die Segmente maximal groß zu gestalten.



- d) Füllen Sie den folgenden TCP Header mit den Daten aus dem ersten Segment aus, das ihr Rechner verschickt. Das verwendete Zahlensystem muss ersichtlich sein. **Hinweis:** Sie finden am Ende der Klausur einen weiteren Vordruck. Machen Sie aber kenntlich, welcher bewertet werden soll.

Aufgabe 4 Wohnheimsnetz (18 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. MAC-Adressen aller Interfaces seien wie folgt aufgebaut:

$$\text{IP: } a.b.c.d \rightarrow \text{MAC: } 00:53:00:00:c:d$$

Ein Ausschnitt des Netzes ist in Abbildung 4.1 gegeben. Die Caches aller Geräte seien zu Beginn leer.

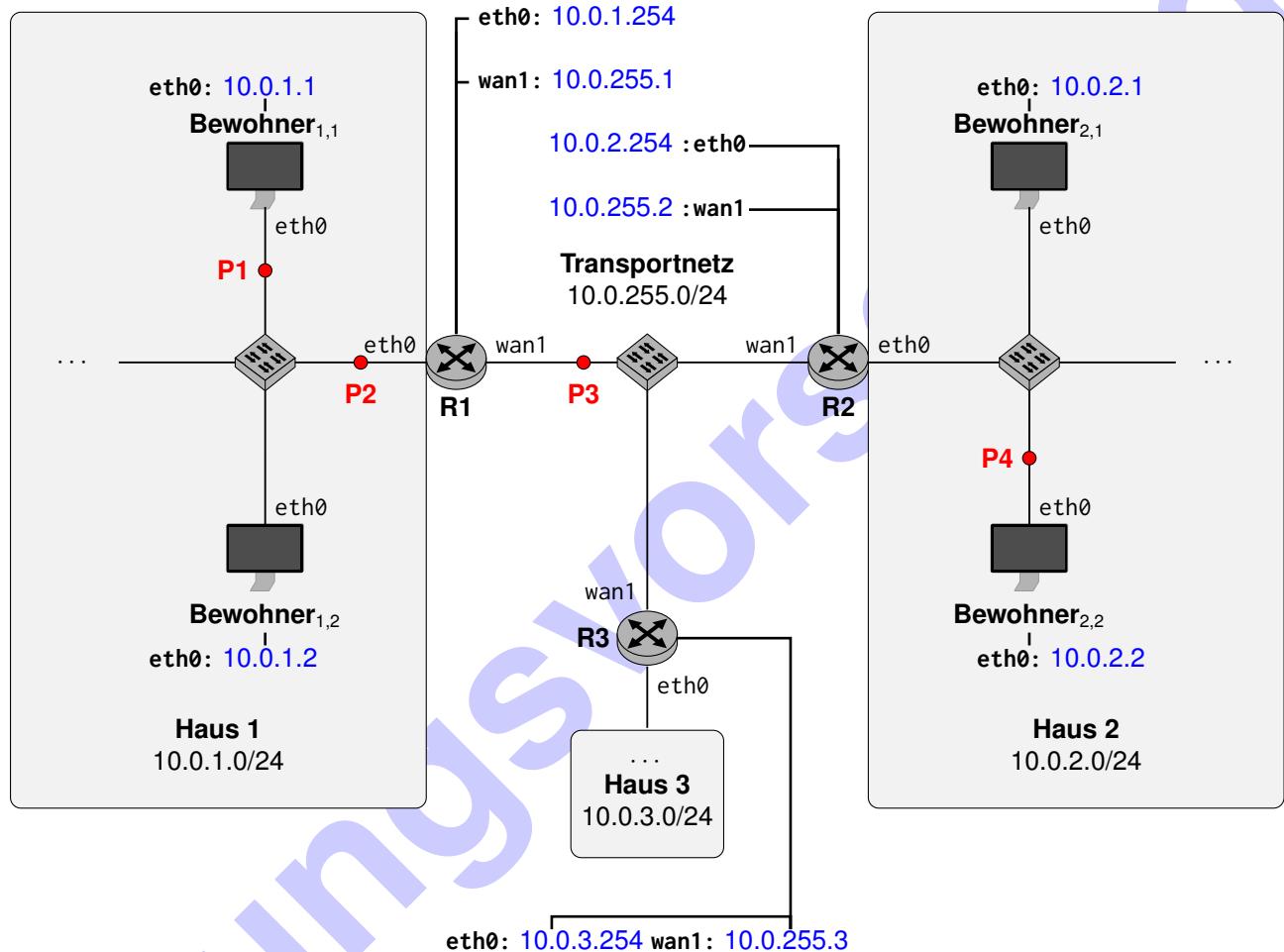


Abbildung 4.1: Ausschnitt des Wohnheimnetzes

0
1
2

- a)* Weisen Sie allen in Abbildung 4.1 dargestellten Geräten entsprechend der zugeordneten Präfixe **IP-Adressen** zu. In den Hausnetzen erhalten Clients die kleinstmögliche Adresse lexikografisch sortiert, Router die jeweils größte. Im Transportnetz erhalten Router kleinstmögliche Adressen lexikografisch aufsteigend zur Hausnummer. Zeichnen Sie die IP-Adressen direkt in obenstehende Grafik ein.

Wir betrachten zunächst einmal innerhäusliche Kommunikation innerhalb von Haus 1. Bewohner_{1,1} möchte dort Bewohner_{1,2} pingen und kennt nur dessen IP-Adresse.

0
1

- b)* Warum kann nicht direkt der entsprechende ICMP Echo Request gesendet werden?

MAC-Adresse von Bewohner_{1,2} ist nicht bekannt.

c) Geben Sie die Quell- und Ziel-MAC-Adresse des ersten Pakets an.

SRC-MAC: 00:53:00:00:01:01

DST-MAC: ff:ff:ff:ff:ff:ff

0
1
2

Nun betrachten wir interhäuserliche Kommunikation. Bewohner_{1,1} von Haus 1 will nun einen Ping an Bewohner_{2,2} von Haus 2 schicken. Dafür müssen zuerst die Routingtabellen von R1 und R2 konfiguriert werden.

d)* Was würde passieren, wenn die Tabellen nicht konfiguriert wären?

Da es keine Einträge gibt, wird der Router das Paket verwerfen und eine ICMP "Destination Unreachable" zurückschicken.

0
1

e) Geben Sie alle notwendigen Einträge in untenstehenden Tabellen für R1 und R2 an, damit alle 3 Häuser untereinander kommunizieren können. Fassen Sie dabei einzelne Routen soweit möglich zusammen.
Hinweis: Es werden möglicher Weise nicht alle Tabellenzeilen benötigt.

Destination	Next Hop	Iface
10.0.1.0/24	0.0.0.0	eth0
10.0.255.0/24	0.0.0.0	wan1
10.0.2.0/24	10.0.255.2	wan1
10.0.3.0/24	10.0.255.3	wan1

Routing-Tabelle von R1

0
1
2
3
4

Destination	Next Hop	Iface
10.0.2.0/24	0.0.0.0	eth0
10.0.255.0/24	0.0.0.0	wan1
10.0.1.0/24	10.0.255.1	wan1
10.0.3.0/24	10.0.255.3	wan1

Routing-Tabelle von R2

0
1

f)* Der Ping soll nun versendet werden. Wieviele ARP Requests müssen insgesamt mindestens versendet werden?

3: Bewohner_{1,1} ↔ R₁, R₁ ↔ R₂, R₂ ↔ Bewohner_{2,2}

Wir betrachten nun das Senden des eigentlichen Echo Requests (ohne ARP Requests).

- g)* Geben Sie für dieses Paket die entsprechenden Headerfelder in der Tabelle an den markierten Punkten P1 bis P4 an. Sie können dafür folgende Schreibweise verwenden: MAC(k.iface) für die MAC-Adresse des Interfaces iface von Knoten k, analog IP(k.iface) für die IP-Adresse. Bewohner_{x,y} können Sie mit B_{x,y} abkürzen.

	SRC-MAC	DST-MAC	SRC-IP	DST-IP	TTL
P1	00:53:00:00:01:01 (MAC(B1,1))	00:53:00:00:01:fe (MAC(R1.eth0))	10.0.1.1 (IP(B1,1))	10.0.2.2 (IP(B2,2))	64
P2	00:53:00:00:01:01 (MAC(B1,1))	00:53:00:00:01:fe (MAC(R1.eth0))	10.0.1.1 (IP(B1,1))	10.0.2.2 (IP(B2,2))	64
P3	00:53:00:00:ff:01 (MAC(R1.wan1))	00:53:00:00:ff:02 (MAC(R2.wan1))	10.0.1.1 (IP(B1,1))	10.0.2.2 (IP(B2,2))	63
P4	00:53:00:00:02:fe (MAC(R2.eth0))	00:53:00:00:02:02 (MAC(B2,2))	10.0.1.1 (IP(B1,1))	10.0.2.2 (IP(B2,2))	62

Abschließend betrachten wir noch Haus 3. Dieses hat 15 Bewohner.

- h)* Geben Sie die größt mögliche Prefixlänge an, damit jedem Bewohner weiterhin eine Adresse zugewiesen werden kann. Geben Sie den Rechenweg an.

$$32 - \text{ceil}(\log_2(15 + 1 \text{ Netzwerkadresse} + 1 \text{ Broadcastadresse})) = 32 - 5 = 27$$

Aufgabe 5 Wireshark (14 Punkte)

Gegeben sei der Ethernet-Rahmen aus Abbildung 5.1, welcher im Folgenden analysiert werden soll.

	(b)												(a)												(c)												
0x0000	00	0d	b9	3e	cb	48	0c	c4	(f)	7a	80	52	5b	08	00	45	10	(e)																			
0x0010	00	4d	e7	79	40	00	40	06		36	bf	83	9f	14	d6	83	9f	(h)																			
0x0020	00	4e	c4		10	00	19	79	2e	(j)	a6	0b	61	49	62	47	50	18																			
0x0030	00	3f	1c	a2	00	00	45	48		4c	4f	20	69	6f	77	61	2e																				
0x0040	6e	65	74	2e	69	6e	2e	74		75	6d	2e	64	65	0d	0a																					

Abbildung 5.1: Ethernet-Rahmen einschließlich Checksumme

Beachten Sie, dass für nachfolgende Teileingaben Begründungen erforderlich sind. Achten Sie darauf, dass Markierungen eindeutig einzelnen Teilaufgaben zugeordnet werden können. Nicht nachvollziehbare Aussagen **werden nicht bewertet**.

- a)* Markieren Sie in Abbildung 5.1 die Absenderadresse auf Schicht 2. (ohne Begründung)

- b)* Markieren Sie in Abbildung 5.1 die Empfängeradresse auf Schicht 2. (ohne Begründung)

c)* Von welchem Typ ist die L3-PDU?

Typ: IPv4

Begründung: Ethertype 0x0800

0
1

d) Geben Sie die Absenderadresse auf Schicht 3 in ihrer üblichen und ggf. gekürzten Schreibweise an.

131.159.20.214

0
1

e) Geben Sie die Empfängeradresse auf Schicht 3 in ihrer üblichen und ggf. gekürzten Schreibweise an.

131.159.0.78

0
1

f) Von welchem Typ ist die L4-PDU?

Typ: TCP

Begründung: Protocol im IP-Header ist 0x06

0
1
2

g) An welcher Stelle beginnt die L4-PDU?

Offset: 0x0022

Begründung: IHL = 0x5 ⇒ 20 B IP-Header / keine Optionen

0
1
2

h) Um welches L7-Protokoll handelt es sich vermutlich?

TCP Destination Port = 25 ⇒ SMTP

0
1

i) Wozu wird dieses Protokoll verwendet?

Zum Austausch von Emails zwischen MTAs.

0
1

j) An welcher Stelle beginnt die L7-PDU?

Offset: 0x0036

Begründung: Offset = 0x5 ⇒ 20 B TCP-Header / keine Optionen

0
1
2

k) Dekodieren Sie das gesendete Kommando (die ersten 4 B der L7-SDU).

ASCII-kodierter String ab Offset 0x0036: 0x45 0x48 0x4c 0x4f = EHLO

0
1
2

Aufgabe 6 Socketprogrammierung (11 Punkte)

Die nachfolgende Teilaufgabe ist unbewertet. Sie helfen uns damit, praktische Teile der Veranstaltung und deren Wirksamkeit auf den Lernerfolg besser einschätzen zu können.

a)* Haben Sie am Live-Programming (11./12. Juli) teilgenommen, in dem wir den udpchat bzw. tcpchat implementiert haben?

ja

nein

Aufzeichnung von
2021 angesehen

keine Angabe

Die nachfolgenden Teilaufgaben beziehen sich auf besagtes Live-Programming.

0	
1	
2	

b)* Wozu dient der Syscall bind()?

Es wird ein Socket mit einer Adressstruktur assoziiert, welcher Absender-Port und -IP für ausgehende Pakete festlegt. Im Fall eines passiven Sockets wird angegeben, auf welchem Port und welchen IP-Adressen Pakete für einen Verbindungsaufbau erwartet werden.

0	
1	
2	

c)* Erklären Sie, was und warum es geschieht, wenn man listen() zusammen mit einem UDP-Socket nutzt.

Die Nutzung von listen() mit verbindungslosen Protokollen wie UDP ergibt keinen Sinn, da es hier keinen Verbindungsaufbau gibt und somit auch kein passiver Socket benötigt wird.
Es wird zur Laufzeit einen Fehler geben (-1) und errno auf EOPNOTSUPP gesetzt.

0	
1	
2	

d)* Wie viele Sockets benötigt ein TCP-Server zur Kommunikation mit einem einzelnen Client und wozu werden diese konkret verwendet?

Es werden 2 Sockets benötigt:
Ein Socket zum Senden und Empfangen von Daten, sowie ein weiterer (passiver) Socket, auf dem der Server eingehende Verbindungen erwartet.

0	
1	
2	

e)* Was geschieht, wenn man connect() mit einem UDP-Socket nutzt?

Man spezifiziert IP-Adresse und Port, an die gesendet bzw. von der empfangen wird. Man kann danach insbesondere einen UDP-Socket auch mit send() nutzen.

0	
1	
2	
3	

f)* Erläutern Sie die Funktionsweise des Syscalls select().

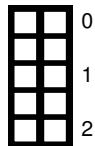
Wesentliche(r) Parameter: zu überwachende FD-Sets (maximaler FD, optionaler Timeout)

Rückgabewert(e): Anzahl der bereitgewordenen FDs oder -1 bei Fehler,
modifiziertes FD-Set mit bereiten FDs

Aufgabe 7 James Webb Space Telescope (14 Punkte)

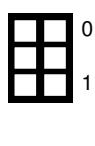
Das *James Webb Space Telescope (JWST)* ist am 25. Dezember 2021 gestartet und erreichte am 24. Januar 2022 seinen Zielort – den 1,5 Millionen km entfernten Lagrange-Punkt L_2 ¹.

- a)* Bestimmen Sie die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit des JWST in m/s. (Gehen Sie davon aus, dass sowohl Starttag als auch Tag der Ankunft zur Reisezeit zählen.)

$7 \text{ d Tage Reisezeit in 2021} + 24 \text{ d Reisezeit in 2022} = 31 \text{ d}$	
$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{1,5 \cdot 10^9 \text{ m}}{31 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} \approx 560,04 \text{ m/s}$	

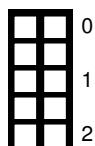
Das JWST erzeugt täglich 235 Gbit Forschungsdaten, die auf einer 68 GB großen SSD zwischengespeichert werden.

- b)* Bestimmen Sie die maximale Zeit, die das JWST arbeiten kann ohne Daten zur Erde zu funken. (Gehen Sie davon aus, dass die vollständige Kapazität der SSD zur Verfügung steht.)

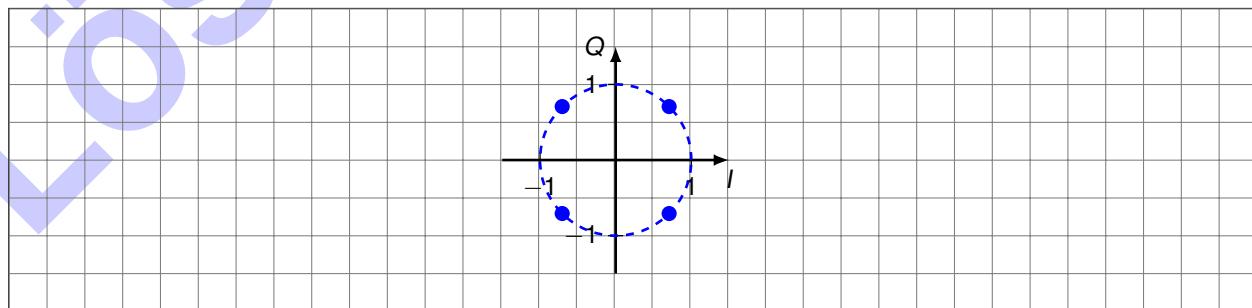
$T = \frac{68 \cdot 10^9 \cdot 8 \text{ bit/d}}{235 \text{ Gbit}} \approx 2,31 \text{ d} (= 55,56 \text{ h})$	
---	---

Um die Forschungsdaten zur Erde zu Funken, wird ein Kanal im 25,9 GHz-Band (sog. K_a -Band) genutzt. Die maximale Datenrate im Downlink Richtung Erde beträgt 28 Mbit/s. Allerdings sind die Bodenstationen auf der Erde nur jeweils 4 h/d erreichbar.

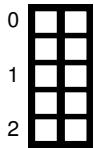
- c)* Bestimmen Sie das täglich erzielbare Datenvolumen in GB *und* GiB, das zur Erde übertragen werden kann, sofern kein weiterer Overhead anfällt.

$V = 28 \text{ Mbit/s} \cdot 4 \cdot 3600 \text{ s} = 403,20 \text{ Gbit} = 50,40 \text{ GB} \approx 46,94 \text{ GiB}$	
---	---

- d)* Als Modulationsverfahren kommt 4-PSK zum Einsatz. Zeichnen Sie eine Signalraumzuordnung einschließlich Beschriftung, die eindeutig diesem Modulationsverfahren zuzuordnen ist.



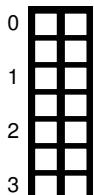
¹Lagrange-Punkte sind Orte im Sonnensystem an denen sich die Anziehungskräfte von Erde und Sonne gegenseitig aufheben, so dass Raumfahrzeuge dort eine stabile Position einnehmen können.



e) Bestimmen Sie anhand der bisherigen Informationen die minimal notwendige Kanalbandbreite, um die gegebene Übertragungsrate erreichen zu können.

4-PSK nutzt $M = 4$ unterscheidbare Symbole. Wir erhalten also nach Hartley:

$$B \geq \frac{r}{2 \cdot \log_2(M)} = 7 \text{ MHz}$$



f) Auf der Bodenstation werde ein SNR von -20 dB erwartet. Bestimmen Sie die minimal notwendige Bandbreite des Kanals unter dieser Bedingung.

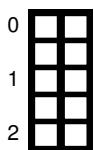
Zuerst rechnen wir das in dB angegebene SNR um:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10}(\text{SNR})$$

$$\text{SNR} = 10^{(\text{SNR}_{\text{dB}} / 10)} = 0,01$$

Jetzt können wir nach Shannon/Hartley die Bandbreite bestimmen:

$$B \geq \frac{r}{\log_2(1 + SNR)} \approx 1,95 \text{ GHz}$$



g) Begründen Sie kurz, welche der beiden Kanalbandbreiten ausschlaggebend sein wird.

Zwar würde nach Shannon ein Kanal mit 7 MHz Bandbreite ausreichen, allerdings nach Hartley nicht mit dem gegebenen Modulationsverfahren. Dementsprechend ist die mittels Hartley bestimmte Bandbreite das theoretische Minimum.

Zusätzlicher Vordruck für Aufgabe 3