



**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-90

**Datum:** Dienstag, 8. August 2023

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

**Uhrzeit:** 16:30 – 18:00

Bevor wir mit dem Verlesen der Bearbeitungshinweise fortfahren, bitten wir Sie die nachfolgenden Fragen zu beantworten. Mit diesen Angaben helfen Sie 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 (regelmäßig)     2     3     4 (nie)

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

1 (regelmäßig)     2     3     4 (nie)

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

1 (regelmäßig)     2     3     4 (nie)

d) Haben Sie am **Live-Programming** teilgenommen (TCP UDP Chat)?

Ja (beide Termine)     An einem Termin     Nein

### Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **12 Seiten** mit insgesamt **6 Aufgaben**.  
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 Wireshark (19 Punkte)

Gegeben sei die Netzwerktopologie aus Abbildung 1.1. Der Computer PC versucht eine SSH Verbindung mittels IPv4 zum Server SRV aufzubauen. MAC und IP-Adressen der Geräte sind in Abbildung 1.1 angegeben.

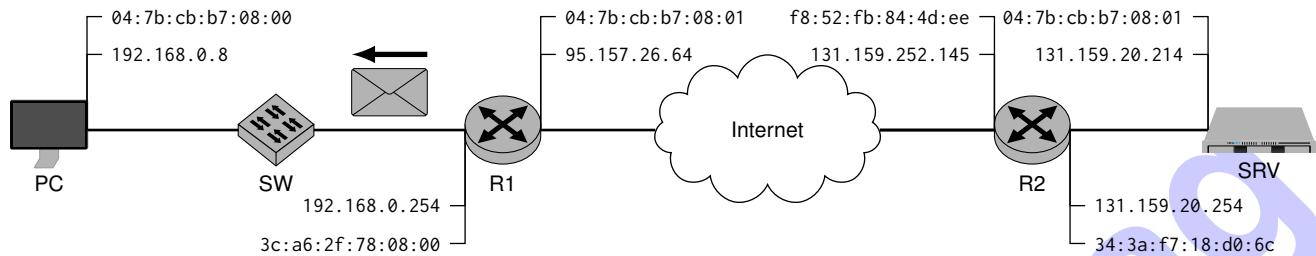


Abbildung 1.1: Netzwerktopologie

Wir betrachten den Rahmen, der von R1 zum PC gesendet wird (siehe Abbildung 1.1). Dabei handelt es sich um die erste Nachricht von SRV **nach** dem TCP-Handshake.

Im Folgenden soll der **Hexdump dieses Rahmens** auf Basis der Informationen aus Abbildung 1.1 sowie den nachfolgenden Teilaufgaben rekonstruiert werden.

Die Lösungen zu den nachfolgenden Teilaufgaben sind direkt in Abbildung 1.2 einzutragen (siehe nachfolgende Seite). **Machen Sie deutlich, zu welcher Teilaufgabe ein Eintrag gehört**, z. B. durch farbliche Hervorhebung oder Angabe der jeweiligen Teilaufgabe oberhalb Ihrer Lösung. Als Beispiel für eine (nicht existierende) Teilaufgabe x) ist die L2 Empfängeradresse bereits eingetragen.

**Hinweise:** Im fertigen Hexdump können einige Lücken bleiben, da wir nicht alle Inhalte des Rahmens rekonstruieren werden. Der Cheatsheet, der zusammen mit dieser Klausur ausgeteilt wurde, enthält alle notwendigen Header und Übersetzungen.

0  
0

a)\* Tragen Sie die Absender-Adresse auf Schicht 2 in Abbildung 1.2 ein.

0  
1

b)\* Füllen Sie das Feld in Abbildung 1.2 aus, das den Typ der L3-PDU angibt.

- Bevor wir mit dem Ausfüllen fortfahren, sollen die Grenzen verschiedener Header markiert werden. Wir nehmen an, dass
- der L3-Header keine Optionen nutzt,
  - der L4-Header genau 12 B Optionen besitzt und
  - die Gesamtlänge des Rahmens (einschließlich Checksumme) 111 B beträgt.

c)\* Markieren Sie das **Ende des L3- und L4-Headers** sowie das **Ende des Rahmens**. Als Beispiel ist das Ende des L2-Headers bereits markiert.

d) Die Checksumme des Rahmens sei gegeben als 42 0a f1 73. Tragen sie diese in Abbildung 1.2 ein.

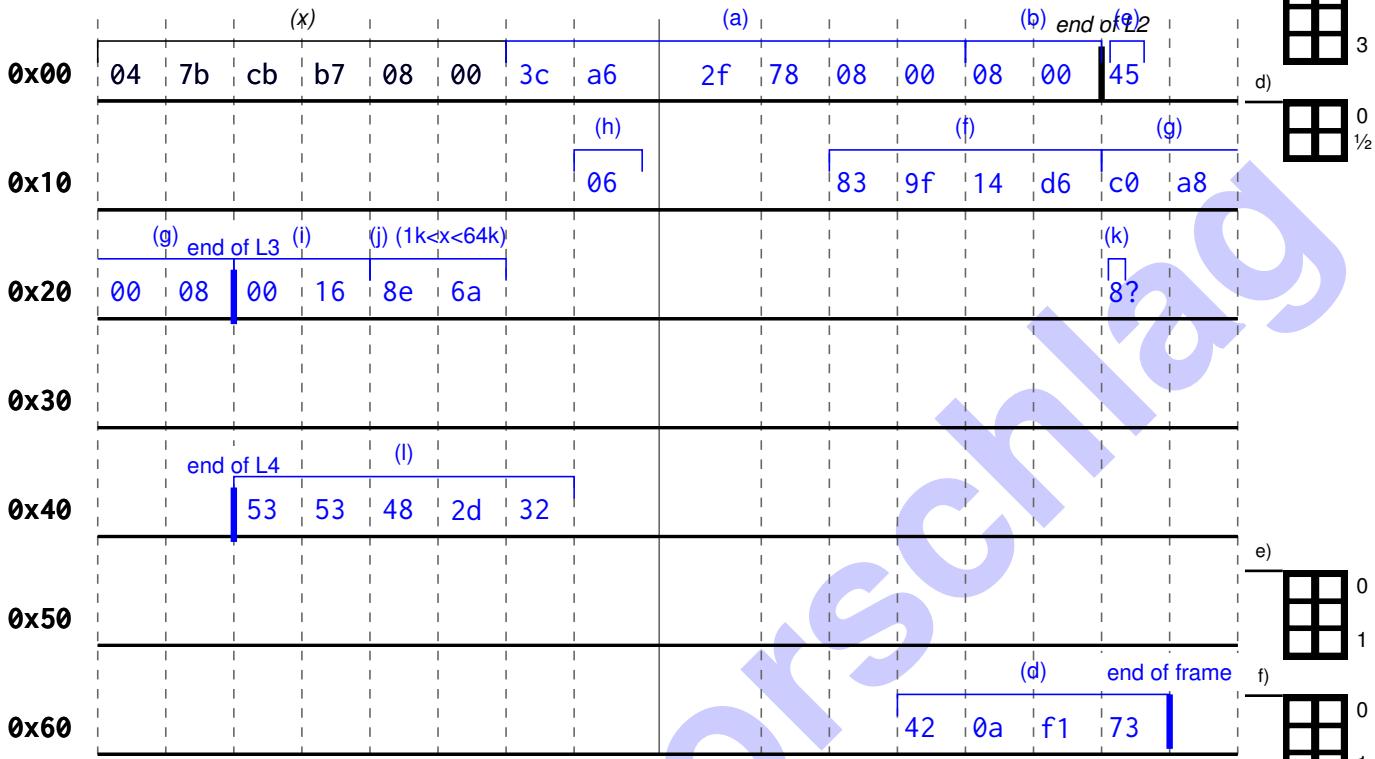


Abbildung 1.2: Vordruck für den Hexdump des Rahmens

Wir beginnen nun damit, die verschiedenen Felder des L3-Headers auszufüllen. Der Beginn des L3-Headers ist in Abbildung 1.2 schon vorgegeben. **Vergessen Sie nicht, kenntlich zu machen, zu welcher Teilaufgabe welcher Eintrag gehört.**

e)\* Füllen Sie das Feld aus, das Typ und Länge des L3-Headers angibt.

f)\* Füllen Sie die L3-Quelladresse aus.

g)\* Füllen Sie die L3-Zieladresse aus.

h)\* Füllen Sie das Feld aus, das den Typ der L3-SDU angibt.

Wir fahren nun damit fort, verschiedene Felder des L4-Headers auszufüllen. Falls ein Wert nicht eindeutig definiert ist, treffen Sie eine sinnvolle Wahl (keine Begründung notwendig). **Vergessen Sie nicht, kenntlich zu machen, zu welcher Teilaufgabe welcher Eintrag gehört.**

i) Füllen Sie den Quellport aus.

j) Füllen Sie den Zielport aus.

k) Füllen Sie das Feld aus, das den Offset angibt.

Nun kommen wir zur eigentlichen Payload, welche aus dem ASCII-kodierten String "SSH-2.0-OpenSSH\_9.2p1 Debian-2" besteht.

I) Füllen Sie die ersten 5 B der L7-PDU aus.

## Aufgabe 2 IP-Routing (17 Punkte)

Sie wollen die Performance von einem neuen Layer 7 Netzwerkprotokoll vermessen. Dazu müssen Sie sich Ihren eigenen Versuchsaufbau konfigurieren. Sie haben bereits drei Server reserviert. Ethernet-Kabel sind an den entsprechenden Interfaces angeschlossen (siehe Abbildung 2.1). Für jede Messung werden Server immer komplett neu aufgesetzt (dies bedeutet, es ist nichts konfiguriert). Alle Server sind an ein Management-Netz (10.1.176.0/20) angeschlossen, der Router **R** hat die Adresse 10.1.176.1.

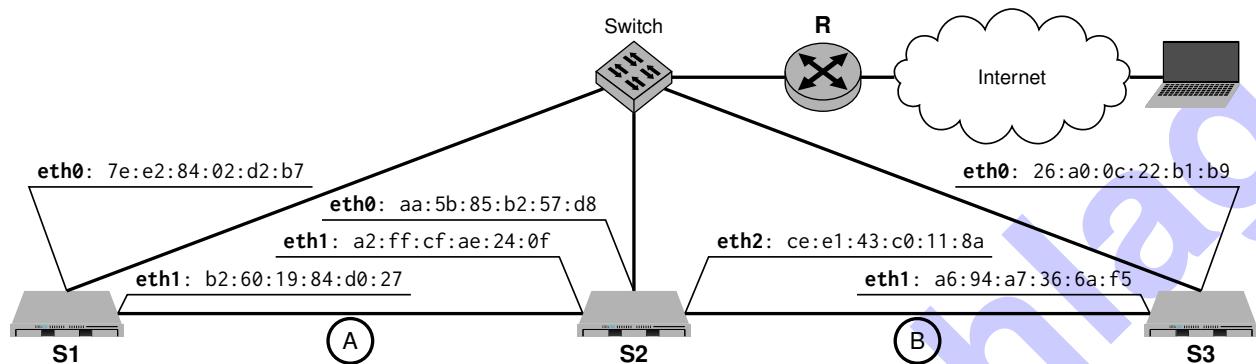


Abbildung 2.1: Netzwerktopologie

Tabelle 2.1: Interfaces und deren IP-Adressen sowie daran angeschlossene Subnetze

	Interface (z.B. S1.eth1)	IP-Adresse	Subnetz
a)	S1.eth0	10.1.176.2	10.1.176.0/20
	S2.eth0	10.1.184.0	10.1.176.0/20
	S3.eth0	10.1.176.4	10.1.176.0/20
(A)	S1.eth1	192.168.1.1	192.168.1.0/24
	S2.eth1	192.168.1.2	192.168.1.0/24
(B)	S2.eth2	192.168.2.1	192.168.2.0/24
	S3.eth1	192.168.2.2	192.168.2.0/24

- 0 a)\* **R** erteilt allen Server über DHCP eine zufällige IP-Adresse aus dem Management-Netz und konfiguriert das Default-Gateway. Server sollten immer die selbe Adresse erhalten, berücksichtigen Sie also früher zugeteilte Adressen aus Tabelle 2.2. Füllen Sie Tabelle 2.1 für die betroffenen Interfaces aus.  
1

Tabelle 2.2: IP-Adressen, die bereits früher Servern (identifiziert über die MAC) zugewiesen wurden

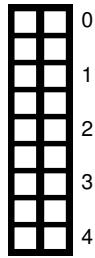
MAC	IP-Adresse
7e:e2:84:02:d2:b7 ← S1.eth0	10.1.176.2
aa:5b:85:b2:57:d8 ← S2.eth0	10.1.184.0
ce:e1:43:c0:11:8a ← S2.eth2	10.1.185.0

Es scheint so, als wäre S2.eth2 früher einmal am Management-Netz angeschlossen gewesen, weshalb **R** dazu einen Eintrag in der DHCP-Tabelle hat. Da **R** aber nicht mit S2.eth2 verbunden ist, kann er diesem Interface auch keine IP-Adresse zuweisen! **R** wird 10.1.185.0 aber auch keinem anderen Interface (z.B. S3.eth0) zuweisen, da diese IP-Adresse schon belegt ist und stattdessen eine neue (zufällige) verteilen.

- 0 b)\* Für Ihre Messungen müssen die Testbed-Server direkt miteinander kommunizieren (um Störfaktoren auszuschließen). Konfigurieren Sie die Interfaces der Verbindungen **A** und **B**, sodass die Server darüber kommunizieren können (in Tabelle 2.1). Der Netzwerkverkehr Ihrer Messung soll dabei nicht über das Management-Netz gehen und keine andere Kommunikation einschränken (z.B. den Aufruf einer Website).  
1 Für **A** und **B** muss man sich zwei neue Subnetze überlegen (und darin korrekte IP-Adressen vergeben), die aus einem privaten Adressbereich stammen und sich nicht mit dem Management-Netz überschneiden.  
2  
3

c) Füllen Sie die (nach Konfiguration aller Interfaces) resultierende statische Routing Tabelle von **S2** aus.

Destination	NextHop	Iface
192.168.1.0/24	0.0.0.0	eth1
192.168.2.0/24	0.0.0.0	eth2
10.1.176.0/20	0.0.0.0	eth0
0.0.0.0/0	10.1.176.1	eth0



d)\* Damit das Protokoll funktioniert, müssen mehrere Prozesse miteinander kommunizieren. Geben Sie eine IP-Adresse an, mit der Sie Prozesse auf dem **selben** Server erreichen können (**ohne** Begründung).

127.0.0.1



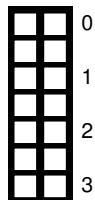
e)\* Erklären Sie, wie Sie einen konkreten Prozess auf dem **selben** Server adressieren können.

Durch Adressierung mittels der Ports des Layer 4 Protokolls.



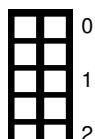
f)\* Die Konfiguration von Adressen war umständlich. Mit IPv6 geht diese automatisch. Geben Sie die Link-Local Adressen (und zugehöriges Subnetz) an, die **S3** seinen Interfaces mittels SLAAC zuteilt.

**eth0:** 26:a0:0c:22:b1:b9 → fe80::24a0:0cff:fe22:b1b9 (fe80::/64)  
**eth1:** a6:94:a7:36:6a:f5 → fe80::a494:a7ff:fe36:6af5 (fe80::/64)



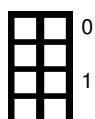
g) Durch die Link-Lokal Adresse erreicht **S3** durch das NDP **R**. Durch ein *Router Advertisement* erfährt der Server das Global-Unique Präfix (2a5e:82ac::/64). Geben Sie die Global-Unique Adressen aller Interfaces von **S3** an, die daraus resultieren (oder Begründen sie, wenn dies nicht möglich ist).

**eth0:** 2a5e:82ac::24a0:0cff:fe22:b1b9  
**eth1:** Das Präfix vom Router betrifft nur für das Management-Netz und nicht den Link B. Dieser ist in einer anderen Broadcastdomäne, als R (und würde deshalb das Advertisement auch gar nicht erhalten).



h)\* Die Adressen im Management-Netz (10.1.176.0/20) gehen aus. Erweitern Sie das Netz, sodass es möglichst klein bleibt, darin aber Platz für 10 000 Adressen ist und die bestehenden Adressen immer noch funktionieren. Geben Sie das neue Netz in CIDR-Notation an und begründen sie Ihre Wahl.

Neue Netzgröße:  $32 - \lceil \log_2(10000) \rceil = 18$   
 Resultierende Subnetzmaske: 255.255.192.0  
 $176 = 0b10111000$  und  $192 = 0b11000000$   
 $0b10111000 \text{ AND } 0b11000000 = 128$   
 $\Rightarrow 10.1.128.0/18$



### Aufgabe 3 Multiple Choice (9 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)\* Welche Aussagen über DNS sind zutreffend?

- Jeder Resolver ist auch ein autoritativer Nameserver.
- Ein SOA Record enthält Informationen zur Synchronisierung mit sekundären Nameservern.
- Ein Resolver kontaktiert bei einer iterativen Namensauflösung nur einen einzigen Nameserver.
- Die TTL gibt an, wie lange ein Resource Record gecached werden darf.
- PTR Records müssen sich in der selben Zone wie die zugehörigen A/AAAA Records befinden.

b)\* Welches sind **keine** gültigen DNS Resource Records?

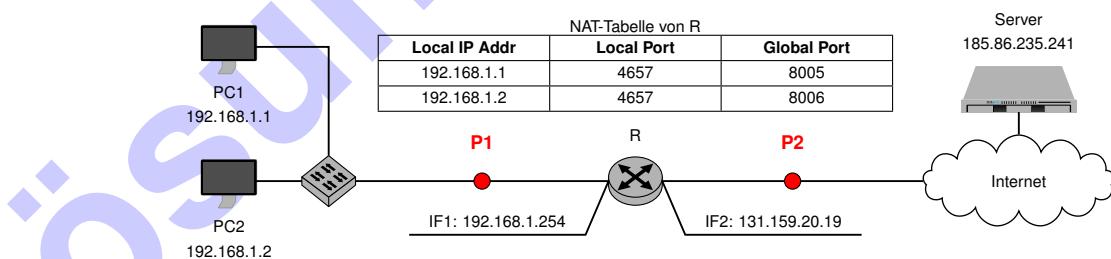
- TXT
- CNAME
- MX
- IN
- NS
- AAAA

c)\* Bei TCP hat Flusskontrolle das Ziel, ...

- das Netzwerk nicht zu überlasten.
- Verbindungen zu bestätigen.
- Nachrichtenverlust festzustellen.
- den Empfänger nicht zu überlasten.

d)\* Der Syscall select() ...

- wählt einen Socket zur Übertragung aus.
- überwacht eine Menge von Sockets.
- erzeugt einen neuen Socket.
- ist nur für TCP Sockets sinnvoll verwendbar.
- blockiert, bis mind. ein Socket bereit wird oder (falls angegeben) ein Timeout auftritt.



e)\* Gegeben sei obenstehendes Netzwerk mit dem NAT-Router R. **PC2** schickt einen HTTP-Request an den **Server**. Was ist die Source IP Adresse im IP-Paket an Stelle **P2**?

- 127.0.0.1
- 185.86.235.241
- 192.168.1.254
- 192.168.1.1
- 131.159.20.19
- 192.168.1.2

f)\* Gegeben sei obenstehendes Netzwerk mit dem NAT-Router R. Der **Server** schickt, innerhalb der bereits bestehenden Verbindung, eine HTTP-Reply an **PC2**. Was ist die Destination IP Adresse im IP-Paket an Stelle **P2**?

- 131.159.20.19
- 127.0.0.1
- 192.168.1.254
- 185.86.235.241
- 192.168.1.1
- 192.168.1.2

g)\* Gegeben sei obenstehendes Netzwerk mit dem NAT-Router R. Der **Server** schickt, innerhalb der bereits bestehenden Verbindung, eine HTTP-Reply an **PC2**. Was ist der Destination Port im Segment an Stelle **P1**?

- |                                |                              |                               |  |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> 65535 | <input type="checkbox"/> 443 | <input type="checkbox"/> 8006 | <input checked="" type="checkbox"/> 4657 |
| <input type="checkbox"/> 8005  | <input type="checkbox"/> 80  | <input type="checkbox"/> 4658 | <input type="checkbox"/> 1024            |

#### Aufgabe 4 Multiple Choice (9 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



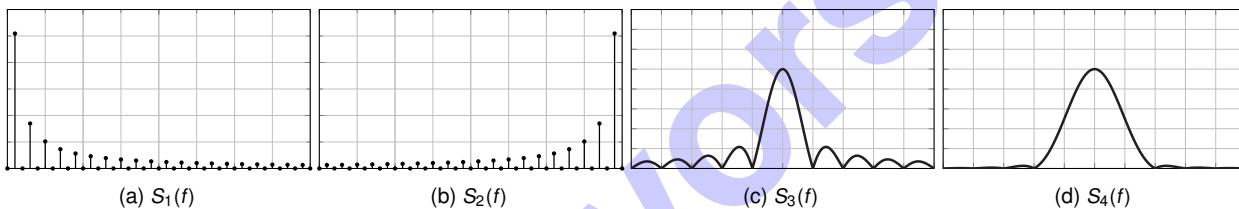
Kreuze können durch vollständiges Ausfüllen gestrichen werden



Gestrichene Antworten können durch nebenstehende Markierung erneut angekreuzt werden



a)\* Gegeben seien der Rechtecksimpuls  $s_1(t)$  sowie der  $\cos^2$ -Impuls  $s_2(t)$ . Untenstehende Abbildung zeigt vier verschiedene Spektren. Welche Aussagen sind zutreffend?



- |  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> $s_1(t) \circ\!\!\!-\bullet S_1(f)$ | <input checked="" type="checkbox"/> $s_1(t) \circ\!\!\!-\bullet S_3(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \circ\!\!\!-\bullet S_1(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \circ\!\!\!-\bullet S_3(f)$            |
| <input type="checkbox"/> $s_1(t) \circ\!\!\!-\bullet S_2(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_1(t) \circ\!\!\!-\bullet S_4(f)$            | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \circ\!\!\!-\bullet S_2(f)$ | <input checked="" type="checkbox"/> $s_2(t) \circ\!\!\!-\bullet S_4(f)$ |

b)\* Gegeben seien ein Signal  $s(t)$  mit Leistung  $P_s = 10 \text{ mW}$  sowie eine Rauschleistung von  $P_N = 10 \text{ mW}$ . Welchen Wert hat der Signal-zu-Rauschabstand in diesem Fall?

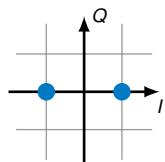
- |                                 |                                |  |                                       |                               |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 10 bit | <input type="checkbox"/> 1 bit | <input checked="" type="checkbox"/> 0 dB | <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 1 dB | <input type="checkbox"/> 10 dB |
|---------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|

c)\* Ein wertkontinuierliches Signal soll im Intervall  $I = [-2; 2]$  quantisiert werden, sodass der maximale Quantisierungsfehler innerhalb von  $I$  höchstens  $1/2$  beträgt. Wie viele Quantisierungsstufen sind dafür mindestens erforderlich?

- |                             |                            |                             |                            |                                       |                            |                             |                             |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 12 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 10 | <input type="checkbox"/> 8 | <input checked="" type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 16 | <input type="checkbox"/> 14 |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|

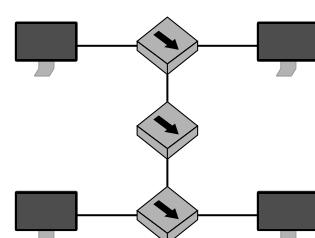
d)\* Nebenstehende Signalraumzuordnung stellt welche(s) Modulationsverfahren dar?

- |                                |   |                                |   |                                |
|--------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1-ASK | <input checked="" type="checkbox"/> 2-PSK | <input type="checkbox"/> 2-QAM | <input checked="" type="checkbox"/> 2-ASK | <input type="checkbox"/> 1-PSK |
|--------------------------------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|



e)\* Aus wie vielen Broadcast-Domänen besteht das nebenstehende Netzwerk?

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



f)\* Aus wie vielen Kollisionsdomänen besteht das nebenstehende Netzwerk?

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

## Aufgabe 5 Frequenzanalyse (18 Punkte)

Gegeben sei der Grundimpuls  $g(t) = 1 - t^2$ , welcher in Abständen von  $T = 2\text{ s}$  periodisch wiederholt wird.

a)\* Zeichnen Sie das resultierende periodische Signal  $s(t)$  in Abbildung 5.1.

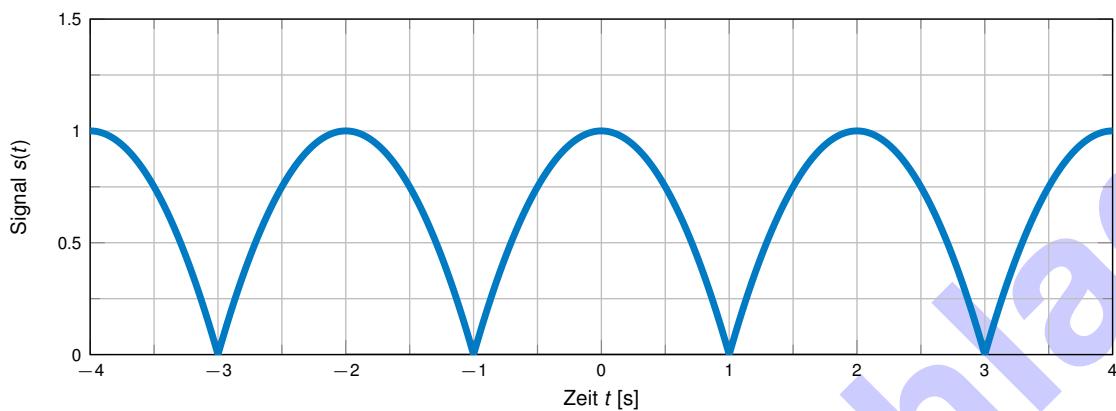
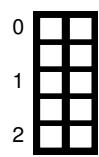


Abbildung 5.1: Periodisches Signal  $s(t)$

b)\* Bestimmen Sie die Kreisfrequenz  $\omega$  des Signals.



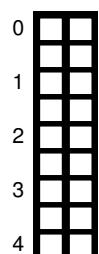
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi$$

c)\* Begründen Sie kurz, ob zur Frequenzanalyse eine Fourierreihe genutzt werden kann.



Ja, da  $s(t)$  periodisch ist, lässt es sich als Summe gewichteter sin und cos Anteile darstellen.

d)\* Bestimmen Sie den Gleichanteil von  $s(t)$ . Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit wie möglich.



$$\begin{aligned}
 a_0 &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) dt \\
 &= \int_{-1}^1 1 - t^2 dt \\
 &= \left[ t - \frac{1}{3}t^3 \right]_{-1}^1 \\
 &= \left( 1 - \frac{1}{3} \right) - \left( -1 + \frac{1}{3} \right) \\
 &= 1 - \frac{1}{3} + 1 - \frac{1}{3} = 2 - \frac{2}{3} = \frac{4}{3}
 \end{aligned}$$

$\Rightarrow$  Gleichanteil  $\frac{a_0}{2} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$

e) Bestimmen Sie das Spektrum von  $s(t)$ . Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit wie möglich. **Hinweise:**

1. Nutzen Sie Symmetrien

$$2. \int x^2 \cos(cx) dx = \frac{(c^2 x^2 - 2) \sin(cx) + 2cx \cos(cx)}{c^3} \quad \text{und} \quad \int x^2 \sin(cx) dx = \frac{(2 - c^2 x^2) \cos(cx) + 2cx \sin(cx)}{c^3}$$

Da  $s(t)$  eine gerade Funktion ist (achsensymmetrisch), sind alle sin-Anteile null.  $\Rightarrow b_k = 0 \forall k \geq 1$ . cos-Anteile  $a_k$  lassen sich wie üblich bestimmen:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s(t) \cos(k\omega t) dt$$

Mit der Kreisfrequenz  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi$  erhalten wir:

$$\begin{aligned} a_k &= \int_{-1}^1 (1-t^2) \cos(k\pi t) dt \\ &= \underbrace{\int_{-1}^1 \cos(k\pi t) dt}_{=0} - \int_{-1}^1 t^2 \cos(k\pi t) dt \\ &= -\frac{1}{k^3 \pi^3} \left[ \underbrace{(k^2 \pi^2 - 2) \sin(k\pi t) + 2k\pi t \cos(k\pi t)}_{=0} \right]_{-1}^1 \\ &= -\frac{2}{k^2 \pi^2} \left[ t \cos(k\pi t) \right]_{-1}^1 \\ &= -\frac{2}{k^2 \pi^2} [\cos(k\pi) - (-\cos(-k\pi))] \\ &= -\frac{4 \cos(k\pi)}{k^2 \pi^2} = \begin{cases} \frac{4}{k^2 \pi^2} & \text{für } k \text{ gerade} \\ \frac{4}{k^2 \pi^2} & \text{für } k \text{ ungerade} \end{cases} \\ &= (-1)^{k+1} \frac{4}{k^2 \pi^2} \end{aligned}$$

Leider wird immer wieder versucht, das Spektrum periodischer Signale mittels Fouriertransformation zu bestimmen. Das geht zwar, ist aber deutlich komplizierter. Zunächst muss ein analytischer Ausdruck für das periodische Signal  $s(t)$  gefunden werden, welcher sich aus der Faltung des Grundimpulses mit einer Dirac-Summe ergibt:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(t) * \delta(t - nT) = g(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT).$$

Hierauf kann nun die Fouriertransformation angewendet werden (man beachte, wie aus der Faltung eine Multiplikation wird):

$$S(\omega') = \mathcal{F} \left\{ g(t) * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \right\} = \mathcal{F} \{g(t)\} \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \mathcal{F} \{\delta(t - nT)\}.$$

Mit der Fouriertransformierten des Dirac-Impulses  $\delta(t - nT) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{2\pi}{T} \delta(\omega' - n\frac{2\pi}{T})$  sowie  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  erhalten wir schließlich

$$S(\omega') = G(\omega') \cdot \omega \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\omega' - k\omega).$$

(Im diskreten Frequenzbereich ist die Nutzung von  $k$  anstelle von  $n$  üblich.)

Dabei bezeichnet hier  $\omega'$  die frequenzkontinuierliche Variable, während  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  (wie in dieser Aufgabe angenommen) die Kreisfrequenz ist. Die Multiplikation von  $G(\omega')$  mit einer Dirac-Summe im Frequenzbereich ergibt **dasselbe diskrete Spektrum**, wie man es aus der Fourierreihe erhalten hätte. Dabei entsprechen die Realanteile von  $S(\omega')$  den  $a_k$  und die Imaginäranteile den  $b_k$ .

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

## Aufgabe 6 Kanal- und Leitungskodierung (18 Punkte)

0  
1  
2

a)\* Erläutern Sie kurz in Ihren eigenen Worten, was **Kanalcodes** sind und wozu sie genutzt werden.

Kanalcodes fügen den zu übertragenen Daten gezielt (strukturiert) Redundanz hinzu. Dies ermöglicht Fehlererkennung und -korrektur.

0  
1  
2

b)\* Erläutern Sie kurz in Ihren eigenen Worten, was **Leitungscodes** sind und wozu sie genutzt werden.

Leitungscodes sind Abbildungsvorschriften, um Kanalwörter (oder auch einzelne Bits) in eine physikalische Darstellung zu überführen.

Im Folgenden betrachten wir als Nachricht den String **LOL**.

0  
1  
2

c)\* Geben Sie den String ASCII-kodiert in binärer Darstellung an. Nutzen Sie dabei pro Zeichen 8 bit.

**Hinweis:** Es empfiehlt sich, die binäre Nachricht in Gruppen zu je 4 bit anzugeben.

Direkt vom Cheatsheet ablesbar:

$0x4c\ 0x4f\ 0x4c = 0100|1100\ 0100|1111\ 0100|1100$

Vor der Übertragung wird die Nachricht mit dem 4B5B-Code (siehe Tabelle 6.1) kodiert.

0  
1  
2

d)\* Wozu dient der 4B5B-Code?

Dem Hinzufügen von Steuerzeichen.

0  
1  
2

e) Begründen Sie, ob es sich beim 4B5B-Code um einen Kanalcode oder einen Leitungscode handelt.

Streng genommen handelt es sich weder um einen Kanal- noch einen Leitungscode, sondern einfach nur um einen Blockcode:

1. Leitungscodes definieren, wie Bits (oder Bitgruppen) durch physikalisch messbare Größen dargestellt werden. Eben das tut der 4B5B-Code jedoch nicht. Erst in Kombination mit einem Leitungscode wie MLT-3 (der auch ohne 4B5B-Code genutzt werden kann, findet eine Übersetzung in phys. Größen statt. Dennoch wird der 4B5B-Code in der Literatur zumeist als Leitungscode bezeichnet.
2. Kanalcodes fügen strukturiert Redundanz hinzu, um Fehler erkennen und korrigieren zu können. Der 4B5B-Code stellt hingegen nur Steuerzeichen bereit, die durchaus für die Übertragung relevante Information beinhalten und damit keine Redundanz sind. Insbesondere dient der 4B5B-Code nicht der Erkennung oder Korrektur von Übertragungsfehlern. Steuerzeichen wie Start/Stop können im weiteren Sinne als L1-Header verstanden werden – bei einem IP-Header handelt es sich auch nicht um redundante Information.

0  
1  
2

f) Geben Sie die binäre Nachricht aus Teilaufgabe c) an, nachdem sie mittels 4B5B kodiert wurde.

**Hinweis:** Es empfiehlt sich, die binäre Nachricht in Gruppen zu je 5 bit anzugeben.

$0x4c\ 0x4f\ 0x4c = 0100|1100\ 0100|1111\ 0100|1100 \mapsto 01010|11010\ 01010|11101\ 01010|11010$

Eingabe	Ausgabe	Bedeutung	Eingabe	Ausgabe	Bedeutung
0000	11110	Hex data 0	1100	11010	Hex Data C
0001	01001	Hex data 1	1101	11011	Hex Data D
0010	10100	Hex data 2	1110	11100	Hex Data E
0011	10101	Hex data 3	1111	11101	Hex Data F
0100	01010	Hex data 4	-	00000	Quiet (Q)
0101	01011	Hex data 5	-	11111	Idle (I)
0110	01110	Hex data 6	-	11000	Start #1 (J)
0111	01111	Hex data 7	-	10001	Start #2 (K)
1000	10010	Hex data 8	-	01101	End (T)
1001	10011	Hex data 9	-	00111	Reset (R)
1010	10110	Hex data A	-	11001	Set (S)
1011	10111	Hex data B	-	00100	Halt (H)

Tabelle 6.1: 4B5B Kodierungstabelle

Um die Nachricht zu übertragen, wird zu Beginn der Nachricht das Symbol J/K und am Ende der Nachricht das Symbol T/R eingefügt.

g)\* Wozu dienen die beiden Symbole?

Dem Erkennen von Beginn und Ende der Nachricht beim Empfänger.

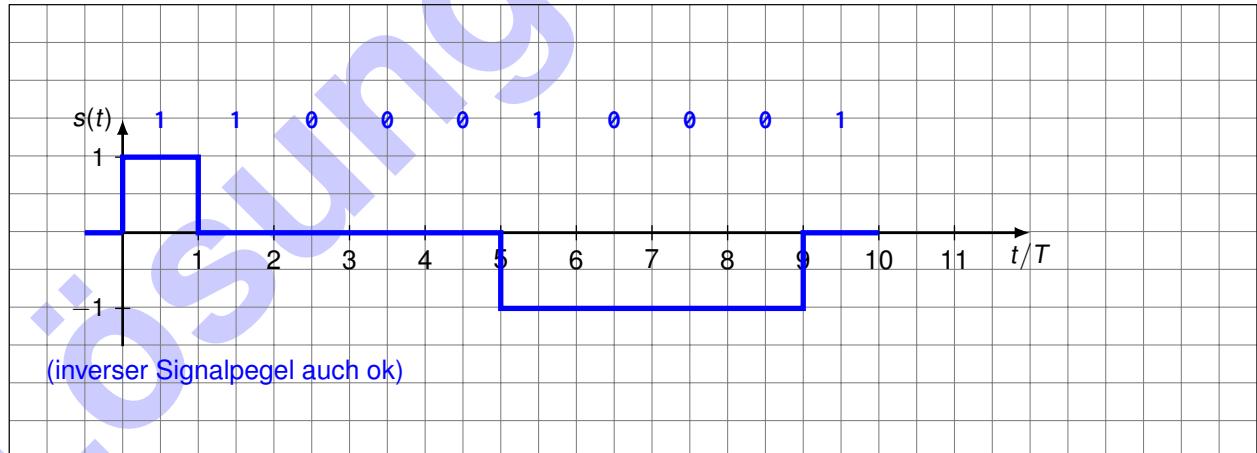
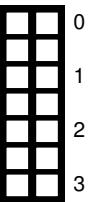


h)\* Geben Sie die ersten 10 bit der so entstehenden Nachricht an.

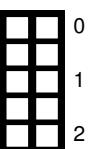
Die ersten 10 bit sind das J/K Symbol, also 11000 10001.



i) Als Leitungscode werde MLT-3 eingesetzt. Zeichnen Sie den Signalverlauf  $s(t)$  für die ersten 10 bit der übertragenen Nachricht. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  gelte  $s(t) = 0$ .



j)\* Eine gedächtnislose Quelle  $\mathcal{Q}$  emittiert Zeichen des 4B5B-Codes. Dabei ist die Auftrittswahrscheinlichkeit aller 24 Zeichen gleich hoch, nur die 0 (Hex data 0) und Quiet (Q) kommen doppelt so oft vor wie die anderen Zeichen. Berechnen Sie (mit Rechenweg) die Entropie  $H$  von  $\mathcal{Q}$ .



$$H(\mathcal{Q}) = - \sum_{x \in [1..22]} \frac{1}{26} \cdot \log_2 \left( \frac{1}{26} \right) - 2 \cdot \frac{1}{13} \cdot \log_2 \left( \frac{1}{13} \right) = 4,55 \text{ bit}$$

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

