Chair of Network Architectures and Services
School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

Esolution
Sticker mit SRID hier einkleben

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:**	Montag, 6. Oktober 2025
Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. Georg Carle	**Uhrzeit:**	11:00 – 12:30

Lösungsvorschlag

Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **16 Seiten** mit insgesamt **6 Aufgaben**.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Klausur beträgt 90 Punkte.
- Als Hilfsmittel sind zugelassen:
  - ein **nicht-programmierbarer Taschenrechner**
  - ein **analoges Wörterbuch** Deutsch ↔ Muttersprache **ohne Anmerkungen**
  - das der Klausur beigelegte **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.
- Rechenergebnisse sind grundsätzlich in für den Wert und dessen Bedeutung **sinnvollen Einheiten** anzugeben, soweit dies nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Schreiben Sie weder mit roter / grüner Farbe noch mit Bleistift.
- Das Heraustrennen von Seiten aus der Prüfung ist untersagt.
- 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)

Kreuzen Sie richtige Antworten an ☒

Kreuze können durch vollständiges Ausfüllen gestrichen werden ■

Gestrichene Antworten können durch nebenstehende Markierung erneut angekreuzt werden ✕■

Die folgenden Teilaufgaben 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.

a)* Welche Aussage(n) zur Datenübertragung über optische Leiter sind korrekt?

- [x] Sie ermöglichen hohe Datenraten im Vergleich zu elektrischen Leitern.
- [ ] Sie müssen für hohe Datenraten elektrisch geschirmt werden (S/STP).
- [x] Sie können weite Strecken überbrücken.
- [ ] Sie werden oft mit RJ45-Steckern verwendet.

b)* Welche der folgenden IPv6-Adressen ist/sind, wie in der Vorlesung vorgestellt, vollständig gekürzt?

- [ ] `2001:db8:0:0::ef::f`
- [x] `2001:db8::e0f:0:0:f0`
- [ ] `2001:db8:0:0::e0f::f0`
- [ ] `2001:0db8:0000:0000:0e0f:0000:0000:00f0`
- [ ] `2001:db8:0:0:e0f:0:0:f0`
- [ ] `2001:db8::e0f::f0`

c)* Sie empfangen die Bitfolge `101111`, welche mithilfe von CRC mit dem Reduktionspolynom $r(x) = x^3 + x^2 + 1$ gesichert wurde. Welche der folgenden Aussagen trifft/treffen zu?

- [x] Die Prüfsumme passt nicht zur Nachricht.
- [ ] Die empfangene Nachricht ist `1011`.
- [ ] Die empfangene Nachricht ist `1111`.
- [ ] Die empfangene Nachricht ist `111`.
- [x] Die empfangene Nachricht ist `101`.
- [ ] Die Prüfsumme passt zur Nachricht.

d)* Wie lautet die mithilfe von SLAAC generierte Link-Local Adresse für ein Interface mit der MAC-Adresse `00:12:e8:ff:fe:15`? Dem Netzwerk wurde das Präfix `2001:0db8:000a:000b:0000:0000:0000:0000/64` zugewiesen.

- [ ] `2001:0db8:000a:000b:0212:e8ff:feff:fe15`
- [x] `fe80:0000:0000:0000:0212:e8ff:feff:fe15`
- [ ] `fe80:0000:0000:0000:0012:e8ff:feff:fe15`
- [ ] `2001:0db8:000a:000b:0012:e8ff:feff:fe15`

e)* Welche Aussage(n) zu CSMA/CD ist/sind korrekt?

- [ ] Wird eine Kollision erkannt, gilt die Übertragung als erfolgreich.
- [ ] Wenn eine Kollision erkennt wird, wird **kein** Jam-Signal versandt.
- [ ] Es werden Bestätigungen versandt.
- [x] Zur verlässlichen Erkennung von Kollisionen darf die Distanz zwischen zwei Knoten eine definierte Obergrenze nicht überschreiten.

f)* Welche Aussage(n) zu X.509 Zertifikaten und deren Verwendung ist/sind korrekt?

- [x] X.509 Zertifikate werden im TLS 1.3 Handshake immer nach dem Client Hello geschickt.
- [ ] Ein X.509 Zertifikat enthält den privaten Schlüssel.
- [ ] Ein handelsüblicher Browser akzeptiert nur im Browser-Zertifikatsspeicher hinterlegte Zertifikate.
- [x] Ein X.509 Zertifikat enthält den öffentlichen Schlüssel.

Lösungsvorschlag

g)* Welche(s) Merkmal(e) hat ein digitales Signal?

☐ zeitkontinuierlich ☒ wertdiskret ☒ zeitdiskret ☐ wertkontinuierlich

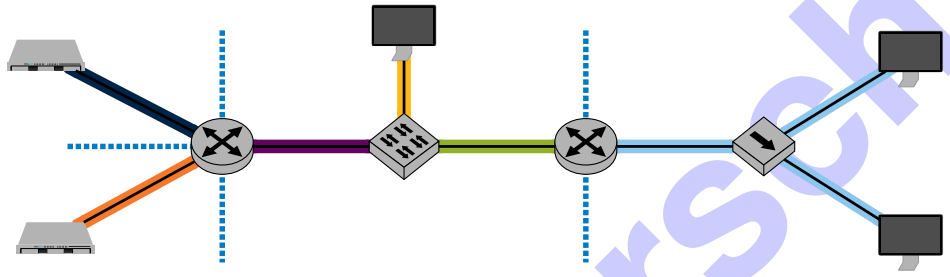
h)* Die gedächtnislose Quelle Q emittiert Zeichen des Alphabets X gemäß der Auftrittswahrscheinlichkeiten des unten gegebenen Ausschnitts. Welche Entropie hat Q auf zwei Nachkommastellen gerundet?

$Q \xrightarrow{X}$ ♣ ♣ ♢ ♣ ♢ ♣ ♡ ♣ ♠ ♡ . . . $\quad X \in \{♣, ♢, ♡, ♠\}$

☐ 1,63 ☐ 0 ☐ 1,30 ☒ 1,76 ☐ anderer Wert ☐ 1,96

i)* Beim Versenden von Daten über Netzwerke ist eine Konversion von Zahlenwerten in die Network Byte Order zwingend notwendig auf. . .

☐ allen Systemen. ☒ Little-Endian Systemen. ☐ Big-Endian Systemen.



j)* Wie viele Kollisionsdomänen gibt es im obenstehenden Netzwerk?

☐ 5 ☐ 4 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 1 ☐ 3 ☐ 2 ☒ 6

k)* Wie viele Broadcastdomänen gibt es in obenstehenden Netzwerk?

☐ 1 ☐ 8 ☐ 2 ☒ 4 ☐ 3 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7

l)* Wir übertragen eine 1500 B lange Nachricht über eine Distanz von 100 km mit einer Übertragungsrate von 100 Mbit/s. Wie lange ist die Serialisierungszeit dieser Nachricht?

☐ anderer Wert ☐ 5 ms ☐ 1,2 ms ☒ 120 µs ☐ 12 µs ☐ 0,6 ms

m)* Welche Koeffizienten a_k sind Teil des Spektrums des Signals $s(t)$ aus Abbildung 1.1?

☐ $a_2 = 0.8$ ☐ $a_8 = 0.5$ ☐ $a_0 = 0.2$ ☒ $a_0 = 0.4$ ☐ $a_0 = 0$ ☐ $a_2 = 0.2$

n)* Welche Koeffizienten b_k sind Teil des Spektrums des Signals $s(t)$ aus Abbildung 1.1?

☐ $b_0 = 0.2$ ☐ $b_8 = 0.5$ ☒ $b_5 = 0.8$ ☐ $b_{10} = 0.4$ ☐ $b_2 = 0.3$ ☐ $b_1 = 1$

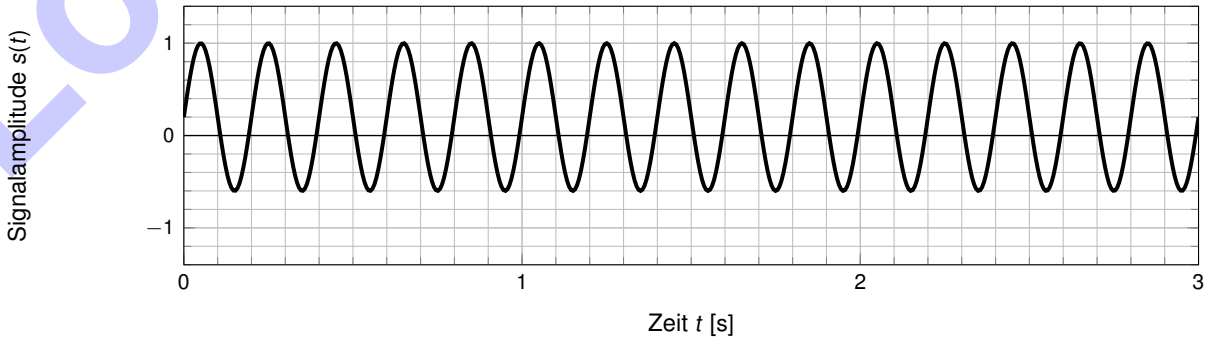


Abbildung 1.1: Zeitperiodisches Signal mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$ und $T = 1\,\text{s}$

Lösungsvorschlag

Aufgabe 2 Funken & Frequenzen (16 Punkte)

Ein U-Bahn Betrieb betreibt ein Analogfunksystem zur Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und der Betriebsbasis. Zur Verbesserung der Effizienz und Qualität und vor Allem auch um neben Sprachkommunikation auch Daten übermitteln zu können, soll das Funksystem nun auf Digitalfunk umgerüstet werden.

0 1

a)* Die bisherige analoge Übertragung ist wegen häufigen Kollisionen zu fehleranfällig. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Kanal durch einen anderen Sender in einem Sende-Slot belegt ist, $p_e = 0{,}4$. Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass **mehr als drei** Versuche benötigt werden um eine Nachricht erfolgreich zu übertragen. Gehen Sie davon aus, dass Sendeversuche voneinander unabhängig sind.

$$p_s = 1 - p_e$$

$$Pr[X > 3] = 1 - P[X \leq 3] = 1 - (p_s + p_e \cdot p_s + p_e^2 \cdot p_s) = 1 - (0.6 + 0.4 \cdot 0.6 + 0.4^2 \cdot 0.6) = 0{,}064 = 6{,}4\,\%$$

Für den Digitalfunk stehen nun im Frequenzband von 876 MHz bis 880 MHz mehrere Kanäle mit einer Bandbreite von je 200 kHz zur Verfügung.

0 1

b)* Berechnen Sie die Anzahl der zur Verfügung stehenden Kanäle.

$$N_{\text{Kanäle}} = \frac{880\,\text{MHz} - 876\,\text{MHz}}{200\,\text{kHz}} = \frac{4\,\text{MHz}}{200\,\text{kHz}} = 20$$

Wir analysieren nun einen der Kanäle zur Datenübertragung im Hinblick auf die Kanalkapazität. In einem ungünstigen Fall kann das Funkgerät eine maximal erwartete Rauschleistung von 180 mW durch die Erhöhung der Sendeleistung auf maximal 2 W kompensieren.

0 1

c)* Berechnen Sie das Signal-Rausch-Verhältnis in dB für diesen Fall.

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{2\,\text{W}}{180\,\text{mW}}\right) \approx 10{,}46\,\text{dB}$$

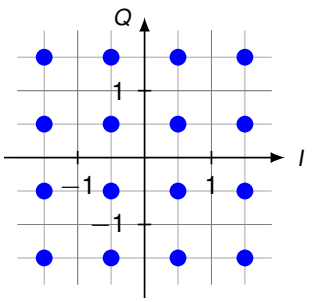
0 1 2

d)* Berechnen Sie die Kanalkapazität, die in diesem ungünstigen Fall maximal erreicht werden kann.
Hinweis: Gehen Sie vereinfachend von der gesamten Kanalbandbreite von $B = 200$ kHz aus.

$$C_S = B \cdot log_2\left(1 + \frac{2\,\text{W}}{180\,\text{mW}}\right) = 200\,\text{kHz} \cdot log_2(12.111\ldots)$$

$$\approx 719{,}65\,\text{kbit/s}$$

Die effektiv erzielbare Datenrate ist geringer als die Kanalkapazität und ist von Faktoren der Kanalkodierung, Leitungskodierung und Modulation abhängig. In diesem Fall kommen ein Encoder mit einer Coderate von $^7/_8$ und einer Kanalwortlänge von 64 bit, sowie als Modulationsverfahren 16-QAM zum Einsatz.



0 1

e)* Zeichnen Sie in die Abbildung rechts eine für das Modulationsverfahren gültige und übliche Signalraumzuordnung ohne Codewörter ein.

Lösungsvorschlag

f)* Berechnen Sie die Anzahl an Bit x, die pro moduliertem **Sendesymbol** übertragen werden.

0 1

$x = log_2(16)\,\text{bit} = 4\,\text{bit}$

g)* Bestimmen Sie die Nutzdatenmenge, die unter Verwendung des Encoders pro **Kanalwort** übertragen werden können.

0 1

$k = 64\,\text{bit} \cdot {}^{7}/_{8} = 56\,\text{bit}$

h) Es soll nun eine Nachricht mit einer Länge von $L = 43\,\text{B}$ versendet werden. Wie viele **Sendesymbole** werden unter Verwendung des genannten Encoders und Modulationsverfahrens für die Nachricht benötigt?

0 1 2

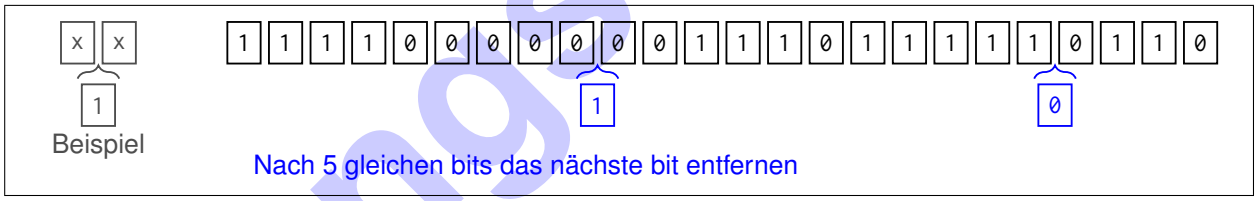
$$N_{\text{Kanalwörter}} = \left\lceil \frac{L}{k} \right\rceil = \left\lceil \frac{43\,\text{B}}{56\,\text{bit}} \right\rceil = 7$$

$$N_{\text{Sendesymbole}} = \left\lceil \frac{N_{\text{Kanalwörter}} \cdot n}{x} \right\rceil = \left\lceil \frac{7 \cdot 64\,\text{bit}}{4\,\text{bit}} \right\rceil = 112$$

Manche Nachrichten werden nach dem Empfangen über Funk im Fahrzeug über einen CAN-Bus weiter verteilt. Dieser verwendet den NRZ-Leitungscode, um 1 bit pro Sendesymbol zu übertragen. Bevor die Nachrichten kodiert werden, wird im CAN-Protokoll noch Bit-Stopfen angewendet. Dabei wird nach einer Folge von **fünf gleichen Bits** ein **gegenwertiges** Bit in die Nachricht eingefügt. Auf der Empfängerseite werden die so eingefügten Bits nach der Dekodierung wieder entfernt.

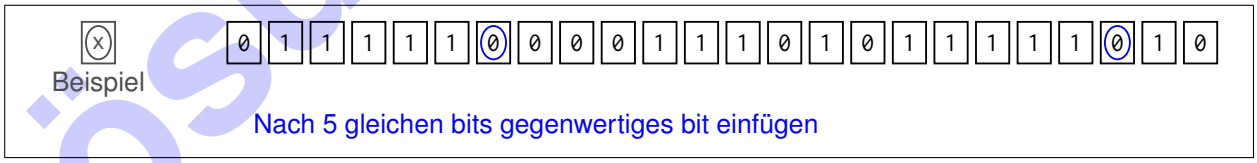
i)* Gegeben ist ein Ausschnitt einer **zu sendenden** Nachricht. Fügen Sie die Bits mit richtigem Wert an der richtigen Stelle so ein, wie sie beim oben beschriebenen Bit-Stopfen eingefügt werden.

0 1 2



j)* Gegeben ist ein Ausschnitt einer anderen, **empfangenen** Nachricht. Markieren Sie die Bits, die beim Rückgängig machen des Bit-Stopfen entfernt werden, durch Einkreisen.

0 1



k)* Begründen Sie, warum Bit-Stopfen beim CAN-Protokoll angewendet werden muss.
Hinweis: Es ist kein Wissen über CAN erforderlich. Beachten Sie die Informationen im Text.

0 1 2

Da kein eigenes Clock-Signal existiert und der NRZ-Leitungscode nicht taktrückgewinnend ist, erfolgt die Taktsynchronisierung laufend über Pegelwechsel in der Nachricht. Durch das Einfügen eines gegenwertigen Bits wird spätestens alle 5 Takte ein Pegelwechsel erzwungen. So wird sicher gestellt, dass die Taktsynchronisierung auch bei längeren Folgen gleichwertiger bits möglich ist.

Lösungsvorschlag

Aufgabe 3 Vor langer Zeit in einer weit, weit entfernten Galaxis... (13 Punkte)

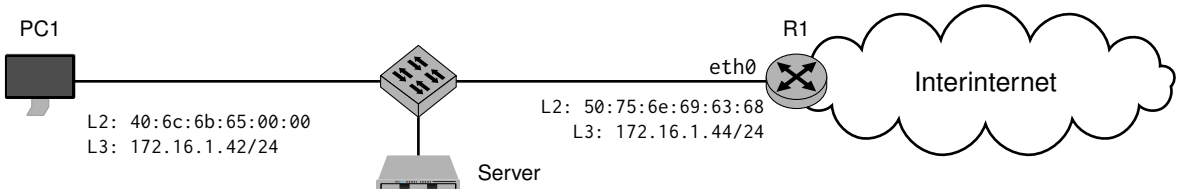


Abbildung 3.1: Netzwerktopologie

Die lokale Bevölkerung eines Sandwüstenplaneten hat das in Abbildung 3.1 dargestellte veraltete FastEthernet Netzwerk entdeckt, welches vom leitenden Wissenschaftler Javva zu Testzwecken am intergalaktischen Internet (Interinternet) angeschlossen wurde. Dabei hat er mehrere interessante Pakete mit Payloads des Reverse Address Resolution Protocol (RARP) beobachten können. Glücklicherweise gelten auch im sonstigen Universum die Regeln der IETF, weshalb Javva im RARP RFC 903 folgende Informationen[1] finden konnte:

> RARP is a mechanism for workstations to dynamically find their protocol address (IP-Address), when they know only their hardware address (MAC-Address).
> RARP uses the same packet format that is used by ARP.
> There are two opcodes: 3 ('request reverse') and 4 ('reply reverse').
> When the opcode is 3, the <Sender> and <Target Hardware Address> are the MAC-Address of the sender of the packet, while the Protocol Addresses are undefined.

In Abbildung 3.2 ist eine solche RARP-Anfrage von PC1 dargestellt:

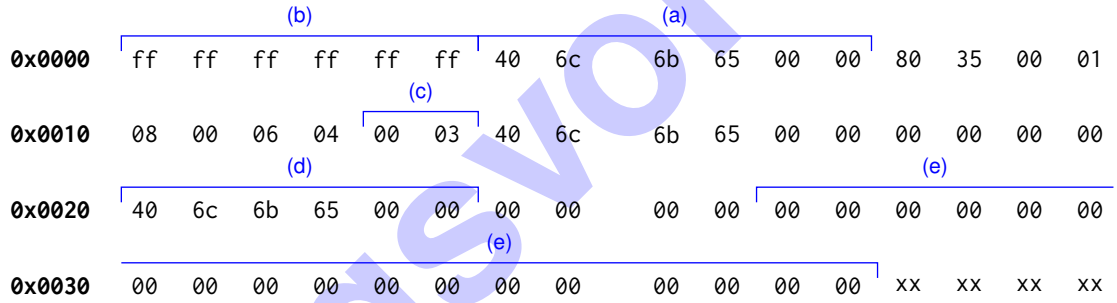


Abbildung 3.2: Ethernet-Rahmen des RARP Requests von PC1 (mit FCS; FCS-Bytes notiert als xx)

Achten Sie in den folgenden Teilaufgaben darauf, dass Markierungen eindeutig einzelnen Teilaufgaben zugeordnet werden können. Nicht nachvollziehbare Aussagen **werden nicht bewertet.**

0 a)* Markieren Sie in Abbildung 3.2 die Absenderadresse auf Schicht 2. (ohne Begründung)

0 1 b)* Markieren Sie in Abbildung 3.2 die Zieladresse auf Schicht 2 und ordnen Sie die Adresse einem Gerät oder einer Funktion zu.

Es handelt sich um die Layer 2 Broadcast-Adresse.

0 1 c)* Markieren Sie in Abbildung 3.2 die Operation der RARP Nachricht (ohne Begründung)

0 1 d)* Markieren Sie in Abbildung 3.2 die Target-Hardware-Adresse der RARP Nachricht (ohne Begründung)

0 e)* Markieren Sie in Abbildung 3.2 das Padding auf Layer 2 und erklären Sie, warum dieses notwendig ist.

Padding ist notwendig, um die minimale Ethernet-Rahmengröße von 64 Byte zu erreichen.

0 1

[1] RFC verkürzt und vereinfacht

Lösungsvorschlag

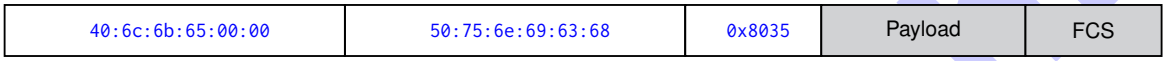
In diesem Netzwerk stellt Router R1 einen RARP Dienst zur Verfügung, der auf RARP Anfragen antwortet und dabei dem anfragenden Host eine IP-Adresse zuweist. Javva möchte den Rahmen, der von R1 als Antwort zur Anfrage von PC1 geschickt wird, überprüfen und erstellt daher den Rahmen zum Vergleich selbst. Aus der RFC erhält Javva folgende weitere Informationen:

```
When the opcode is 4 ('reply reverse'):
* Sender Hardware Address is the MAC-Address of the responder.
* Sender Protocol Address is the IP-Address of the responder.
* Target Hardware Address is the MAC-Address of the target, and should be the same as
that which was given in the request.
* Target Protocol Address is the IP-Address assigned to the target by RARP.
```

Achten Sie in den folgenden Teilaufgaben auf eine eindeutige Kennzeichnung der verwendeten Zahlenbasis. Am Ende der Klausur gibt es weitere Vordrucke. Sollten Sie diese nutzen, kennzeichnen Sie dies **deutlich** in der jeweiligen Teilaufgabe!

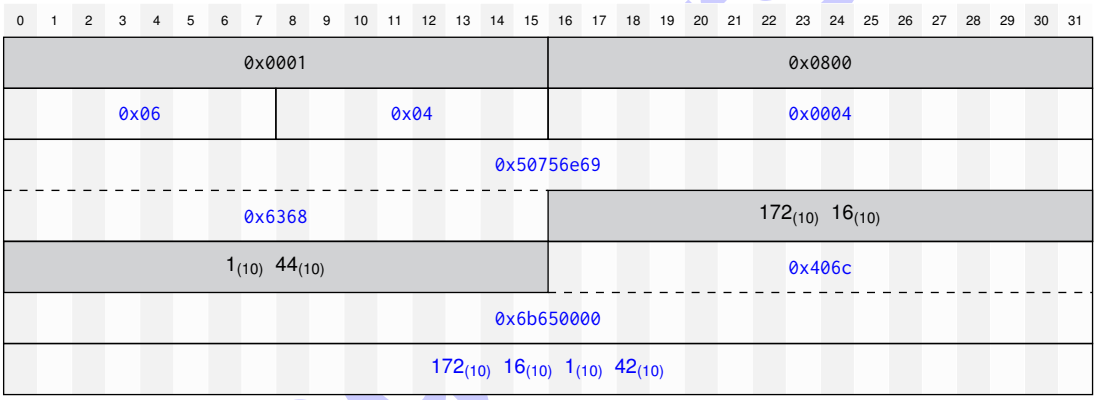
f)* Füllen Sie den Ethernet-Header der von R1 gesendeten Antwort aus.

0 1



g)* Vervollständigen Sie die Payload des Ethernet-Rahmens.

0 1 2 3 4



h)* RARP gilt als veraltet. Nennen Sie den Mechanismus, den man heutzutage typischerweise einsetzt, um eine IPv4-Adresse zugeteilt zu bekommen.

0 1

DHCP

i)* Begründen Sie, ob der Server aus Abbildung 3.1 die Antwort von R1 auch erhalten wird.

0 1

Nein, da der Switch nach dem Weiterleiten des Requests die MAC-Adresse von PC1 mit dem entsprechenden Port assoziiert hat und daher die Antwort an diese Ziel-MAC-Adresse auch nur noch an diesen Port weiterleiten wird.

Lösungsvorschlag

Aufgabe 4 Vor- und rückwärtige Auflösungen im Domänennamenssystem (11.5 Punkte)

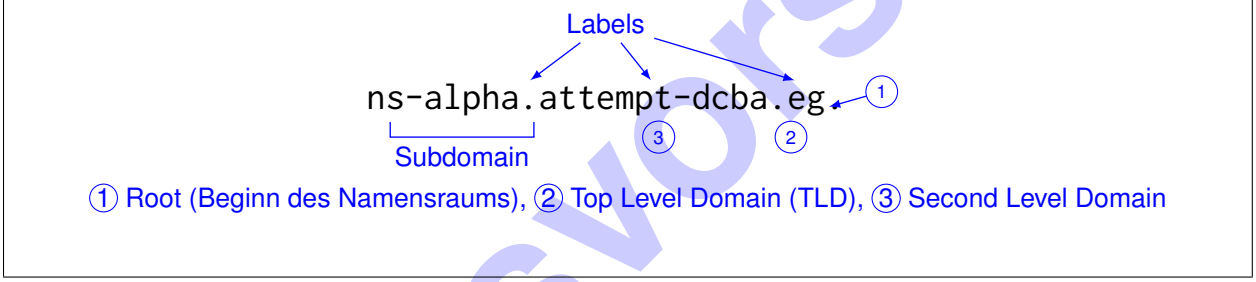
Sie arbeiten als Werksstudent bei der Firma Attempt dcba eG in der IT. In Abbildung 4.1 finden Sie die Zonendatei der Zone "attempt-dcba.eg.". Ihre Regional Internet Registry (RIR) hat bereits die Reverse DNS Zone für das Ihrer Firma zugewiesene Präfix 2001:dcba:efac::/48 auf die Nameserver der Firma delegiert.

```
$TTL 3600
$ORIGIN attempt-dcba.eg.
attempt-dcba.eg.            IN    SOA     ns.attempt-dcba.eg. hostmaster.attempt-dcba.eg.
                                          (250804 1800 30 604800 1800)
attempt-dcba.eg.            IN    NS      ns-alpha
attempt-dcba.eg.            IN    NS      ns-beta
ns-alpha                    IN    AAAA    2001:dcba:efac:42::aaaa
ns-beta                     IN    AAAA    2001:4ca0:42::7777
cows.chew.grass             IN    AAAA    2001:dcba:efac:1:affe:b:c0:d00
resolver                    IN    AAAA    2001:dcba:efac::eeee
$TTL 2678400
memes                       IN    AAAA    2001:dcba:efac:fefe::3e3e
```

Abbildung 4.1: Zonendatei für die Zone attempt-dcba.eg. vor Änderung aus Teilaufgabe f)

0 1 2

a)* Benennen Sie die einzelnen Bestandteile des FQDNs, sofern es dafür gängige Bezeichnungen gibt.



① Root (Beginn des Namensraums), ② Top Level Domain (TLD), ③ Second Level Domain

Ihr Vorgesetzter gibt ihnen den Auftrag, die notwendigen Änderungen am DNS-Server der Firma vorzunehmen, sodass Reverse DNS Anfragen für cows.chew.grass.attempt-dcba.eg. funktionieren.

0 1 2

b)* Wie lautet der Reverse DNS Domänenname, der zur IP Adresse von cows.chew.grass.attempt-dcba.eg. gehört? Markieren Sie zusätzlich den Teil des Domänennamens, welcher von der RIR an ihren Nameserver delegiert wurde.

0.0.d.0.0.c.0.0.b.0.0.0.e.f.f.a.1.0.0.0.c.a.f.e.a.b.c.d.1.0.0.2.ip6.arpa.

0 1

c)* Wie lautet der Resource Record (RR) Typ und Wert für den Reverse DNS Domänennamen aus Teilaufgabe b).

RR Typ: PTR

Wert: cows.chew.grass.attempt-dcba.eg.

0 1

d)* Nach jeder Änderung an Zonendateien muss ein Feld/Wert abgeändert werden. Wie lautet der Name dieses Feldes/Wertes? Wie muss dieses/r grundsätzlich angepasst werden?

Die Seriennummer muss erhöht werden. (Dies muss nicht notwendigerweise ein Zeitstempel sein.)

Lösungsvorschlag

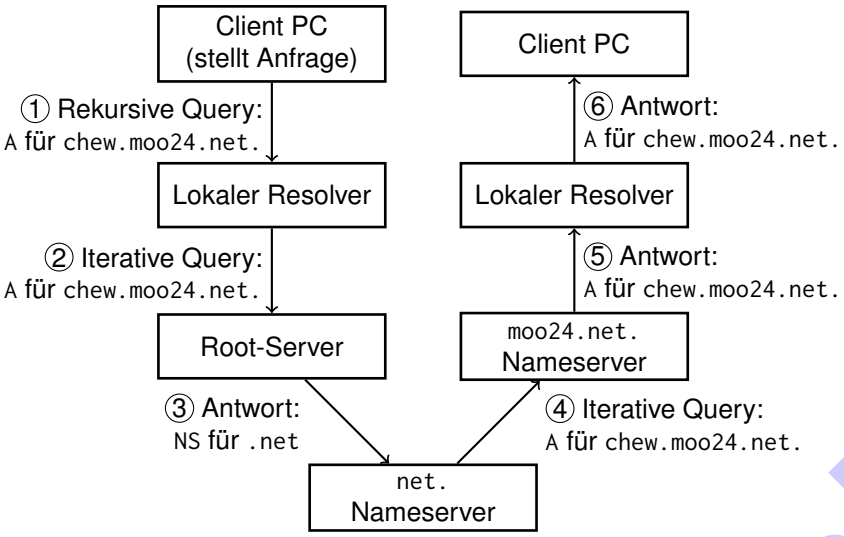


Abbildung 4.2: Antwort des LLMs

Ihr Vorgesetzter möchte, dass Sie die Zuverlässigkeit von *Large Language Models* (LLMs) testen. Da Sie in GRNVS gelernt haben, wie DNS Anfragen funktionieren, fragen Sie ein LLM, ein Diagramm der einzelnen Nachrichten von Gerät zu Gerät bei einem Abfrageprozess für `chew.moo24.net.` nach einer IPv6 Adresse zu zeichnen. Es wird ein lokaler Resolver benutzt, der einen leeren Cache besitzt.
Das LLM generierte die Antwort aus Abbildung 4.2.

e)* Offensichtlich ist die Antwort des LLMs falsch. Erklären Sie zwei verschiedene grundsätzliche Fehler.

0 1 2 3

- ③: `.net` statt `net.`
- `A` statt `AAAA`, da nach IPv6 Adressen gefragt ist
- ② ist in der Grafik nicht iterativ umgesetzt. Der lokale Resolver muss bei der eingehenden iterativen Anfrage wie folgt vorgehen: der lokale Resolver fragt nacheinander den Root-Server, den `net.`-Nameserver und den `moo24.net.`-Nameserver iterativ an, welche immer direkt dem lokalen Resolver antworten, bis der lokale Resolver die finale Antwort erhalten hat.

Alle Geräte von Attempt dcba eG benutzen den rekursiven Resolver `resolver.attempt-dcba.eg.`.
Da aufgrund hoher Last des firmeninternen Memeservers `memes.attempt-dcba.eg.` ein zweiter Memeserver angeschafft wurde, konfiguriert ihr Kollege die Nameserver so, dass bei jeder `AAAA`-DNS-Anfrage nach der Memeserver-Domain zufällig *eine* der IPv6 Adressen der beiden Memeserver mit der bisher für diese Domain konfigurierten TTL zurückgegeben wird.

f)* Nehmen Sie Stellung zur DNS-basierten Umsetzung ihres Kollegen zur Lastverteilung. Wird die Maßnahme funktionieren? Begründen Sie.
Hinweis: Achten Sie auf die TTL!

0 1 2

☒ Die Lastverteilung wird **nicht** wie gewünscht funktionieren.

☐ Die Lastverteilung wird wie gewünscht funktionieren.

Nein, der Vorschlag des Kollegen wird nicht funktionieren, da der Resolver `2001:dcba:efac::eeee` das Ergebnis für maximal 31 Tage zwischenspeichern wird und die gecachte Variante an alle Nutzer des Resolvers ausliefern wird. Dies sind alle Mitarbeiter, da dessen Geräte den Resolver verwenden. Somit wird die Last in der Regel nur auf einen der beiden Server treffen.
Hinweis: ohne korrekte Begründung gibt es keine Punkte für die grundsätzliche Entscheidung.

Lösungsvorschlag

Aufgabe 5 IPv4, UDP und NAT Hole Punching (13 Punkte)

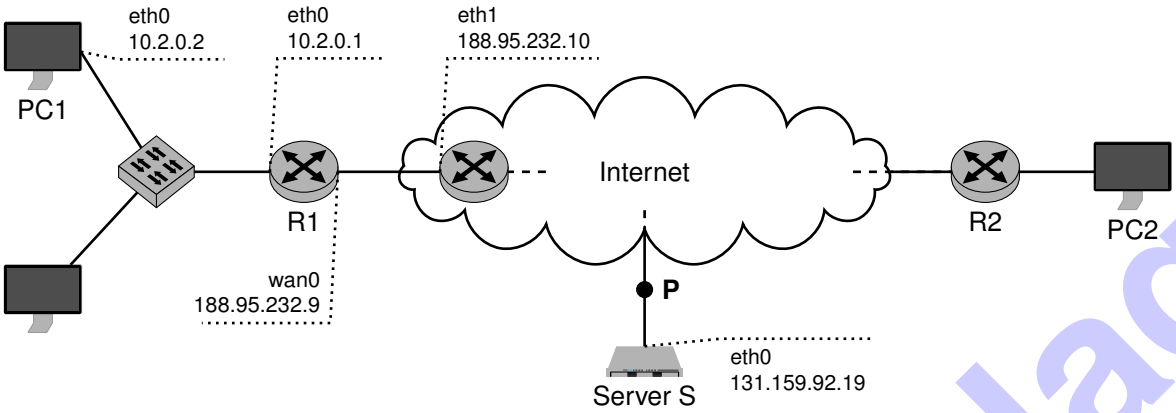


Abbildung 5.1: Netzwerktopologie

Abbildung 5.1 zeigt zwei Netze, die jeweils über Router mit dem Internet verbunden sind. Ziel ist es, zwischen PC1 und PC2 direkt UDP-Pakete auszutauschen. R1 und R2 sind NAT-fähige Router und die PCs haben nur lokale bzw. private Adressen und sind zunächst nicht direkt adressier- und erreichbar. Um dieses Problem zu umgehen, wird sogenanntes Hole Punching eingesetzt, bei welchem beide PCs eine Verbindung zu einem bekannten Server S aufbauen, wodurch entsprechende NAT Einträge erzeugt werden. Der Server kann dann beiden Teilnehmern die öffentliche IP Adresse und den Port des jeweiligen Kommunikationspartners mitteilen. Anschließend können entsprechende bestehende NAT-Einträge "missbraucht" werden, um über die bekannten Ports direkt kommunizieren zu können.

Zunächst betrachten wir nur das Netz, das direkt mit Router R1 verbunden ist. Hier sollen R1 und PC1 so konfiguriert werden, dass Adressen im Internet erreicht werden können. Für das Verbindungsnetz zwischen R1 und dem Router des ISPs (IP: 188.95.232.10) wird das Netz 188.95.232.8/30 verwendet.

0 1

a)* Aus welchem Grund wird, insbesondere bei IPv4, NAT benutzt und wie hilft es dabei?

Umgehung der Adressknappheit bei IPv4, da nur eine öffentliche IP Adresse für ein ganzes (Teil-)Netz benötigt wird.

0 1

b)* Wählen Sie das kleinste mögliche Netz, um Adressen für bis zu 64 Hosts im lokalen Netz hinter R1 zur Verfügung zu stellen. Berechnen Sie die Netzadresse und die Präfixlänge des gewählten Netzes.

Netzadresse: `10.2.0.0` Präfixlänge: 25

Rechnung: $\lceil log_2(64+2) \rceil = 7 \rightarrow 32 - 7 = 25$

0 1 2 3

c) Geben Sie die minimal notwendige Konfiguration der Routingtabellen von PC1 und R1 an, um bidirektionale Kommunikation mit dem Internet zu ermöglichen. **Hinweis:** Es werden nicht alle Tabellenzeilen benötigt.

Destination	Next Hop	Iface
10.2.0.0/25	0.0.0.0	eth0
0.0.0.0/0	10.2.0.1	eth0

Routing-Tabelle von PC1

Destination	Next Hop	Iface
188.95.232.8/30	0.0.0.0	wan0
10.2.0.0/25	0.0.0.0	eth0
0.0.0.0/0	188.95.232.10	wan0

Routing-Tabelle von R1

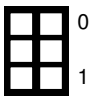
Lösungsvorschlag

Wir betrachten nun die nötige Interaktion der PCs mit dem Server **aus Sicht von PC1**. Die Implementierung basiert auf dem UDP Protokoll.
PC1 muss die öffentliche IP-Adresse des Routers R2 herausfinden. Dazu wird ein UDP-Paket an Port 3478 des öffentlich erreichbaren Servers S geschickt, der in seiner Antwort Informationen über die öffentliche IP und den zu benutzenden Port gibt. Als Quellport wählt er dabei 1234.

d) Begründen Sie, warum PC1 die öffentliche IP-Adresse von R2 statt der von PC2 benötigt.

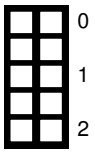
PC2 hat nur eine private IP-Adresse, die nicht im Internet geroutet wird.

e) Tragen Sie den aus der Anfrage entstandenen Eintrag in der NAT-Tabelle von Router R1 ein. Falls es keine Überschneidungen gibt, werden lokale Ports auf identische öffentliche Ports übersetzt.



Lokale IP Adresse	Lokaler Port	Globaler Port
10.2.0.2	1234	1234

f) Bestimmen Sie die Werte folgender Headerfelder dieser Anfrage an Stelle **P**.

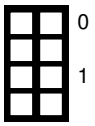


Source IP Adresse: 188.95.232.9 Source Port: 1234

Destination IP Adresse: 131.159.92.19 Destination Port: 3478

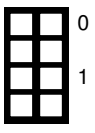
Da PC2 denselben Prozess durchlaufen hat, wurde ihm vom Server die zu benutzende IP Adresse und der Port von PC1 mitgeteilt. PC2 sendet nun ein UDP-Paket an diese Adresse (188.95.232.9) auf Port 1234, um PC1 zu erreichen.

g) Begründen Sie, ob dieses Paket voraussichtlich von PC1 empfangen wird.



Ja, durch die Anfrage an den externen Server existiert nun ein entsprechender Eintrag in der NAT Tabelle. Das Paket wird durch den Router R1 an PC1 weitergeleitet

h) Angenommen, PC1 hätte versucht PC2 zu kontaktieren, bevor dieser den Server kontaktiert hat. Was wäre passiert?



Es wäre kein entsprechender Eintrag in der NAT-Tabelle von R2 gewesen. R2 hätte eine ICMP Fehlermeldung an PC1 zurückgeschickt, und das Paket verworfen.

Lösungsvorschlag

Aufgabe 6 TCP (18.5 Punkte)

In dieser Aufgabe beleuchten wir die Auswirkung von Netzwerkproblemen auf die Transportschicht. Wir betrachten dazu eine vereinfachte Version von TCP Reno, wie sie in der Vorlesung eingeführt wurde.

0 1 2

a)* Erklären Sie das Ziel von **Staukontrolle** in TCP und wie dieses im Hinblick auf Sendefenster umgesetzt wird, sowie welche Instanzen dafür verantwortlich sind.

Das Ziel der Staukontrolle ist es, Überlast *im Netzwerk* zu vermeiden.
Um dies zu erreichen, muss der *Sender*Engpässe im Netzwerk erkennenund die Größe des *Sendefensters* entsprechend anpassen.

0 1 2

b)* Erklären Sie das Ziel von **Flusskontrolle** in TCP und wie dieses im Hinblick auf Sendefenster umgesetzt wird, sowie welche Instanzen dafür verantwortlich sind.

Das Ziel der Flusskontrolle ist es, den *Empfänger* nicht zu überlasten.
Dies wird erreicht, indem der *Empfänger*eine maximale Größefür das *Sendefenster* des Senders angibt.

Wir betrachten nun eine Folge von Ereignissen und wie diese sich auf das Staukontrollfenster auswirken. In der untenstehenden Abbildung 6.1 wird die Fenstergröße w_c in Vielfachen der MSS sowie die Zeit in Vielfachen der Round-Trip-Time (RTT) zwischen den kommunizierenden Hosts angegeben.

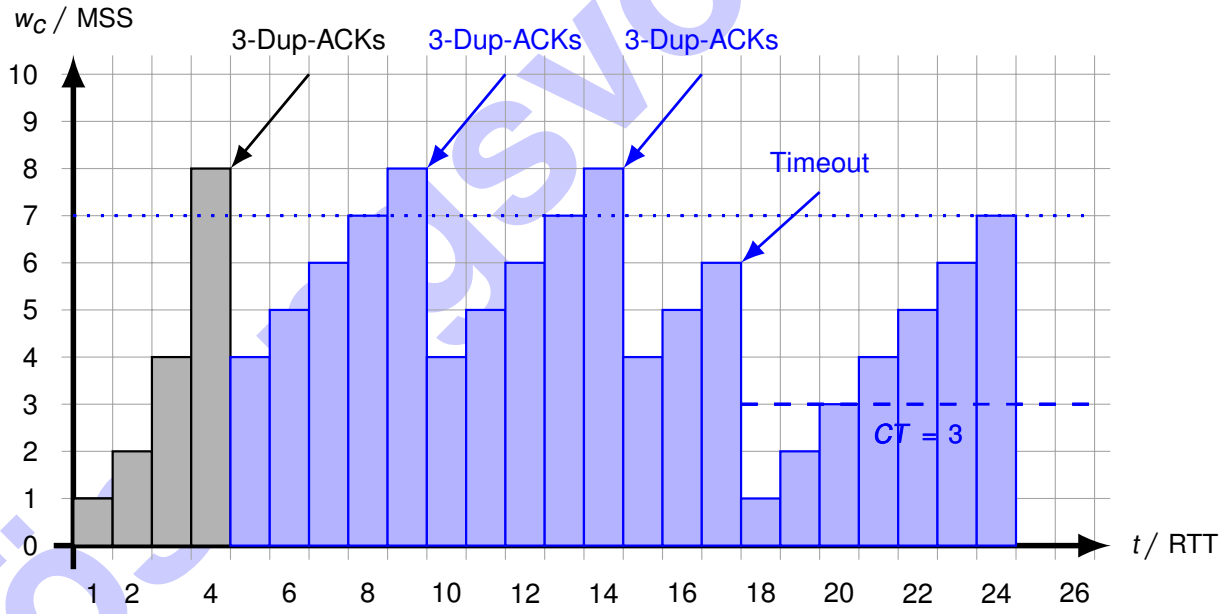


Abbildung 6.1: Vorlage für Aufgaben e) und h). Eine weitere Vorlage findet sich am Ende der Klausur. Kennzeichnen Sie die Nutzung der weiteren Vorlage deutlich in der jeweiligen Teilaufgabe.

Wir nehmen an, dass $w_c(1) = 1$ MSS. Die Bandbreite des Netzwerkpfades betrage **maximal 7 MSS/RTT**. Zunächst treten keine Timeouts auf.

0 1

c)* Die Abbildung zeigt bereits w_c für die erste Phase, $t \leq 4$ RTT. Nennen Sie den Namen dieser ersten Phase und beschreiben Sie den Verlauf von w_c.

Die erste Phase wird “Slow Start” genannt.Dabei wächst w_c um eine MSS pro bestätigtem Segment, was zu einem exponentiellen Wachstum führt.

Lösungsvorschlag

Während $t = 4\,\text{RTT}$ werden drei duplizierte Bestätigungen/Acknowledgments (3 Dup-ACKs) erkannt.

d)* Was ist üblicherweise der Grund für diese 3 Dup-ACKs?

0 1

Ein Segment ging verloren und wird daher nicht bestätigt.

e)* Zeichen Sie den weiteren Verlauf von w_c bis $t \leq 17\,\text{RTT}$ in das Diagram ein und begründen Sie Ihre Antwort.

0 1 2 3 4

Nach den 3 Dup-ACKs folgt die "Congestion Avoidance" -Phase, bei der w_c auf 4 halbiert wird und eine Stauschwelle (CT) ebenfalls auf 4 gesetzt wird. w_c steigt dann linear um 1 an, bis eine weitere Störung auftritt.
Bei $t = 9\,\text{RTT}$ gilt erneut $w_c = 8 > 7$, was eine weitere Folge von 3 doppelten ACKs verursacht.
Infolgedessen wird w_c erneut auf $w_c = 4$ halbiert, während die CT unverändert bleibt.
Dasselbe geschieht bei $t = 14$
Danach setzt sich die CA-Phase mit linearem Wachstum fort.

f) Wenn man die erste Phase nicht berücksichtigt, wie hoch ist die effektive Datenübertragungsrate, wenn keine weiteren Störungen auftreten?

0 1

Durch Zählen: $\frac{(4+5+6+7)\,\text{MSS}}{5\,\text{RTT}} = 5,8\,\frac{\text{MSS}}{\text{RTT}}$
Alternativ: $n = \frac{3}{8}x^2 + \frac{3}{4}x$, für $x = 8$ ergibt sich: $n = 30$, mit einer Verlustrate von $\theta = \frac{1}{30}$. Die Zeit zwischen Paketverlusten ist $T = \left(\frac{x}{2} + 1\right) \cdot \text{RTT} = \left(\frac{8}{2} + 1\right) \text{RTT} = 5\,\text{RTT}$. Damit ergibt sich der Durchsatz als $r_{\text{TCP}} = \frac{30\,\text{MSS}}{5\,\text{RTT}} \cdot (1 - \frac{1}{30}) = 5.8\,\frac{\text{MSS}}{\text{RTT}}$.

Während $t = 17\,\text{RTT}$ tritt ein Timeout auf.

g)* Was könnte der Grund für diesen Timeout sein?

0 1

Alle Segmente oder ACKs gehen verloren oder treffen erst nach Ablauf des Timeout-Intervalls ein. (Wenn noch welche angekommen wären, würden stattdessen doppelte ACKs erzeugt.) Dies kann durch eine *vollständige* Netzüberlastung oder den Ausfall einzelner Knoten/Verbindungen verursacht werden.

h) Danach treten keine weiteren Störungen auf. Vervollständigen Sie das Diagram für $t \leq 24\,\text{RTT}$ und begründen Sie Ihre Antwort.

0 1 2

Der Timeout reduziert die CT auf $w_c/2 = 7/2 = 3$, setzt w_c auf 1 zurück, und wechselt zurück in die „Slow-Start"-Phase.
Im Slow Start verdoppelt sich w_c erneut, bis $w_c = 3 = \text{CT}$ bei $t = 20\,\text{RTT}$ erreicht ist.
Dann folgt ein linearer Anstieg in der CA-Phase.

Beachten Sie: Auf der nächsten Seite gibt es noch eine weitere Teilaufgabe.

Lösungsvorschlag

0 1 2 3

i)* Ihr Kommilitone will nun einen kleinen TCP-Server programmieren, welcher bei jeder neu eingehenden Verbindung „Hallo Welt!“ zurückschickt und die Verbindung danach schließt. Ergänzen Sie die Namen der POSIX Socket-API Funktionsaufrufe, sodass das Programm wie gewünscht funktioniert.

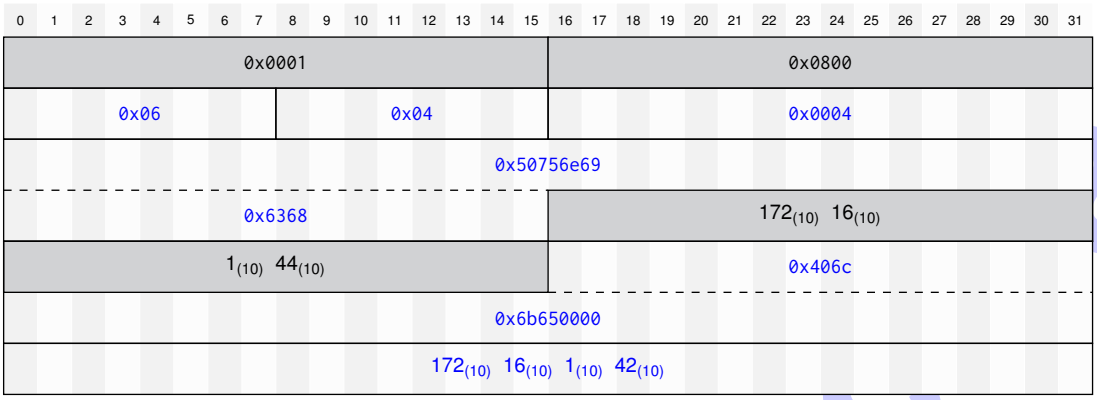
```
#!/usr/bin/python3
from socket import *

sd = socket(AF_INET6, SOCK_STREAM)
sd.bind(('', 50007))
sd.listen(20)

while True:
  try:
    # Führe den Verbindungsaufbau durch
    csock, addr = sd.accept()
    print(f"Client verbunden von {addr[0]} (Port Nummer {addr[1]})")
    csock.send(b'Hallo Welt!')
    # Der Socket wird nicht mehr benötigt
    csock.close()
  except KeyboardInterrupt:
    sd.close()
    break
```

Lösungsvorschlag

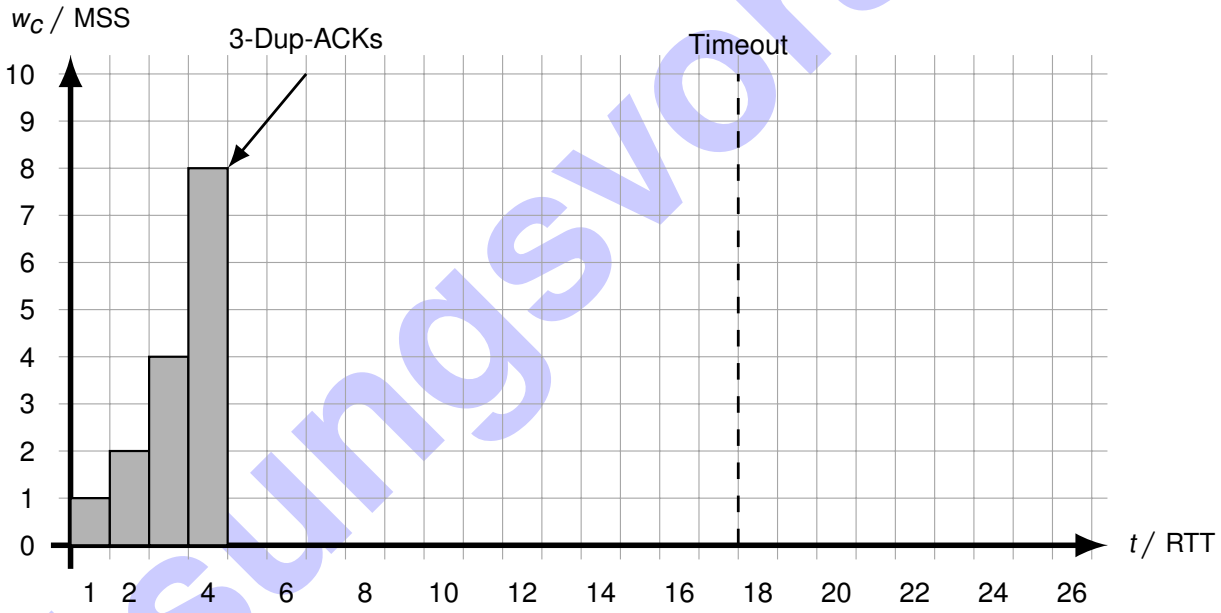
Zusätzliche Vordrucke. Kennzeichnen Sie die Nutzung dieser Vordrucke deutlich in der jeweiligen Teilaufgabe.

40:6c:6b:65:00:00	50:75:6e:69:63:68	0x8035	Payload	FCS

Zusätzlicher Vordruck für Aufgabe 3f)



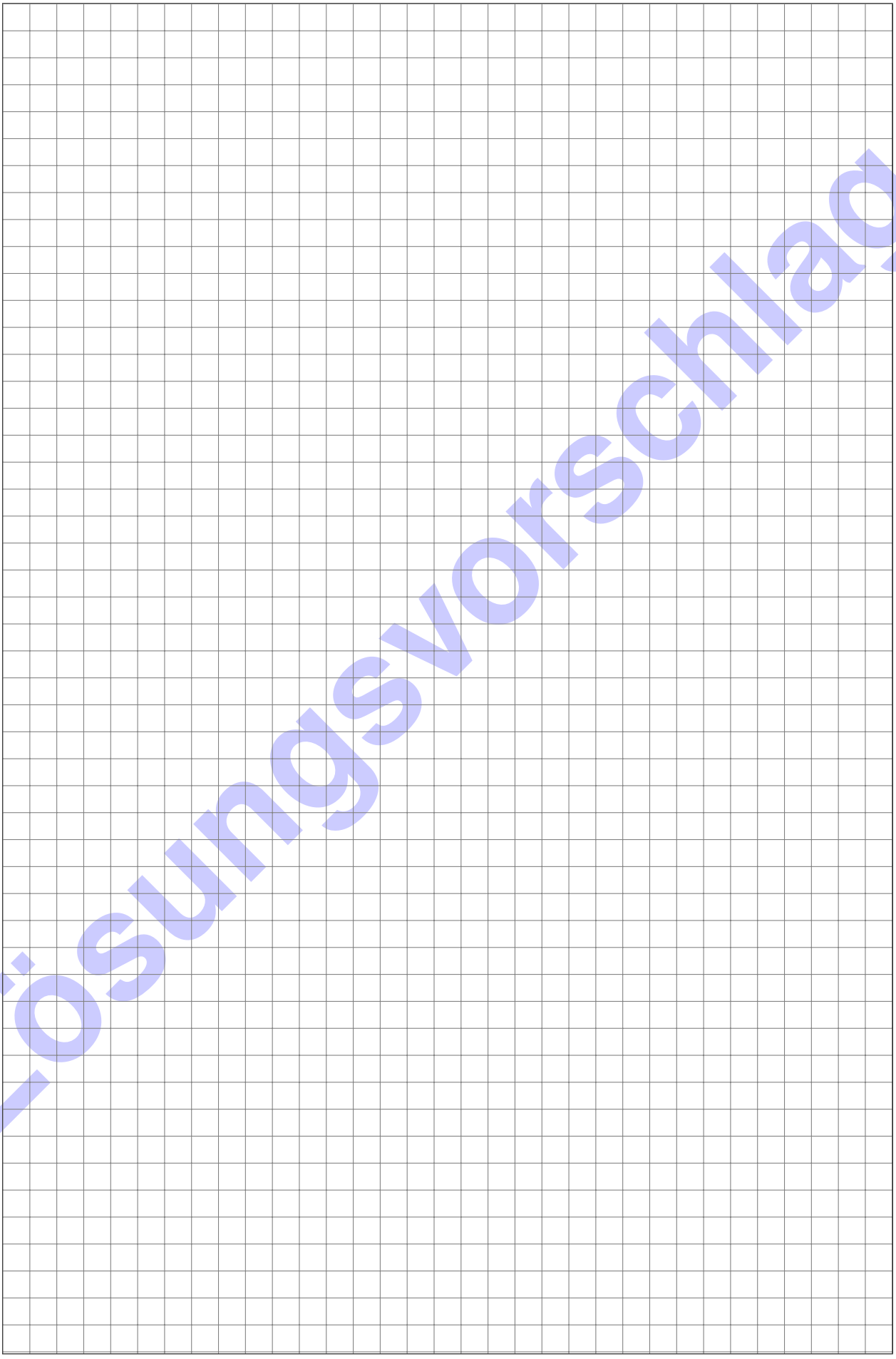
Zusätzlicher Vordruck für Aufgabe 3g)



Zusätzlicher Vordruck für Aufgaben 6e) und h).

Lösungsvorschlag

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



Lösungsvorschlag