



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

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?

- Sie ermöglichen hohe Datenraten im Vergleich zu elektrischen Leitern.
- Sie müssen für hohe Datenraten elektrisch geschirmt werden (S/STP).
- 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?

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 2001:db8:0:0::ef::f | <input type="checkbox"/> 2001:0db8:0000:0000:0e0f:0000:0000:00f0 |
| <input type="checkbox"/> 2001:db8::e0f:0:0:f0 | <input type="checkbox"/> 2001:db8:0:0:e0f:0:0:f0 |
| <input type="checkbox"/> 2001:db8:0:0::e0f::f0 | <input type="checkbox"/> 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?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Die Prüfsumme passt nicht zur Nachricht. | <input type="checkbox"/> Die empfangene Nachricht ist 1011. |
| <input type="checkbox"/> Die empfangene Nachricht ist 1111. | <input type="checkbox"/> Die empfangene Nachricht ist 111. |
| <input type="checkbox"/> Die empfangene Nachricht ist 101. | <input type="checkbox"/> 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.

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 2001:0db8:000a:000b:0212:e8ff:feff:fe15 | <input type="checkbox"/> fe80:0000:0000:0000:0012:e8ff:feff:fe15 |
| <input type="checkbox"/> fe80:0000:0000:0000:0212:e8ff:feff:fe15 | <input type="checkbox"/> 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 erkannt wird, wird **kein** Jam-Signal versandt.
- Es werden Bestätigungen versandt.
- Zur verlässlichen Erkennung von Kollisionen darf die Distanz zwischen zwei Knoten eine definierte Obergrenze nicht überschreiten.

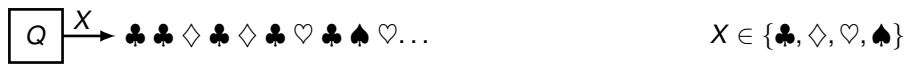
f)* Welche Aussage(n) zu X.509 Zertifikaten und deren Verwendung ist/sind korrekt?

- X.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.
- Ein X.509 Zertifikat enthält den öffentlichen Schlüssel.

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

- zeitkontinuierlich
 wertdiskret
 zeitdiskret
 wertkontinuierlich

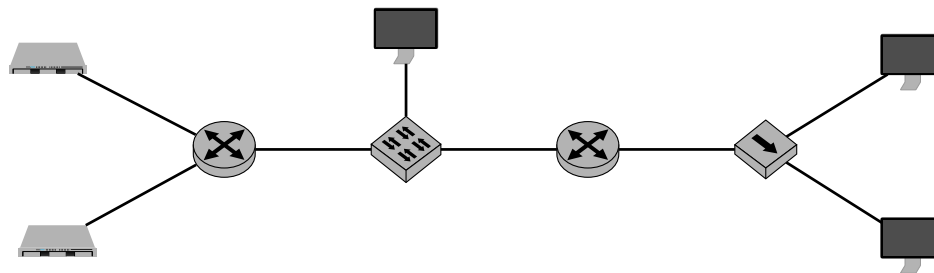
h)* Die gedächtnislose Quelle Q emittiert Zeichen des Alphabets X gemäß der Auftrittswahrscheinlichkeiten des unten gegebenen Ausschnitts. Welche Entropie hat Q auf zwei Nachkommastellen gerundet?



- 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 μ s
 12 μ s
 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?

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

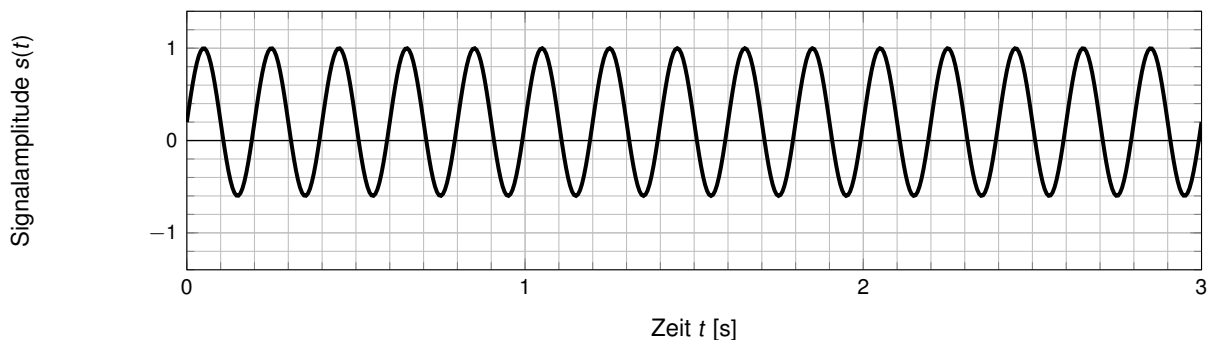


Abbildung 1.1: Zeitperiodisches Signal mit $\omega = \frac{2\pi}{T}$ und $T = 1$ s

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

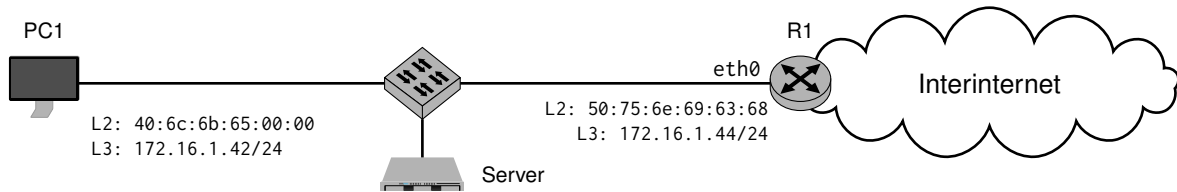


Abbildung 3.1: Netzwerktopologie

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 Informationen¹ 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:

```

0x0000  ff  ff  ff  ff  ff  ff  40  6c  6b  65  00  00  80  35  00  01
0x0010  08  00  06  04  00  03  40  6c  6b  65  00  00  00  00  00  00
0x0020  40  6c  6b  65  00  00  00  00  00  00  00  00  00  00  00  00
0x0030  00  00  00  00  00  00  00  00  00  00  00  00  xx  xx  xx  xx
    
```

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 b)* Markieren Sie in Abbildung 3.2 die Zieladresse auf Schicht 2 und ordnen Sie die Adresse einem Gerät oder einer Funktion zu.
- 1
- 0 c)* Markieren Sie in Abbildung 3.2 die Operation der RARP Nachricht (ohne Begründung)
- 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.
- 0
- 1

¹RFC verkürzt und vereinfacht

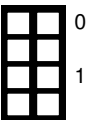
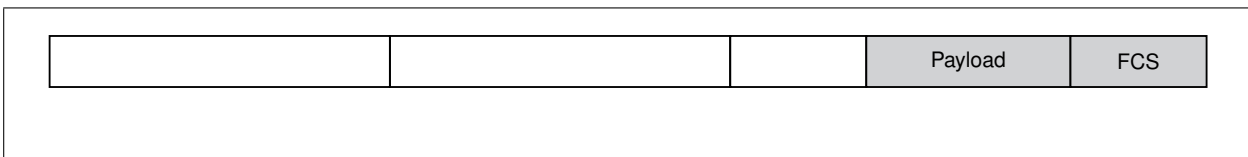
In diesem Netzwerk stellt Router R1 einen RARP Dienst zur Verfügung, der auf RARP Anfragen antwortet und dabei dem anfragenden Host eine IP-Adresse zuweist. Javva möchte den Rahmen, der von R1 als Antwort zur Anfrage von PC1 geschickt wird, überprüfen und erstellt daher den Rahmen zum Vergleich selbst.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

When the opcode is 4 ('reply reverse'):

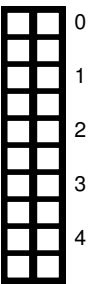
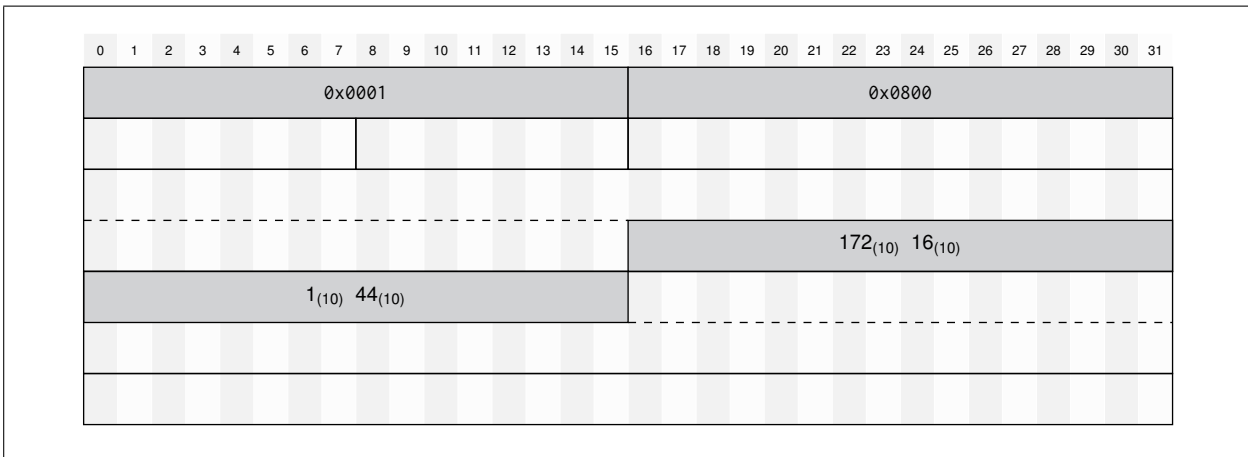
- * Sender Hardware Address is the MAC-Address of the responder.
- * Sender Protocol Address is the IP-Address of the responder.
- * Target Hardware Address is the MAC-Address of the target, and should be the same as that which was given in the request.
- * Target Protocol Address is the IP-Address assigned 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.



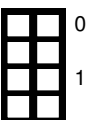
g)* Vervollständigen Sie die Payload des Ethernet-Rahmens.



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



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

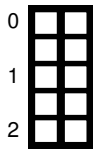


Aufgabe 4 Vor- und rückwärtige Auflösungen im Domänennamenssystem (11.5 Punkte)

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
```

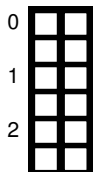
Abbildung 4.1: Zonendatei für die Zone attempt-dcba.eg. vor Änderung aus Teilaufgabe f)



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

ns-alpha.attempt-dcba.eg.

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.



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.



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

RR Typ:

Wert:



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?

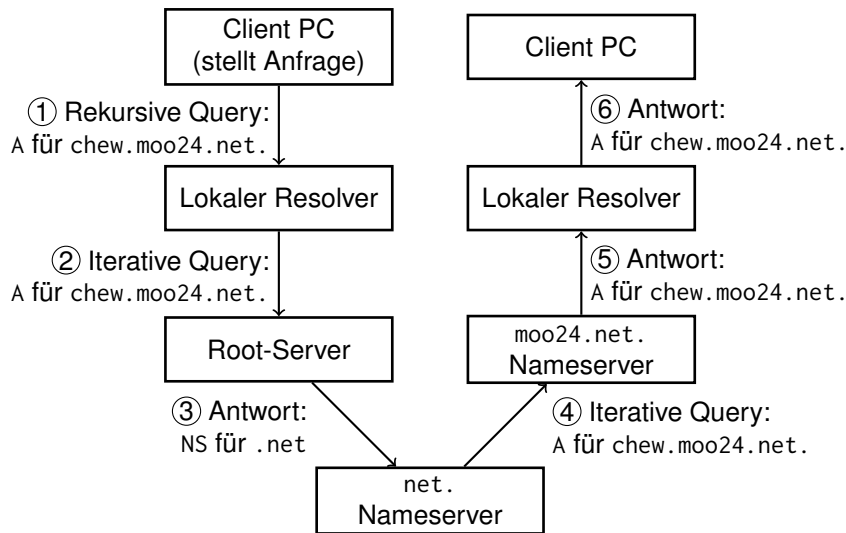


Abbildung 4.2: Antwort des LLMs

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

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!

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

Die Lastverteilung wird wie gewünscht funktionieren.

	0
	1
	2

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.



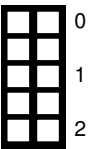
e) Tragen Sie den aus der Anfrage entstandenen Eintrag in der NAT-Tabelle von Router R1 ein. Falls es keine Überschneidungen gibt, werden lokale Ports auf identische öffentliche Ports übersetzt.

Lokale IP Adresse	Lokaler Port	Globaler Port



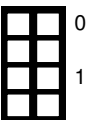
f) Bestimmen Sie die Werte folgender Headerfelder dieser Anfrage an Stelle **P**.

Source IP Adresse:	Source Port:
Destination IP Adresse:	Destination Port:

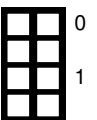


Da PC2 denselben Prozess durchlaufen hat, wurde ihm vom Server die zu benutzende IP Adresse und der Port von PC1 mitgeteilt. PC2 sendet nun ein UDP-Paket an diese Adresse (188.95.232.9) auf Port 1234, um PC1 zu erreichen.

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





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




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

1 

2 

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

1 

2 

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.

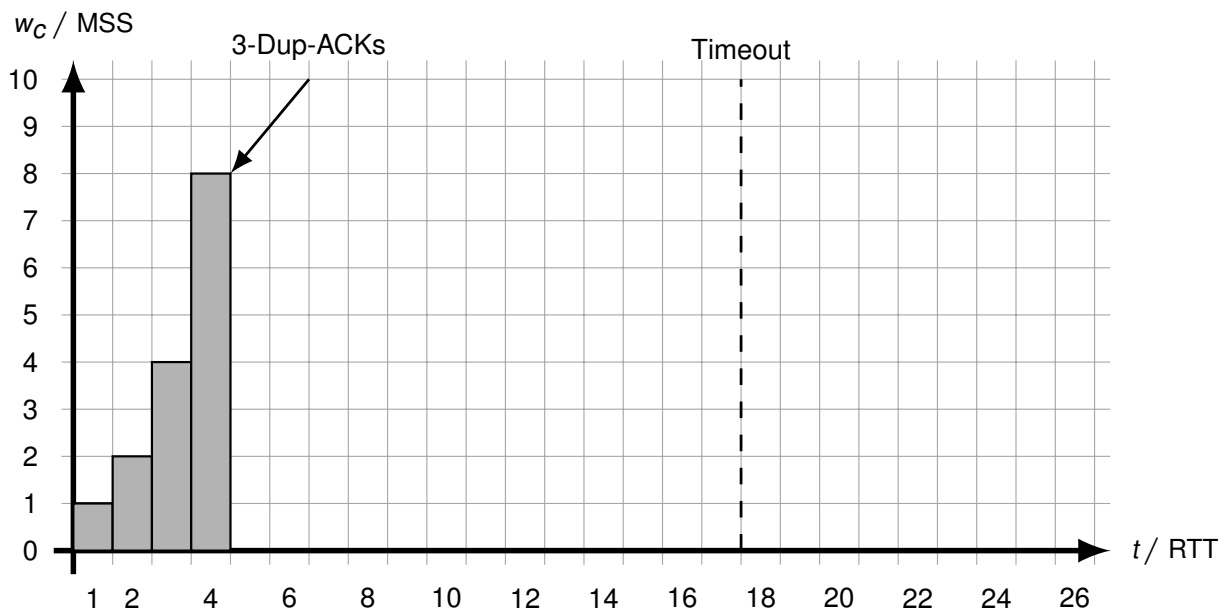


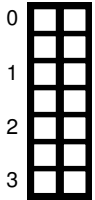


Abbildung 6.1: Vorlage für Aufgaben e) und h). Eine weitere Vorlage findet sich am Ende der Klausur. Kennzeichnen Sie die Nutzung der weiteren Vorlage deutlich in der jeweiligen Teilaufgabe.

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

0  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 .

1 



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 =  (AF_INET6, SOCK_STREAM)
sd. ((' ', 50007))
sd. (20)
```

```
while True:
```

```
    try:
```

```
        # Führe den Verbindungsaufbau durch
```

```
        csock, addr = sd. ()
```

```
        print (f"Client_verbunden_von_{addr[0]}_(Port_Nummer_{addr[1]}) ")
```

```
        csock. (b'Hallo_Welt!')
```

```
        # Der Socket wird nicht mehr benötigt
```

```
        csock. ()
```

```
    except KeyboardInterrupt:
```

```
        sd.close ()
```

```
        break
```

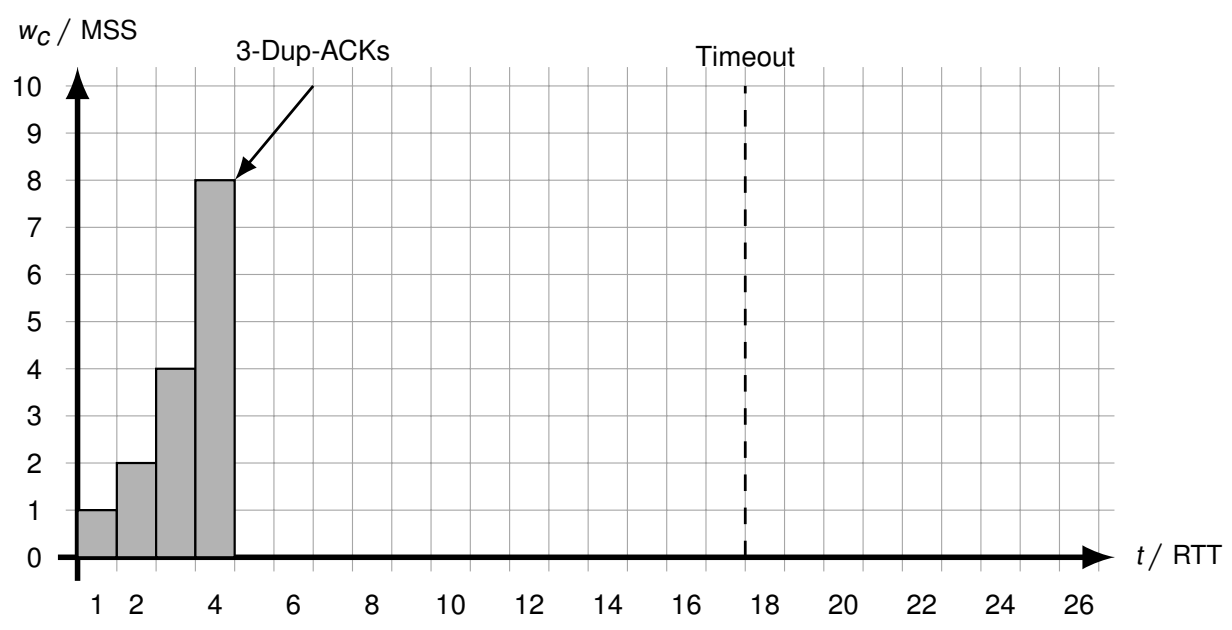
Zusätzliche Vordrucke. Kennzeichnen Sie die Nutzung dieser Vordrucke deutlich in der jeweiligen Teilaufgabe.

			Payload	FCS
--	--	--	---------	-----

Zusätzlicher Vordruck für Aufgabe 3f)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0x0001																0x0800															
																172 ₍₁₀₎ 16 ₍₁₀₎															
1 ₍₁₀₎ 44 ₍₁₀₎																															

Zusätzlicher Vordruck für Aufgabe 3g)



Zusätzlicher Vordruck für Aufgaben 6e) und h).

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

