



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
Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

Datum: Montag, 29. Juli 2024
Uhrzeit: 08:30 – 10:00

Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **16 Seiten** mit insgesamt **5 Aufgaben** sowie den bekannten **Cheatsheet**. Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Klausur beträgt 90 Punkte.
- Das Heraustrennen von Seiten aus der Prüfung ist untersagt.
- Als Hilfsmittel sind zugelassen:
 - ein **nicht-programmierbarer Taschenrechner**
 - ein **analoges Wörterbuch** Deutsch ↔ Muttersprache **ohne Anmerkungen**
- Mit * gekennzeichnete Teilaufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorheriger Teilaufgaben lösbar.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen der Lösungsweg erkennbar ist.** Auch Textaufgaben sind **grundsätzlich zu begründen**, sofern es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Schreiben Sie weder mit roter / grüner Farbe noch mit Bleistift.
- Schalten Sie alle mitgeführten elektronischen Geräte vollständig aus, verstauen Sie diese in Ihrer Tasche und verschließen Sie diese.
- MC 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.

Hörsaal verlassen von _____ bis _____ / Vorzeitige Abgabe um _____

Aufgabe 1 Multiple Choice (18 Punkte)

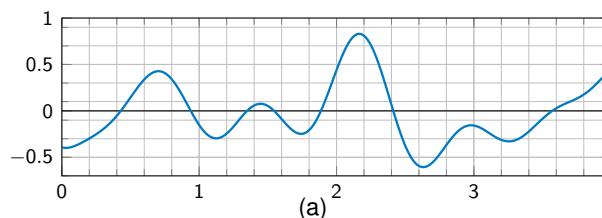
Kreuzen Sie richtige Antworten an



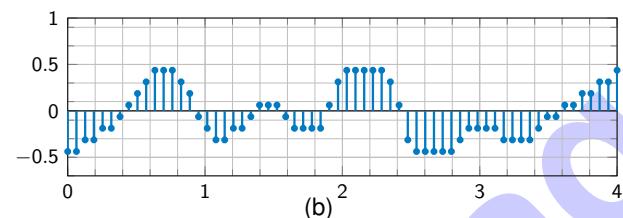
Kreuze können durch vollständiges Ausfüllen gestrichen werden



Gestrichene Antworten können durch nebenstehende Markierung erneut angekreuzt werden



(a)



(b)

Abbildung 1.1

a)* Durch welche Operation(en) wurde das Signal in Abbildung 1.1b aus dem Signal in Abbildung 1.1a erzeugt?

Abtastung

Quantisierung

Aliasing

Antialiasing

Kanalkodierung

Quellenkodierung

b)* Sie modulieren ein Signal mit 1024-QAM. Wie viele Bits werden dabei pro Symbol übertragen?

2^{1024}

1

2^{10}

1000

10

1024

2

100

c)* Ein Rahmen mit einer Gesamtlänge von 1500 B benötigt eine Serialisierungszeit von 12 µs. Welche Übertragungsrate hat der Link?

125 MB/s

1 Mbit/s

125 Mbit/s

1 GB/s

2 Gbit/s

1 Gbit/s

d)* Ein Rahmen mit einer Gesamtlänge von 1500 B wird über eine Kupferleitung der Länge 50 km übertragen. Welche Ausbreitungsverzögerung tritt dabei in etwa auf?

250 ns

250 µs

166,67 µs

2,38 ms

166,67 ns

2,38 µs

e)* Gegeben sei der Wert 0x12345678 in Network Byte Order. Wie lautet der entsprechende Wert in Little Endian?

0x34127856

0x78125623

0x87654321

0x78563412

0x56781234

0x12345678

f)* Ein Switch empfängt einen Rahmen, für dessen Ziel MAC Adresse noch kein Eintrag in der Switchingtabelle existiert. Was geschieht?

Der Switch wartet bis die Information über die Position des Empfängers bekannt ist.

Der Rahmen wird an den Absender zurückgeschickt.

Der Rahmen wird an alle anderen Ports weitergeleitet.

Der Switch stellt eine ARP Anfrage mit der entsprechenden Ziel MAC Adresse.

Der Rahmen wird verworfen.

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

2

6

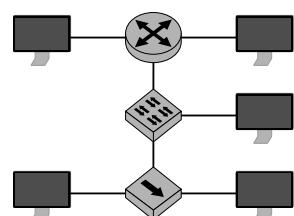
5

4

1

3

7



h)* Aus wie vielen Kollisionsdomänen besteht das nebenstehende Netzwerk?

1

4

6

2

5

7

3

i)* Bestimmen Sie die Netzadresse zu 10.32.43.45/22.

- 10.32.42.0 10.32.41.0 10.32.40.0 andere Adresse 10.32.43.45

j)* Welche Aussagen zu NAT sind zutreffend?

- NAT ersetzt den Quell-Port eingehender Pakete.
 NAT ersetzt den Ziel-Port ausgehender Pakete.
 NAT ersetzt die Ziel-IP ausgehender Datenpakete.
 NAT ersetzt die Quell-IP eingehender Pakete.
- NAT ersetzt die Quell-IP ausgehender Pakete.
 NAT kann TCP-Ports in UDP-Ports übersetzen.
 NAT ersetzt die Ziel-IP eingehender Pakete.
 NAT bietet ein sehr hohes Maß an Schutz vor unbefugtem Zugriff.

k)* Warum funktioniert TCP auf Verbindungen mit hohem Paketverlust nicht?

- TCP geht fälschlicherweise von einem Netzwerkstau aus und reduziert die Datenrate zu stark.
 Es entstehen zu viele Bitfehler, die CRC nicht mehr beheben kann.
 Die TCP Flusskontrolle reduziert die Datenrate auf einen realistisch benutzbaren Wert.
 Die Datenintegrität kann nicht mehr sichergestellt werden, weil zu viele Pakete fehlen.

l)* Wie lautet der Reverse DNS FQDN, der zur IPv4 Adresse 188.95.232.10 gehört?

- 10.232.95.188.in-addr.arpa.
 188.95.232.10.in-addr.arpa.
 bc5f.e80a.in-addr.arpa.
- 10.232.95.188.ip6.arpa.
 188.95.232.10.ip6.arpa.
 0a.e8.5f.bc.ip6.arpa.

m)* Warum kann es Sinn machen, mehrere IPv4 Adressen zur selben Domain im DNS zu hinterlegen?
Hinweis: Clients erhalten dann eine Liste an Adressen statt einer einzigen bei der Namensauflösung.

- Um Ressourcen zu sparen, soll ein Server mehrere Domains bedienen.
 Höhere Verfügbarkeit falls ein DNS-Server ausfällt.
 Unterstützung von IPv4 sowie IPv6.
- Höhere Verfügbarkeit indem mehrere Server pro Domain eingetragen werden.
 Ein Server hat mehrere Interfaces und ist über unterschiedliche Pfade erreichbar.
 Es macht keinen Sinn.

n)* Der autoritative Nameserver von grnvs.net sei ns.grnvs.net. Dadurch befindet sich der Nameserver in der gleichen Zone, die er selbst verwaltet. Ein iterativer Resolver braucht aber die IP Adresse von ns.grnvs.net um irgendeine Domain unter grnvs.net aufzulösen. Gewissermaßen ein Deadlock. Wieso funktioniert das DNS trotzdem?

- Der .net Nameserver antwortet dem Resolver mit dem Nameserver ns.grnvs.net und hängt die IP Adresse an die DNS Antwort an.
 Es funktioniert nicht. Nameserver müssen immer außerhalb der verwalteten Zone liegen.
 Der .net Nameserver schickt dem Resolver nur die IP Adresse von ns.grnvs.net.
 Der .net Nameserver antwortet dem Resolver mit einer IP Adresse und teilt ihm mittels Glue Records mit, welche Domain gemeint ist.

Aufgabe 2 Rolladentransmission (25.5 Punkte)

Die GRNVS-Tutoren wollen zwischen dem studentischen Arbeitsraum und dem GBS-Übungsleiterraum Nachrichten übermitteln. Zur Übermittlung sollen die Rolladen der Räume benutzt werden.

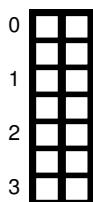
Helfen Sie den Tutoren bei den einzelnen Schritten der Nachrichtenübermittlung.

Schritt A: Huffman Kodierung

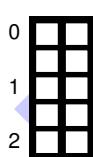
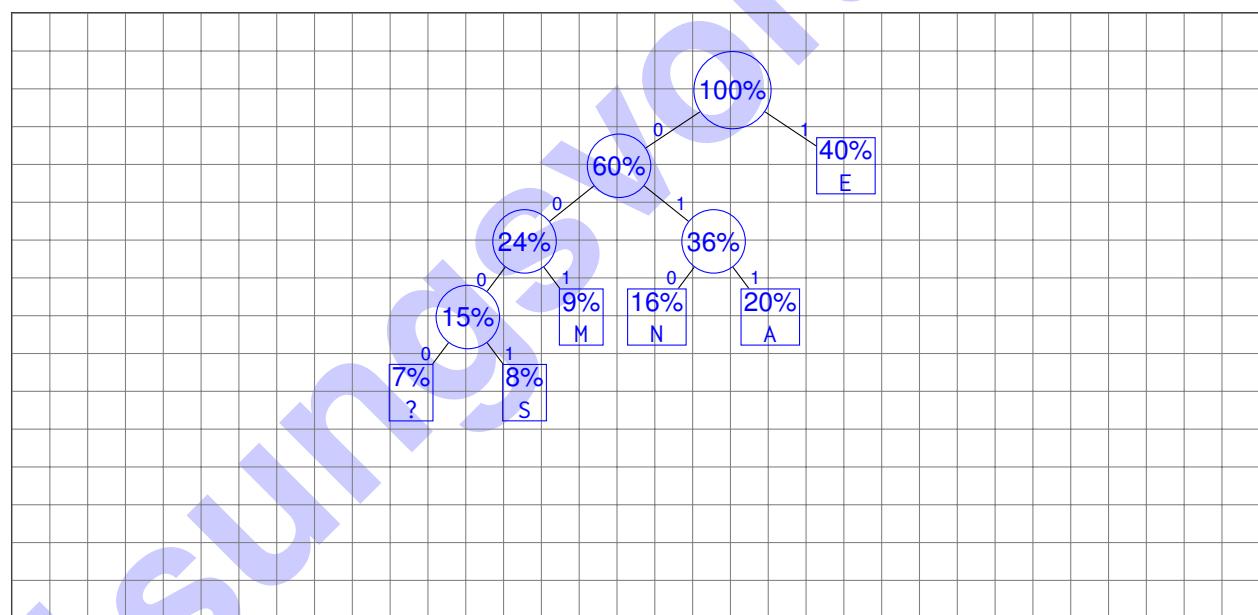
Im ersten Schritt soll unnötige Redundanz aus den zu übertragenden Daten entfernt werden. Die Nachrichten bestehen aus Zeichen des Alphabets $\mathcal{A} = \{A, E, N, M, S, ?\}$, deren Auftrittswahrscheinlichkeiten in Tabelle 2.1 verzeichnet sind.

Tabelle 2.1: Auftrittswahrscheinlichkeiten der Zeichen des Alphabets \mathcal{A}

$z \in \mathcal{A}$	$\Pr [X = z]$
E	0,4
A	0,2
N	0,16
M	0,09
S	0,08
?	0,07



a)* Konstruieren Sie den Huffman-Baum für Alphabet \mathcal{A} und notieren Sie entsprechende Wahrscheinlichkeiten und Kantenlabel.



b) Kodieren Sie die Zeichenfolge der ersten Nachricht N_1 „MENSA?“ mithilfe des Huffman-Baums aus Teilaufgabe a). Trennen Sie Bitfolgen, welche zu unterschiedlichen Zeichen gehören.

M		E		N		S		A		?
001		1		010		0001		011		0000

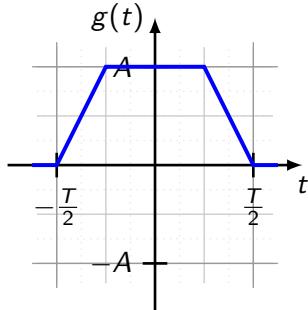


c)* Nennen Sie den Namen dieses Schrittes der Nachrichtenübertragung (keine Begründung).

Quellenkodierung

Schritt B: Basisbandsignal

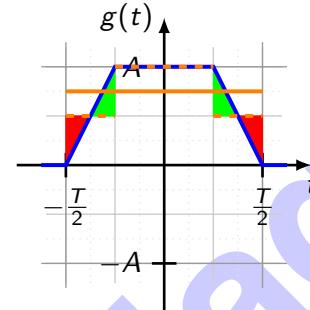
Um die Bitfolge über den Rollladen übertragen zu können, wird der Grundimpuls $g(t)$ der Länge T verwendet, welcher in Abbildung 2.1b definiert ist.



(a) Vorlage 1

$$g(t) = \begin{cases} \frac{4A}{T}t + 2A & -\frac{1}{2}T \leq t < -\frac{1}{4}T \\ A & -\frac{1}{4}T \leq t < \frac{1}{4}T \\ -\frac{4A}{T}t + 2A & \frac{1}{4}T \leq t < \frac{1}{2}T \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

(b) Definition des Grundimpulses $g(t)$



(c) Gleichanteil

Abbildung 2.1: Vorlagen für das Zeichnen des Grundimpulses

d)* Zeichnen Sie den Grundimpuls $g(t)$ in eine der Vorlagen in Abbildung 2.1 ein. Markieren Sie klar, welche Version gewertet werden soll.

Platz für Notizen	0
	1
	2
	3
	4

e)* Bestimmen Sie den Gleichanteil des Grundimpulses $g(t)$ zwischen $-\frac{1}{2}T$ und $\frac{1}{2}T$. Erklären Sie Ihr Vorgehen.

Hinweis: Es ist keine Integration notwendig. Das Ergebnis kann graphisch abgelesen werden.

Abbildung 2.1c zeigt das schematische Vorgehen zu Bestimmung des Gleichanteils. Die beiden Schrägen können aus Flächensicht als die eingezzeichneten gestrichelten orangefarbenen Linien bei $\frac{1}{2}A$ betrachtet werden. Das Plateau zwischen $-\frac{1}{4}T$ und $\frac{1}{4}T$ ist für sein Teilstück bereits der perfekte Gleichanteil. Nun gewichten wir die einzelnen Teilgleichanteile entsprechend den Längen, was hier dem Mittelwert zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ entspricht. Somit ist der Gleichanteil $\frac{3}{4}A$.	0
	1
	2
	3
	4

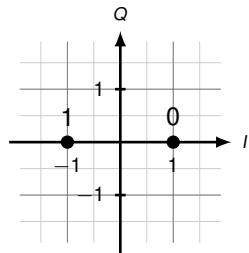
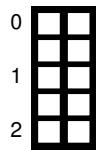


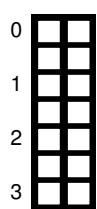
Abbildung 2.2: Signalraum



f)* Wie heißt das Modulationsverfahren, dessen Signalraum in Abbildung 2.2 abgebildet ist? Begründen Sie Ihre Antwort kurz.

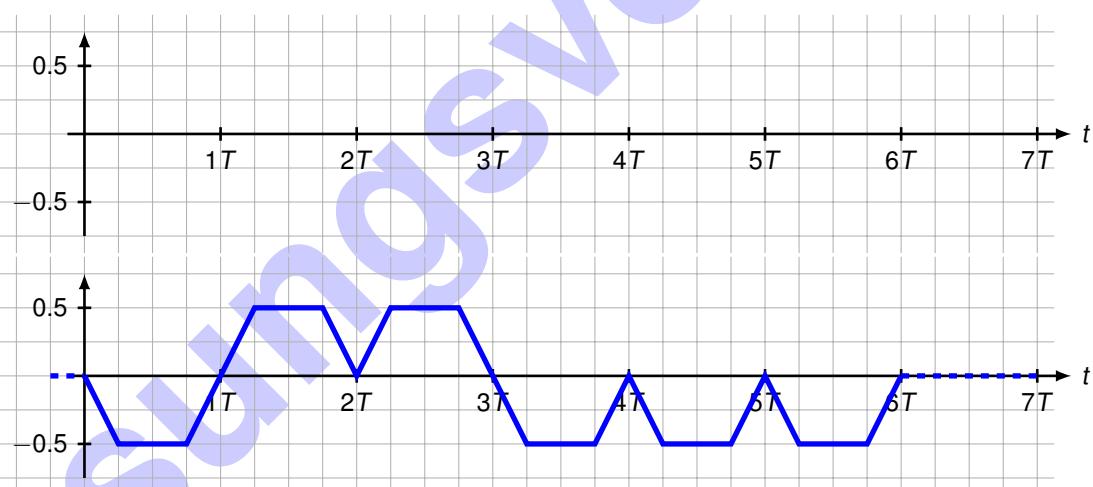
2-ASK (oder 2-PSK)

Da nur In-Phase Anteile vorliegen, handelt es sich um Amplitudenmodulation. Da es zwei Zeichen sind 2-ASK.



Sei $A = \frac{1}{2}$, d. h. bei einem Pegel von $-\frac{1}{2}$ ist der Rollladen ganz unten, bei $\frac{1}{2}$ ganz oben. Die GBS Übungsleiter bitten Sie, über den Rollladen die Nachricht $N_2 = 100111$ an den studentischen Arbeitsraum zu übermitteln.

g) Zeichnen Sie die Position des Rollladens über die Zeit für die Übertragung der Nachricht N_2 ein. Verwenden Sie dafür die Signalraumzuordnung aus Abbildung 2.2 und den Grundimpuls $g(t)$.



Sollten Sie beide Vorlagen benutzt haben, machen Sie kenntlich, welche Vorlage gewertet werden soll.



h)* Nennen Sie den Namen des Schrittes der Nachrichtenübertragung aus Teilaufgabe g) (ohne Begründung).

Leitungskodierung

Schritt C: Cyclic Redundancy Check (CRC)

Um Übertragungsfehler zu erkennen, fügen wir nach je N Bit Nutzdaten jeweils M Bit Prüfsumme der N Nutzdatenbits an. Nehmen Sie an, dass die Nutzdaten unabhängig und gleichverteilt ausgewählt werden.

Die GRNVS-Tutoren erhalten die Antwort $N_2 = 100111$ vom GBS-Übungsleiterraum. Die Nachricht N_2 beinhaltet Nutzdaten mit angehänger Prüfsumme, welche mittels CRC mit Reduktionspolynom $r(x) = x^2 + 1$ bestimmt wurde.

i)* Passt für N_2 die Checksumme zur eigentlichen Nachricht? Dokumentieren Sie Ihre Rechnungen und Begründen Sie.

100111 / 101 = 1011R0

101	

001	111
101	

010	1
101	

000	

Da der Rest 0 ist, passt die Checksumme zur Nachricht.

Eine beispielhafte Sequenz an Zeichen einer Quelle Q (Zeichen der Prüfsumme in Fettdruck) mit 3 Bit Prüfsumme je 5 bit Nutzdaten ist Folgende: 00110**101** 11010**110** 00000**1000** ...

Zeichengruppe Zeichengruppe Zeichengruppe

j)* Berechnen Sie die Entropie der Quelle Q mit obigen Prüfsummenverfahren mit 3 Bit Prüfsumme je 5 Bit Nutzdaten. Erklären Sie Ihr Vorgehen.

Hinweis: Interpretieren Sie ganze Zeichengruppen als Zeichen eines neuen Alphabets A_G .

Man kann ein neues Alphabet $A_G = \{x + \text{chksum}(x) | x \in \{0, 1\}^5\}$ definieren, was ganze Zeichengruppen als Zeichen enthält, und die Entropie anschließend auf die Anzahl der Zeichen pro Zeichengruppe normieren.

$$H(Q_G) = \sum_{x \in A_G} P[Q_G = x] \cdot I(x) = 2^5 \cdot \frac{1}{2^5} \cdot \left(-\log_2 \frac{1}{2^5} \right) = \log_2 2^5 = 5$$

Da eine Zeichengruppe aus $5 + 3$ Bits besteht, so gilt $H(Q) = \frac{H(Q_G)}{5+3} = \frac{5}{8}$.

Hinweis: Für die Berechnung der Entropie müssen selbstverständlich nicht ausschließlich die drei beispielhaften, obigen Zeichengruppen verwendet werden, sondern alle im Prüfsummenverfahren möglichen Zeichengruppen. Da die Nutzdaten einer Zeichengruppe bereits die Checksummenzeichen bestimmen und Quelle Q keine Übertragungsfehler beinhaltet, hat das Alphabet A_G genau 2^5 Elemente.

Aufgabe 3 Routing (12 Punkte)

Ihr Kommilitone hat ein Chat-Programm selbst geschrieben. Sie merken nun, dass die Nachrichten nicht immer in der selben Reihenfolge bei Ihnen ankommen, obwohl diese in korrekter Reihenfolge abgeschickt wurden.

0
1

a)* Welches Transportprotokoll wurde hier vermutlich verwendet? Begründen Sie.

Da die Chatnachrichten teilweise in falscher Reihenfolge ankommen, kann als Transportprotokoll unter obigen Annahmen kein TCP verwendet worden sein. Somit muss hier UDP verwendet worden sein.

0
1

b) Mit welchen Transportprotokoll würde dieses Problem nicht auftreten? Begründen Sie.

Um das Problem zu lösen, könnte man TCP statt UDP verwenden. Da TCP ein verbindungsorientiertes Transportprotokoll ist, können Segmente mithilfe von Sequenznummern in korrekter Reihenfolge zusammengetzt werden.

Ihr Internet Service Provider (ISP) hat Ihrem Heimrouter (NAT-Router) die IPv4-Adresse 10.165.76.54 sowie das IPv6 Präfix 2001:236:73:22::/64 zugewiesen. Sie wollen nun einen öffentlich zugänglichen Webserver aus Ihrem Heimnetzwerk anbieten.

0
1

c)* Begründen Sie, ob Sie Ihren Dienst über IPv4, IPv6 oder beide Protokolle sinnvoll global anbieten können.

Da die IPv4-Adresse im Gegensatz zum IPv6 Präfix **nicht** global routbar ist, können Sie den Dienst global nur sinnvoll über IPv6 anbieten (ihr Provider nutzt somit Dual Stack Lite).

0
1

d) Begründen Sie, ob Sie Port-Forwarding zwingend einrichten müssen.

Port-Forwarding ist nicht notwendig, da das /64 Präfix genug IPv6-Adressen für Ihr Heimnetzwerk bereitstellt, welche global routebar sind (unter Umständen müssen Sie die Firewall an Ihrem Heimrouter noch umkonfigurieren, was allerdings nicht Teil der Fragestellung ist).

(a) R1

Eintrag	Destination	Next-Hop
1	10.48.0.0/14	N_1
2	10.52.0.0/14	PC1
3	10.128.0.0/10	R2
4	10.192.0.0/10	R3
5	10.0.0.0/8	R2

(b) R2

Eintrag	Destination	Next-Hop
a	10.56.0.0/13	R3
b	10.32.0.0/12	R4
c	10.0.0.0/11	N_3
d	10.64.0.0/10	N_2
e	10.128.0.0/10	R3
f	10.0.0.0/8	R1

(c) R3

Eintrag	Destination	Next-Hop
α	10.56.0.0/13	R4
β	10.32.0.0/12	N_6
γ	10.192.0.0/10	N_7
δ	10.128.0.0/10	R4
ϵ	10.0.0.0/9	R2

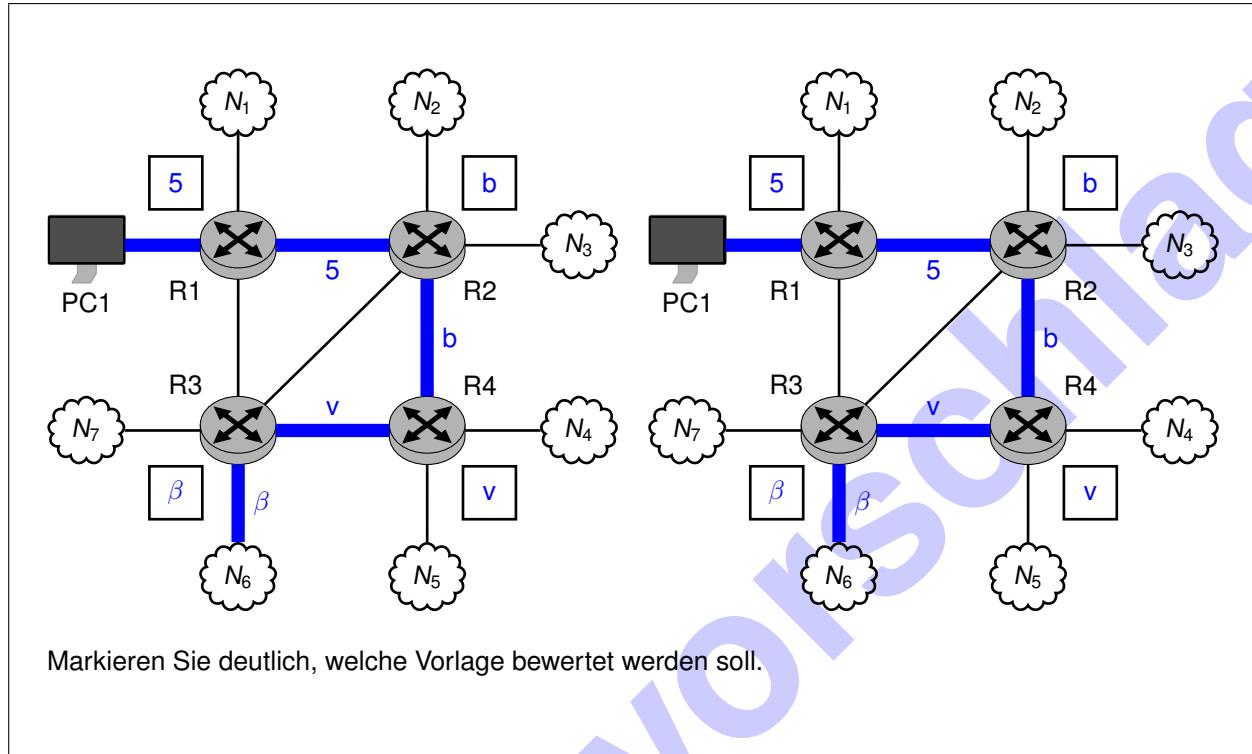
(d) R4

Eintrag	Destination	Next-Hop
i	10.56.0.0/13	N_5
ii	10.64.0.0/10	R2
iii	10.128.0.0/10	N_4
iv	10.192.0.0/10	R2
v	10.0.0.0/10	R3

Tabelle 3.1: Routingtabellen

Gegeben sei die Netzwerktopologie in Teilaufgabe e). Die Routingtabellen der Router R1 – R4 finden Sie in Tabelle 3.1. Um diese kompakter darzustellen, wurden Next-Hop und Interface durch den Namen des nächsten Routers oder Netzes ersetzt und Transportnetze ausgelassen.

e)* Zeichnen Sie den Weg eines IPv4-Pakets von Rechner PC1 zur Ziel-IPv4-Adresse **10.39.97.199** soweit wie möglich in die Netzwerktopologie ein. Schreiben Sie in den Kästen neben jedem Router, welcher Eintrag im Rahmen des LPM (*Longest Prefix Matching*) für diesen Router gewählt wird.



f)* Gibt es Einträge in der **Routingtabelle von R1** (Abbildung 3.1a), welche zusammengefasst werden können? Begründen Sie.

Einträge 3 und 5 in Routingtabelle 3.1a (Router R1) lassen sich zusammenfassen. Eintrag 3 kann einfach entfernt werden, da Präfix 3 in 5 ist und den selben Next-Hop besitzt.

Lösungsvorlagen

Aufgabe 4 Wireshark (17 Punkte)

Gegeben sei der Ethernet-Rahmen (ohne FCS) aus Abbildung 4.1, welcher im Folgenden analysiert werden soll.

	(b)								(a)								(c)			
0x0000	3c	a6	2f	78	3b	(g)	96	04	7b	cb	c1	08	(d)	06	86	dd	60	05		
0x0010	b0	03	00	1a	06	(d)	40	2a	02	24	55	18	(f)	9d	00	00	06	7b		
0x0020	cb	ff	fe	c1	08	06	2a	00		47	00	00	00	00	09	00	0f			
0x0030	00	00	00	00	00	0b	c6	cc		00	15	ec	f6	4d	b5	dc	28			
0x0040	38	2f	50	18	7f	a9	f8	30		00	00	50	41	53	56	0d	0a			

Abbildung 4.1: Ethernet-Rahmen (ohne FCS)

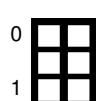
Beachten Sie, dass für nachfolgende Teilaufgaben Begründungen erforderlich sind. Achten Sie darauf, dass Markierungen eindeutig einzelnen Teilaufgaben zugeordnet werden können. Nicht nachvollziehbare Aussagen **werden nicht bewertet**.



a)* Markieren Sie in Abbildung 4.1 die Absenderadresse auf Schicht 2. (ohne Begründung)



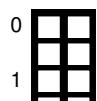
b)* Markieren Sie in Abbildung 4.1 die Empfängeradresse auf Schicht 2. (ohne Begründung)



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

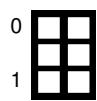
Typ: IPv6

Begründung: EtherType 0x86dd



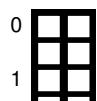
d) Geben Sie die Absenderadresse auf Schicht 3 in ihrer üblichen, ggf. gekürzten Schreibweise an.

2a02:2455:189d:0:67b:cbff:fec1:806



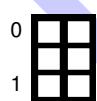
e) Begründen Sie, durch welchen Mechanismus die Absenderadresse auf Schicht 3 vermutlich zugewiesen wurde.

SLAAC, da die Absenderadresse den modifizierten EUI-64 Identifier enthält, der aus der Absender MAC-Adresse generiert wurde



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

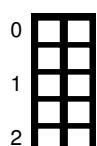
2a00:4700:0:9::b



g) Von welchem Typ ist die L4-PDU?

Typ: TCP

Begründung: Next Header Feld im IP-Header ist 0x06



h) An welcher Stelle im Frame beginnt die L4-PDU?

Offset: 0x0036

Begründung: Next Header = TCP
⇒ 40 B IP Header / keine Extension Header

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

Protokoll: **FTP**

Begründung: **TCP Destination Port 21**

	0
	1
	2

j) An welcher Stelle im Frame beginnt die L7-PDU?

Offset: **0x004a**

Begründung: **Offset = 0x5 (4 bit Feld) ⇒ 20 B TCP-Header (mit Optionen)**

	0
	1
	2

k) Dekodieren Sie die L7-Payload. **Hinweis:** Es handelt sich um ein text-basiertes Protokoll (ASCII).

0x50, 0x41, 0x53, 0x56, 0x0d, 0x0a = PASV\r\n

	0
	1
	2

l) Was bewirkt diese L7-Payload beim Server?

Der Server wird an den Client IP-Adresse und Portnummer zum Aufbau eines Datenkanals senden.

	0
	1
	2

Aufgabe 5 Aufzeichnungen (17.5 Punkte)

Sie möchten, trotz hoffentlich bestandener Klausur, nach einiger Zeit lobenswerterweise die Inhalte der Vorlesung nochmals wiederholen. Dafür bedienen Sie sich der Vorlesungsaufzeichnungen. Die Vorlesung über TCP hat es ihnen ganz besonders angetan. Das Video ist 512 MiB groß. Ihr Rechner ist momentan per Ethernet und IPv6 mit dem Internet verbunden. Der Zugriff auf das Video soll über HTTP 1.1 stattfinden. Bei der darunterliegenden TCP Verbindung werden keine Optionen benutzt. Die Pfad-MTU betrage 1500 B. Zuerst haben wir einen Blick auf die Application Layer.

0
1/2

a)* Welches HTTP Kommando (Method) wird benutzt, um das Video zu laden? (ohne Begründung)

GET

Sie erhalten daraufhin folgende HTTP-Response, neben den Daten auch einige Metadaten enthält. Sie ist in Abbildung 5.1 teilweise dargestellt.

```
HTTP/1.1 ①\r\n
...
Content-Length: ②\r\n
...
<data>
```

Abbildung 5.1: Teile der HTTP-Response

0
1

b) Ergänzen Sie die fehlenden Felder der Response auf Abbildung 5.1. Beachten Sie, dass die Content-Length in Byte angegeben wird.

①: 200 OK
②: 512 MiB = $512 \cdot 2^{20} B = 536870912(B)$

0
1

c)* Welche weiteren Informationen kann die Response enthalten? Nennen Sie zwei Beispiele (ohne Begründung)

Server, Content-Type, Date, ...

0
1

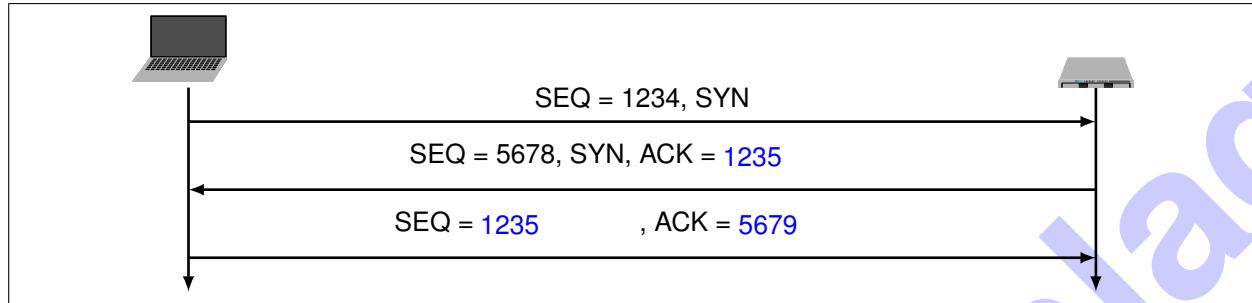
Nun betrachten wir die dazugehörige TCP Verbindung und die Übertragung der Segmente

d)* Zeigen Sie, dass die maximale Segmentgröße, sodass nicht fragmentiert werden muss, in diesem Szenario bei **1440 B** liegt.

MTU - | IPv6-PCI | - | TCP-PCI |
1500 B - 40 B - 20 B = 1440 B

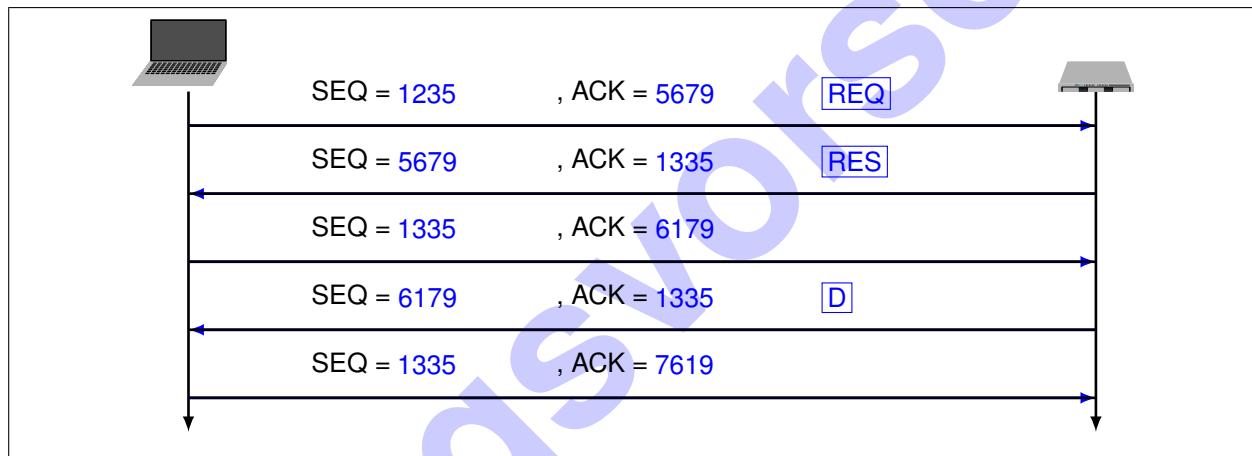
Wir nehmen an, dass der HTTP-Request 100 Byte groß ist. Das erste Segment nach dem HTTP-Request enthalte nur die HTTP Metadaten der HTTP-Response, welche 500 Byte groß sind. Erst die danach folgenden Segmente enthalten die angeforderten Daten. Die Größe der anderen Segmente sei maximal groß gewählt. Segmente werden, sobald möglich, bestätigt.

e)* Vervollständigen Sie Angaben zum TCP Handshake. Gehen Sie davon aus, dass während des Handshakes keine Nutzdaten übertragen werden.



	0
	1

f) Ergänzen Sie die fehlenden Angaben für die Kommunikation nach dem Handshake und **ergänzen Sie die fehlenden Pfeilrichtungen**. Markieren Sie in der zusätzlichen Box der entsprechenden Zeilen zudem Segmente mit einem HTTP-Request mit **[REQ]**, Segmente mit einer HTTP-Response mit **[RES]** und Segmente mit den Daten mit **[D]**.



	0
	1
	2
	3
	4
	5

g) Wieviele Segmente mit den angeforderten *Daten* wird der Server **insgesamt** versenden? Geben Sie den Rechenweg an.

$$\left\lceil \frac{536870912 \text{ B}}{1440 \text{ B}} \right\rceil = 372828$$

	0
	1

Die Videoübertragung ist nun angelaufen. Wir nehmen nun an, dass der vereinfachte Congestion Control Mechanismus von TCP Reno, wie in der Vorlesung vorgestellt, verwendet wird, und wir uns in der Congestion Avoidance (CA) Phase befinden. Wir nehmen an, dass die Bandbreite der Verbindung 17 MSS/RTT zulässt und kein Router auf dem Weg zum Server einen Puffer besitzt.



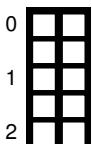
h)* Was passiert, wenn das Sendefenster w_s auf über 17 MSS wächst?

Es kommt zum Paketverlust aufgrund der Überlastsituation. Es wird zu duplizierten ACKs kommen.



i) Wie wird die Staukontrolle darauf reagieren?

w_c wird halbiert, erneut CA



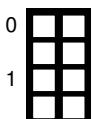
j)* Welchen effektiven Durchsatz (in MSS/RTT) erreicht die Übertragung?

$$\frac{9 + 10 + 11 + 12 + 13 + 14 + 15 + 16 + 17 + 17 \text{ MSS}}{10 \text{ RTT}} = 13.4 \text{ MSS/RTT}$$

Alternativ nach Cheatsheet:

$$T = \frac{18}{2} + 1 \cdot \text{RTT} = 10 \text{ RTT}, n = \frac{3}{8} \cdot 18^2 + \frac{3}{4} \cdot 18 = 135$$

$$\theta = \frac{1}{135}, r_{TCP} = \frac{135 \text{ MSS}}{10 \text{ RTT}} \cdot \left(\frac{134}{135} \right) = 13.4 \frac{\text{MSS}}{\text{RTT}}$$



k)* Angenommen, Ihr Rechner ist sehr schwach und wird durch die ankommenden Segmente überlastet. Wie kann das vermieden werden? Nennen Sie den Mechanismus und beschreiben Sie **kurz** wie er funktioniert.

Flusskontrolle

Der Empfänger teilt die Größe seines Empfangsfensters w_r mit.

Der Sender passt daraufhin sein Sendefenster an.

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

Lösungsvorschlag

Lösungsvorschlag