



**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 (GRNVS)

**Modul:** IN0010      **Prüfer:** Prof. Dr.-Ing. Georg Carle  
**Klausur:** Endterm      **Datum:** Dienstag, 26. Juli 2016, 10:30 – 12:00

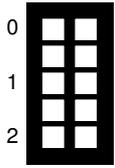
	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
I					
II					

### Bearbeitungshinweise

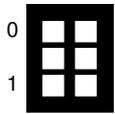
- Diese Klausur umfasst
  - **20 Seiten** mit insgesamt **5 Aufgaben** sowie
  - eine beidseitig bedruckte **Formelsammlung**.
- Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Das Heraustrennen von Seiten aus der Prüfung ist untersagt.
- Mit \* gekennzeichnete Teilaufgaben 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.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Prüfung beträgt 85 Punkte.
- Als Hilfsmittel sind zugelassen:
  - ein **nicht-programmierbarer Taschenrechner**
  - ein **analoges Wörterbuch** Deutsch ↔ Muttersprache **ohne Anmerkungen**
- Schalten Sie alle mitgeführten elektronischen Geräte vollständig aus, verstauen Sie diese in Ihrer Tasche und verschließen Sie diese.

## Aufgabe 1 Kurzaufgaben (21.5 Punkte)

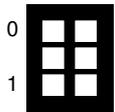
Die nachfolgenden Teilaufgaben sind jeweils unabhängig voneinander lösbar.



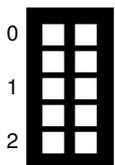
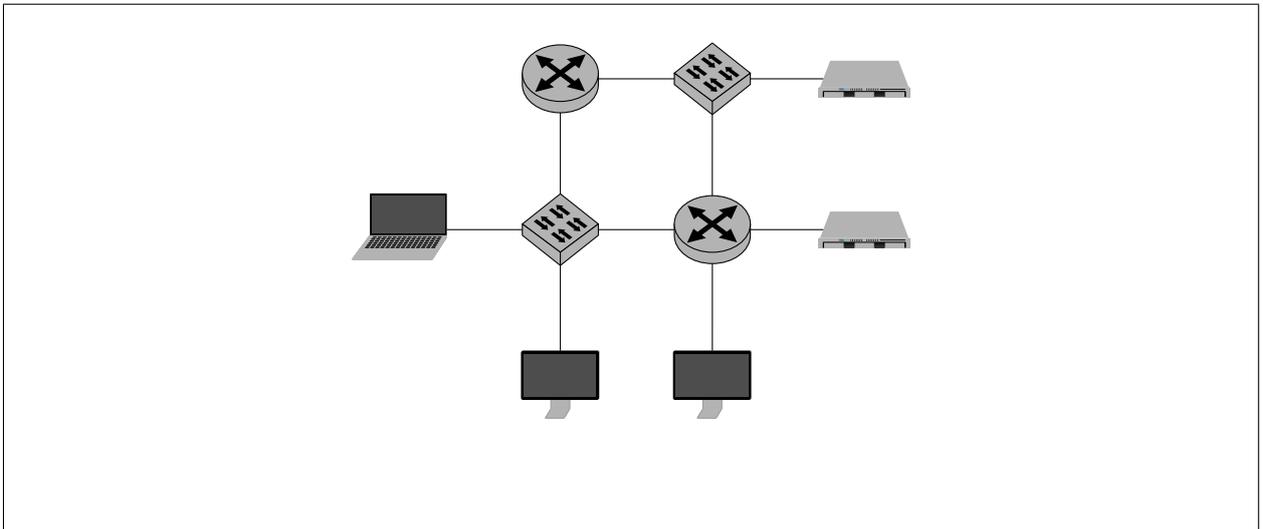
a)\* Nennen Sie die Schichten (englisch oder deutsch) des ISO/OSI-Modells in aufsteigender Folge.



b)\* Gegeben sei das 32 bit lange Datum  $0x81ff0010$  in Network Byte Order. Wie lautet die Darstellung in Little Endian?

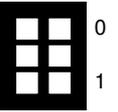


c)\* Gegeben sei das folgende Netzwerk. Zeichnen Sie alle Kollisionsdomänen ein.

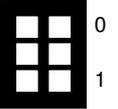


d)\* Erklären Sie kurz zwei Probleme, die mit RIP auftreten können.

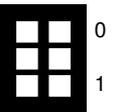
e)\* Was ist der Unterschied zwischen RTT und TTL?



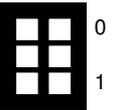
f)\* Was ist die Funktion eines Resolvers?



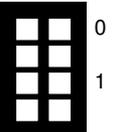
g)\* Begründen Sie, ob sich ein Resolver in derselben Broadcastdomäne wie der anfragende Client befinden muss.



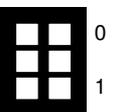
h)\* Was versteht man unter einem „präfixfreien Code“?



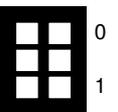
i)\* Bestimmen Sie den Reverse-FQDN zu 128.66.50.60.

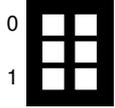


j)\* Welche Systemaufrufe sind notwendig, um einen UDP-Socket zur bidirektionalen Kommunikation zu erzeugen?

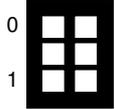


k)\* Wie lautet die Kurzschreibweise der IPv6-Adresse `2001:0db8:0000:0000:0a00:0000:0000:000c`?

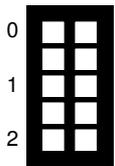




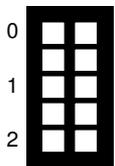
l)\* Erklären Sie kurz, wofür SLAAC verwendet wird.



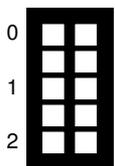
m)\* Nennen Sie zwei Routingprotokolle.



n)\* Begründen Sie, warum bei IEEE 802.3 eine minimale Rahmengröße gefordert ist.



o)\* Berechnen oder begründen Sie die notwendige Signalleistung  $P_S$ , so dass bei einer Rauschleistung von  $P_N = 1.0 \text{ mW}$  ein Signal-zu-Rauschabstand von 6 dB erreicht wird.



p)\* Gegeben sei ein Alphabet mit insgesamt 64 unterschiedlichen Zeichen deren Auftrittswahrscheinlichkeit gleichverteilt ist. Begründen Sie, ob die durchschnittliche Codewortlänge bei Nutzung des Huffman-Codes größer, gleich oder kleiner 6 bit ist.

## Aufgabe 2 Abtastung und Quantisierung (11 Punkte)

Gegeben sei das in Abbildung 2.1 dargestellte Zeitsignal  $s(t)$ . Dieses entstand durch Modulation von Rechteckimpulsen auf einen Kosinusträger der Frequenz  $f = \frac{1}{2\pi}$ . Dieses Signal soll im Folgenden abgetastet und quantisiert sowie dessen Information wiedergewonnen werden.



Abbildung 2.1: Moduliertes Signal  $s(t)$  und Lösungsvordruck für Teilaufgaben a) und d)

a)\* Tasten Sie das Signal  $s(t)$  zu den Zeitpunkten  $t[n] = n + 0.5$  für  $n = 0, 1, \dots$  ab. Zeichnen Sie die Abtastwerte in Abbildung 2.1 ein **und** geben sie die Abtastwerte  $s[n]$  auf eine Dezimalstelle genau in der dafür vorgesehenen Zeile an.

								0
								1
								2
								3

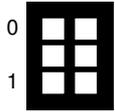
Wir gehen davon aus, dass  $s(t)$  im Intervall  $I = [-2; 2]$  gleichverteilt ist. Die Abtastwerte sollen nun auf vier diskrete Werte quantisiert werden, so dass der Quantisierungsfehler in  $I$  minimiert wird.

b)\* Geben Sie die Quantisierungsstufen an.

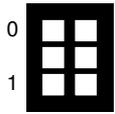
				0
				1

c)\* Bestimmen Sie den maximalen Quantisierungsfehler innerhalb von  $I$ .

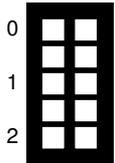
				0
				1



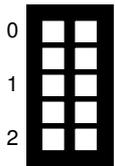
d) Tragen Sie die quantisierten Abtastwerte  $\hat{s}[n]$  in Abbildung 2.1 in der dafür vorgesehenen Zeile ein.



e)\* Wie viele Bit werden zur Darstellung der Quantisierungsstufen benötigt.

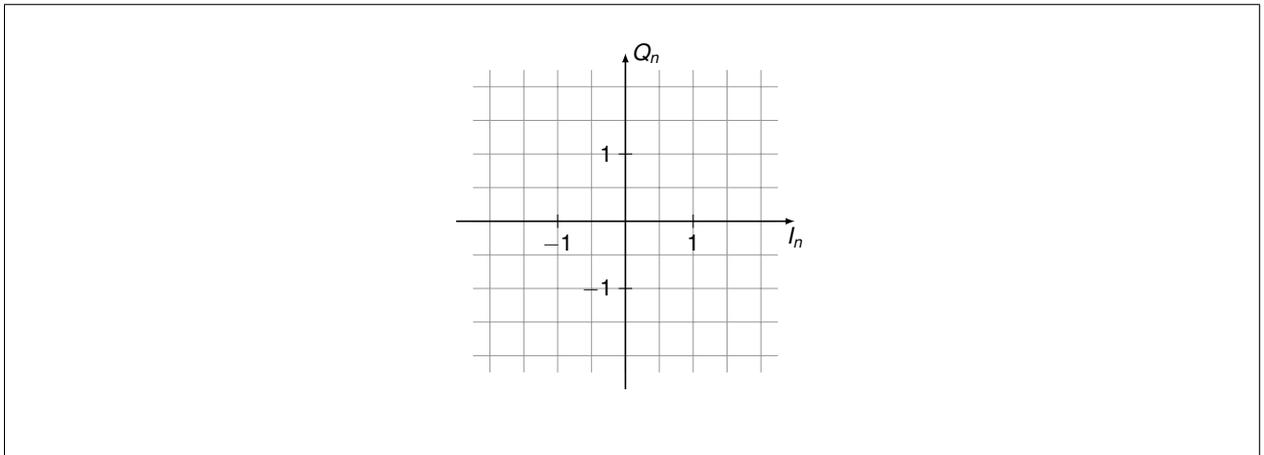


f) Begründen Sie kurz, welches Modulationsverfahren bei der Erzeugung von  $s(t)$  mit hoher Wahrscheinlichkeit benutzt wurde.



g) Geben Sie eine gültige Signalraumzuordnung an.

**Hinweis:** Es gibt mehrere mögliche Lösungen. Die Angabe einer Lösung ist ausreichend.



### Aufgabe 3 Datamatrix in Kornfeldern (15 Punkte)

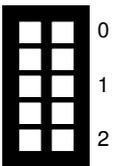
Die Moepis vom Planeten Gliese 587c haben große technologische Fortschritte gemacht und einen neuen Planeten entdeckt – die Erde. Dieser, so scheint es, ist mit einer seltsamen Spezies bevölkert. Um mit diesen Wesen Kontakt aufzunehmen, benutzen die Moepis einen Laserstrahl, mit dessen Hilfe sie Datamatrix-Codes in Kornfelder brennen.

Zur Übertragung des  $i$ -ten Buchstabens wird dieser zunächst als 7 bit langes ASCII-Zeichen  $a_i$  dargestellt, welches im Anschluss als 8 bit langes Datum  $d_i = a_i + 1$  kodiert wird. Eine Sequenz von  $k$  Buchstaben wird als Polynom

$$d(x) = \sum_{i=1}^k d_i x^{k-i} \text{ mit } d_i \in \{0, 1, \dots, 255\} \quad (1)$$

kodiert.

a)\* Geben Sie  $d(x)$  für die Nachricht „Hello“ an (ohne Anführungszeichen).

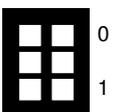


Da beispielsweise bei defekten Stellen im Kornfeld Übertragungsfehler auftreten können, wird die Nachricht mittels *Reed-Solomon-Code* gesichert. Dabei handelt es sich um einen Blockcode, der einen Datenblock  $d(x)$  der Länge  $k$  Byte auf einen Codeblock  $c(x)$  der Länge  $n$  Byte abbildet (s. Abbildung 3.1). Innerhalb eines Codeblocks können dafür eine gewisse Anzahl fehlerhafter Bytes korrigiert werden.



Abbildung 3.1: Reed-Solomon-Encoder

b)\* Begründen Sie, ob es sich bei dem hier beschriebenen Verfahren um Kanal- oder Quellencodierung handelt.



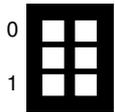
**Hinweis:** Sofern Sie Teilaufgabe a) nicht lösen konnten, verwenden Sie für die nachfolgenden Teilaufgaben das Polynom  $d(x) = 78x^4 + 112x^3 + 102x^2 + 113x + 106$ .

Der Codeblock  $c(x)$  zu einem Datenblock  $d(x)$  wird gemäß

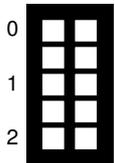
$$c(x) = d(x) \cdot x^{n-k} + e(x) \quad (2)$$

berechnet, wobei  $e(x) = d(x) \cdot x^{n-k} \bmod r(x)$  die redundante Information darstellt. Im vorliegenden Fall werden  $k = 5$  B auf  $n = 12$  B abgebildet. Das zugehörige Reduktionspolynom  $r(x)$  lautet

$$r(x) = 254x^6 + 92x^5 + 240x^4 + 134x^3 + 144x^2 + 68x + 23. \quad (3)$$

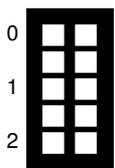


c)\* Inwiefern unterscheidet sich  $e(x)$  von einer Checksumme, wie sie z. B. bei CRC verwendet wird?



d)\* Begründen Sie, wie sich die ersten 5 B des Codeblocks zusammensetzen.

Wie im Lösungsfeld zu Teilaufgabe e) dargestellt, werden in der Datamatrix einzelne Symbole zu je 8 bit in Form von Blöcken zu je  $3 \times 3$  Pixel dargestellt, wobei die rechte obere Ecke jedes Blocks frei bleibt. Die Pixel sind entsprechend ihrer Wertigkeit nummeriert („1“ markiert das niederwertigste bit).



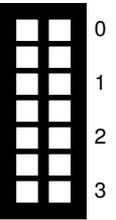
e) Markieren Sie für das **zweite** Symbol die gesetzten (logisch 1) Bitpositionen.

8	7	
6	5	4
3	2	1

Das Moepi, welches den Laser bedient, versagt mit Wahrscheinlichkeit  $0 < \epsilon < 1$ , was dann zu einer fehlerhaften Markierung führt. Ein Symbol (wie im Lösungsfeld zu Teilaufgabe e) dargestellt ist defekt, sobald mindestens eine Position fehlerhaft ist.

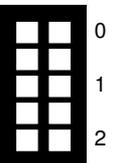
Der Reed-Solomon-Code ist in der Lage, bis zu drei defekte Bytes innerhalb einer gesicherten Nachricht von  $n = 12$  B zu korrigieren – unabhängig davon, wie viele Bitfehler in einem betroffenen Byte enthalten sind.

f)\* Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von  $\epsilon$ , dass die Menschen die Datamatrix korrekt entziffern können. Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit möglich.

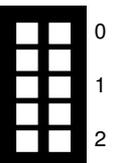


Leider ist den Moepis bei der Berechnung der Reed-Solomon-Codes jedoch ein Fehler unterlaufen, weswegen  $e(x)$  falsch bestimmt wurde.

g) Erklären Sie, wie die Menschen auf der Erde die Nachricht dennoch dekodieren können.



h) Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von  $\epsilon$ , dass eine Datamatrix mit dem in Teilaufgabe g) beschriebenen Verfahren korrekt dekodiert werden kann. Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit möglich.



## Aufgabe 4 NAT und statisches Routing (15 Punkte)

Wir betrachten das Netzwerk aus Abbildung 4.1. PC1 und PC2 sind über den Switch S miteinander und mit dem Router R1 verbunden. Im lokalen Netzwerk werde das Subnetz 10.12.121.32/28 verwendet. Der Router R1 ist über ein Transportnetz der Präfixlänge 30 mit R2 verbunden, welcher das Gateway zum Internet auf der Seite eines Service Providers darstellt.

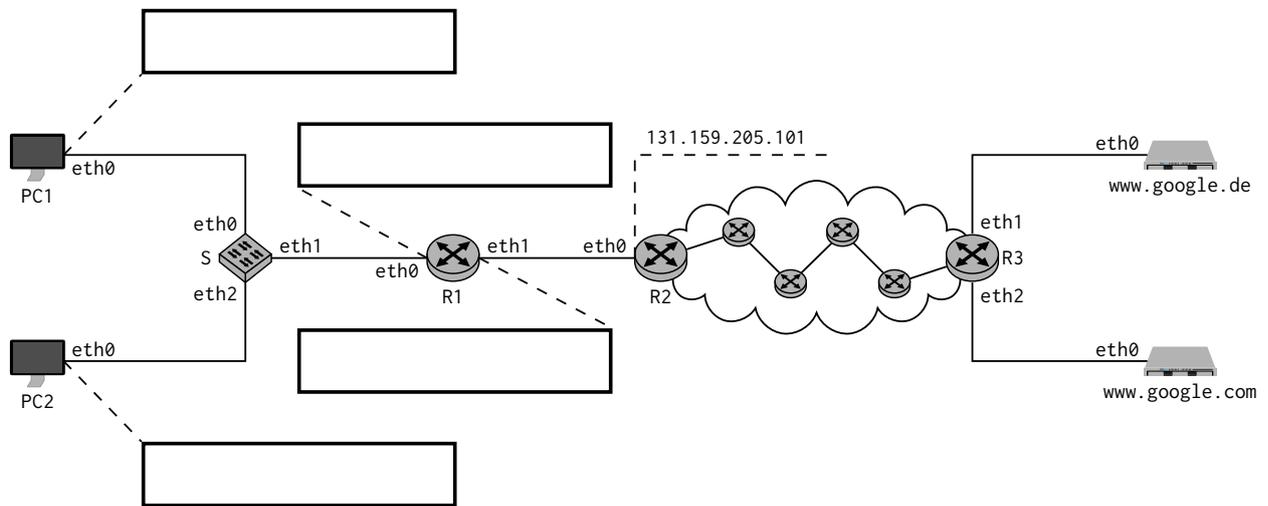
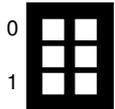
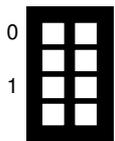


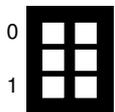
Abbildung 4.1: Netztopologie



a)\* Bestimmen Sie die Broadcast-Adresse des Subnetzes 10.12.121.32/28.



b)\* Vergeben Sie an PC1, PC2 und R1 IP-Adressen aus dem Subnetz 10.12.121.32/28. Tragen Sie diese direkt in Abbildung 4.1 ein.

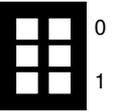


c)\* Bestimmen Sie die Netzadresse des Transportnetzes zwischen R1 und R2.

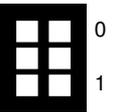


d) Weisen Sie R1 eine Adresse aus dem Transportnetz zu. Tragen Sie diese direkt in Abbildung 4.1 ein.

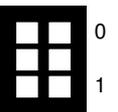
e)\* Wie viele /30 Subnetze gibt es im Netz 131.159.0.0/16?



f)\* Begründen Sie, warum R1 NAT unterstützen muss, um PC1 und PC2 Zugang zum Internet zu ermöglichen.



g)\* Welches Transportprotokoll und welcher Zielport wird verwendet, wenn PC1 mittels Browser auf die Webseite `www.google.de` zugreift?



Im Folgenden kürzen wir IP- und MAC-Adressen nach dem Schema `<Gerät>.<Interface>` ab, z. B. `R1.eth0` für die entsprechende Adresse an Interface `eth0` von Router `R1`. Beachten Sie für die nachfolgenden Teilaufgaben außerdem, dass sich zwischen `R2` und `R3` vier weitere Router befinden. `PC1` greift nun auf die Webseite `www.google.de` zu.

h) Ergänzen Sie für die Anfrage von `PC1` an `www.google.de` die Headerfelder in den drei leeren Kästen in Abbildung 4.2. Falls ein Feld nicht eindeutig bestimmt ist, treffen Sie eine sinnvolle Wahl.

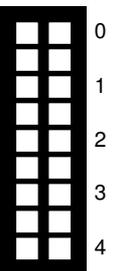
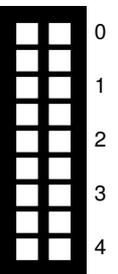
**Hinweis:**

- Falls Sie Teilaufgabe g) nicht lösen konnten, nehmen Sie Zielport 443 an.
- Der Hostname des Servers, auf dem `www.google.de` gehostet wird, kann durch „G“ abgekürzt werden.

i) Ergänzen Sie für die Antwort von `www.google.de` an `PC1` die Headerfelder in den drei leeren Kästen in Abbildung 4.3. Falls ein Feld nicht eindeutig bestimmt ist, treffen Sie eine sinnvolle Wahl.

**Hinweis:**

- Der Hostname des Servers, auf dem `www.google.de` gehostet wird, kann durch „G“ abgekürzt werden.



Src MAC	
Dst MAC	
Src IP	
Dst IP	
TTL	
Src Port	
Dst Port	

Src MAC	
Dst MAC	
Src IP	
Dst IP	
TTL	
Src Port	
Dst Port	

Src MAC	
Dst MAC	
Src IP	
Dst IP	
TTL	
Src Port	
Dst Port	

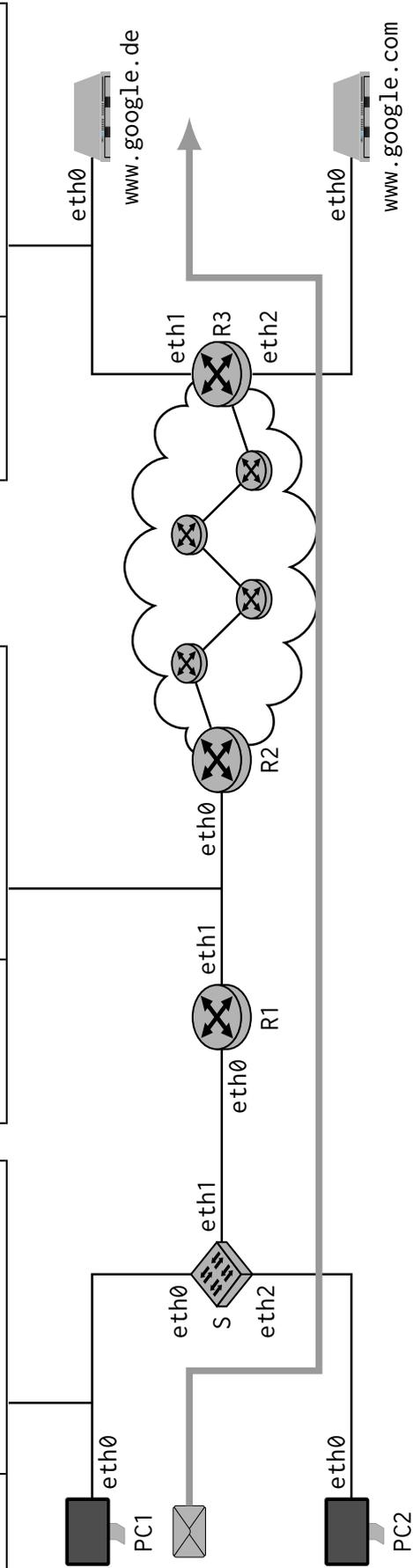


Abbildung 4.2: Lösungsvordruck für Teilaufgabe h)

Src MAC	
Dst MAC	
Src IP	
Dst IP	
TTL	
Src Port	
Dst Port	

Src MAC	
Dst MAC	
Src IP	
Dst IP	
TTL	
Src Port	
Dst Port	

Src MAC	
Dst MAC	
Src IP	
Dst IP	
TTL	
Src Port	
Dst Port	

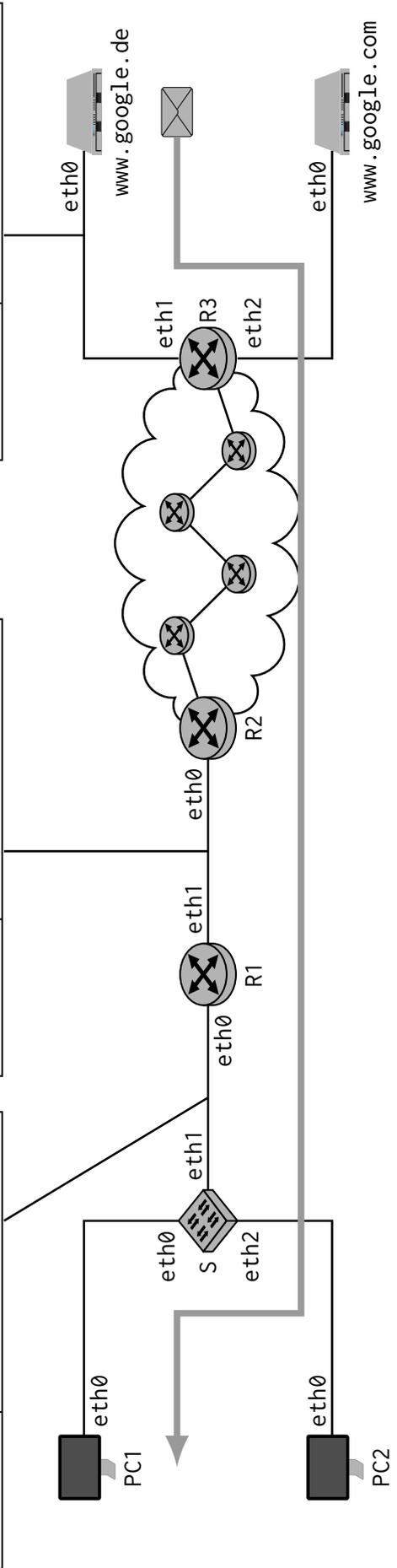
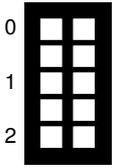


Abbildung 4.3: Lösungsvordruck für Teilaufgabe i)

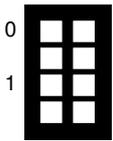
## Aufgabe 5 Transportprotokolle (22.5 Punkte)

Wir betrachten eine Verbindung zwischen einem Client  $C$  und einem Server  $S$  über das Internet. Vorgänge unterhalb der Transportschicht können vernachlässigt werden.



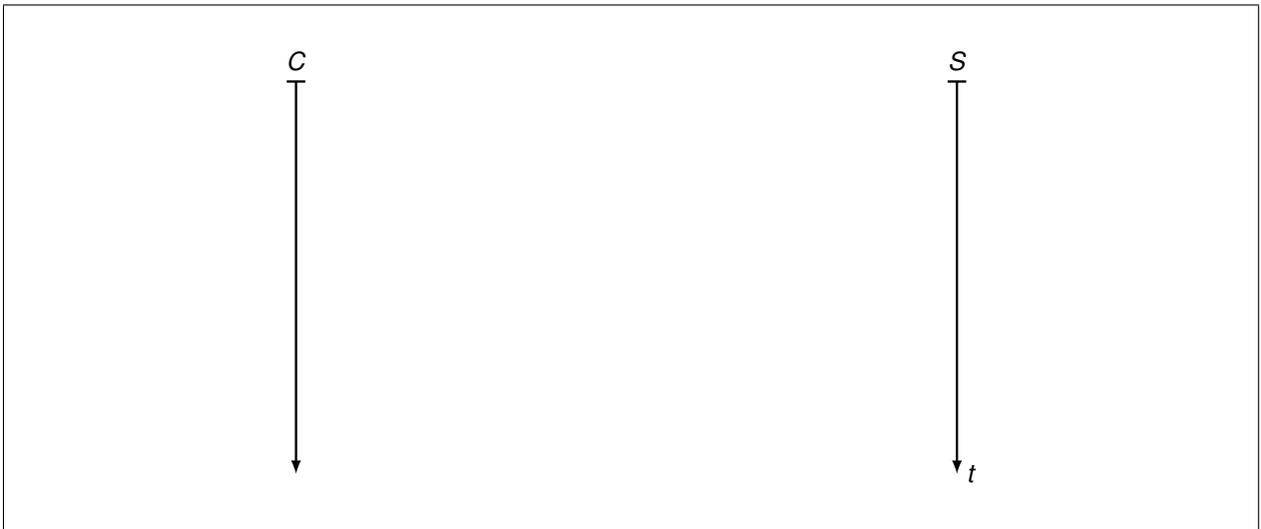
a)\* Erläutern Sie zwei wesentliche Unterschiede zwischen TCP und UDP.

Wir betrachten zunächst nur TCP. Wir nehmen an, dass Client  $C$  eine Verbindung zum Server  $S$  auf TCP 80 aufbaut. Die initialen Sequenznummern seien  $N$  für den Client  $C$  und  $M$  für den Server  $S$ .

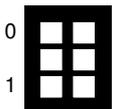


b)\* Skizzieren Sie den Verbindungsaufbau als vereinfachtes Weg-Zeit-Diagramm. Geben Sie dabei für jede ausgetauschte Nachricht Sequenznummer, Bestätigungsnummer sowie die gesetzten Flags an.

**Hinweis:** Beachten Sie die oben angegebenen initialen Sequenznummern.

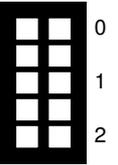


Nach dem Verbindungsaufbau fragt  $C$  den Download eines Films an, welcher daraufhin vom Server versendet wird. Die MSS betrage 1460 B.

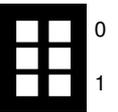


c)\* Was versteht man im Allgemeinen unter einer *MSS*?

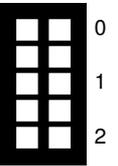
d)\* Wie errechnet sich der häufig anzutreffende Wert  $1 \text{ MSS} = 1460 \text{ B}$ ?



e)\* Nennen Sie die beiden Phasen, die der Staukontrollmechanismus von TCP während der Übertragungsphase durchläuft (ohne Begründung).



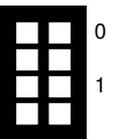
f) Beschreiben Sie kurz die Entwicklung der Größe  $w$  des Sendefensters während beider Staukontrollphasen.

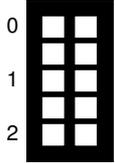


Wir wollen nun die benötigte Zeit zur Übertragung des Films bestimmen, welcher einer Größe von  $L = 600 \text{ MiB}$  habe. Serialisierungs- und Verarbeitungszeiten können vernachlässigt werden. Der initiale Request zum Download sei bereits versendet, d. h.  $s$  beginnt direkt mit dem Versenden des Films.

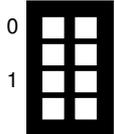
Wir betrachten die Größe  $w[k]$  des Sendefensters an  $s$  zu den Zeitpunkten  $k \cdot \text{RTT}$  für  $k = 0, 1, \dots$ , d. h. zu Beginn des  $k$ -ten Zeitschritts sind  $k \cdot \text{RTT}$  Sekunden vergangen. Die RTT betrage  $10 \text{ ms}$  und für  $k = 0$  gelte  $w[k] = 1 \text{ MSS}$ . Vereinfachend sei angenommen, dass genau ein Segment verloren geht, sobald  $w[k] \geq x = 128 \text{ MSS}$ . Das Empfangsfenster an  $c$  sei so gewählt, dass es keinen Einfluss auf die Entwicklung des Sendefensters hat.

g)\* Bestimmen Sie die Anzahl  $n$  der zu übertragenden Segmente.





h)\* Bestimmen Sie die Zeit  $t_1$  bis zum Auftritt des ersten Segmentverlusts in Sekunden.

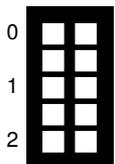


i) Bestimmen Sie die Anzahl  $n_1$  der **erfolgreich** übertragenen Segmente bis zum Auftritt des ersten Segmentverlusts.

Nach dem ersten Segmentverlust verbleiben  $n_2 = n - n_1$  Segmente, die noch zu übertragen sind.

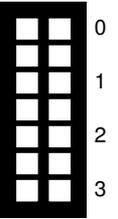
**Hinweise:**

1. Falls Sie Teilaufgabe i) nicht lösen konnten, gehen Sie von 430668 noch verbleibenden Segmenten aus.
2. Beachten Sie die Angaben im Abschnitt „Transportschicht“ auf der Formelsammlung.

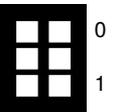


j)\* Bestimmen Sie die Dauer zwischen dem Auftreten weiterer Segmentverluste in Sekunden.

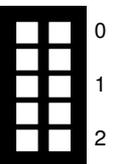
k)\* Bestimmen Sie die verbleibende Zeit  $t_2$ , bis die Übertragung abgeschlossen ist.



l) Bestimmen Sie die Gesamtzeit  $t$  für die Datenübertragung in Sekunden.



m)\* Begründen Sie, ob für den hier betrachteten Download UDP als sinnvolle Alternative in Betracht käme.



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

