

**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  
**Klausur:** Endterm

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

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

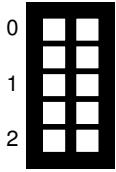
### Bearbeitungshinweise

- 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.

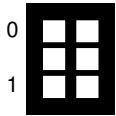
## Aufgabe 1 Kurzaufgaben (21.5 Punkte)

Die nachfolgenden Teilaufgaben sind jeweils unabhängig voneinander lösbar.

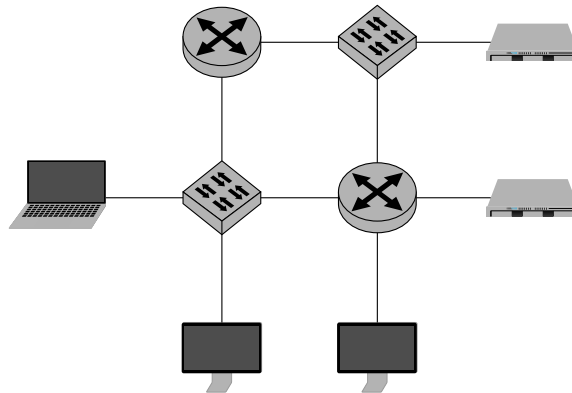
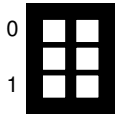
a)\* Nennen Sie die Schichten (englisch oder deutsch) des ISO/OSI-Modells in aufsteigender Folge.



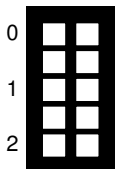
b)\* Gegeben sei das 32 bit lange Datum  $0x81ff0010$  in Network Byte Order. Wie lautet die Darstellung in Little Endian?



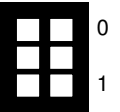
c)\* Gegeben sei das folgende Netzwerk. Zeichnen Sie alle Kollisionsdomänen ein.



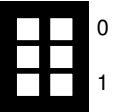
d)\* Erklären Sie kurz zwei Probleme, die mit RIP auftreten können.



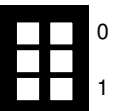
e)\* Was ist der Unterschied zwischen RTT und TTL?



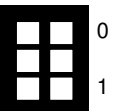
f)\* Was ist die Funktion eines Resolvers?



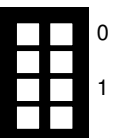
g)\* Begründen Sie, ob sich ein Resolver in derselben Broadcastdomäne wie der anfragende Client befinden muss.



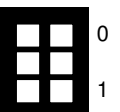
h)\* Was versteht man unter einem „präfixfreien Code“?



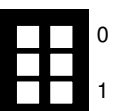
i)\* Bestimmen Sie den Reverse-FQDN zu 128.66.50.60.



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?



0

1



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

0

1

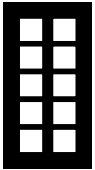


m)\* Nennen Sie zwei Routingprotokolle.

0

1

2

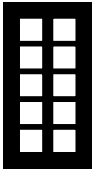


n)\* Begründen Sie, warum bei IEEE 802.3 eine minimale Rahmengröße gefordert ist.

0

1

2

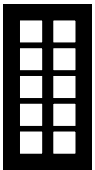


o)\* Berechnen oder begründen Sie die notwendige Signalleistung  $P_S$ , so dass bei einer Rauschleistung von  $P_N = 1.0 \text{ mW}$  ein Signal-zu-Rauschabstand von 6 dB erreicht wird.

0

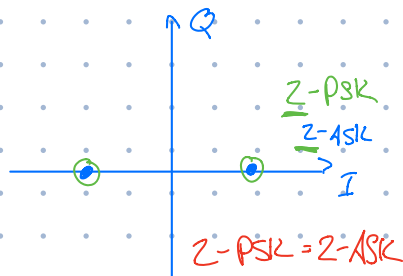
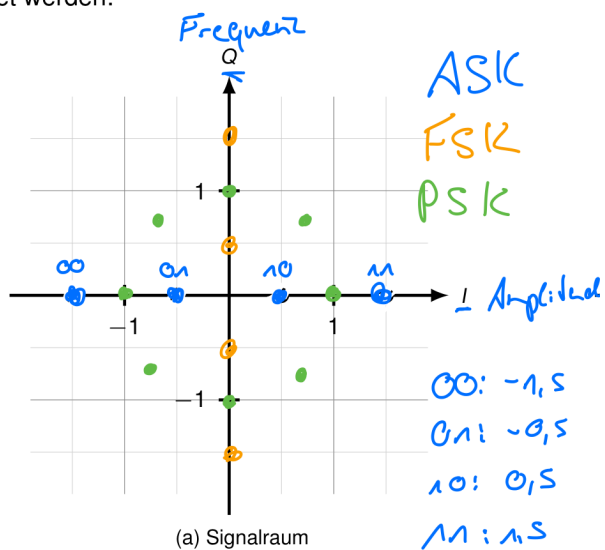
1

2

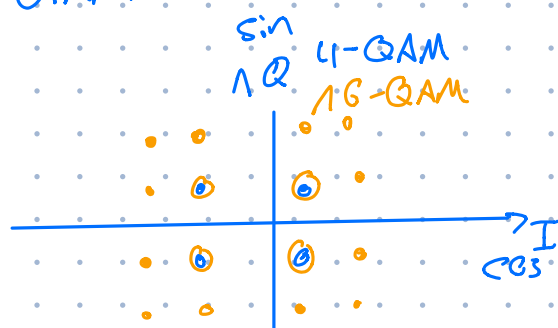


p)\* Gegeben sei ein Alphabet mit insgesamt 64 unterschiedlichen Zeichen deren Auftretswahrscheinlichkeit gleichverteilt ist. Begründen Sie, ob die durchschnittliche Codewortlänge bei Nutzung des Huffman-Codes größer, gleich oder kleiner 6 bit ist.

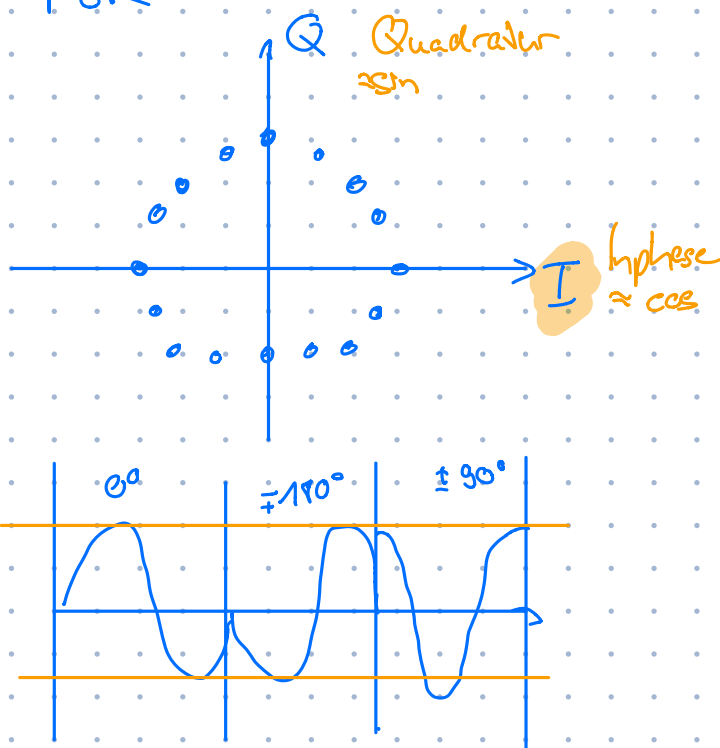
verwendet werden.



QAM:



PSK:



## 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.

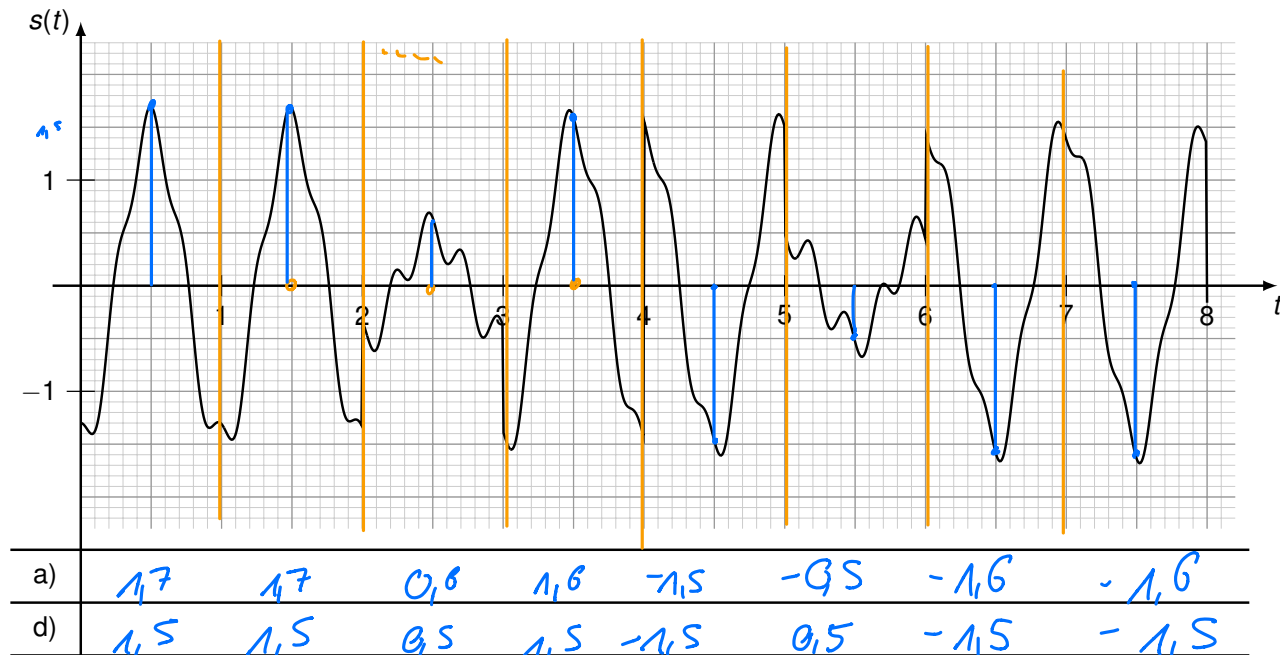
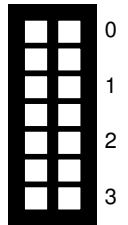


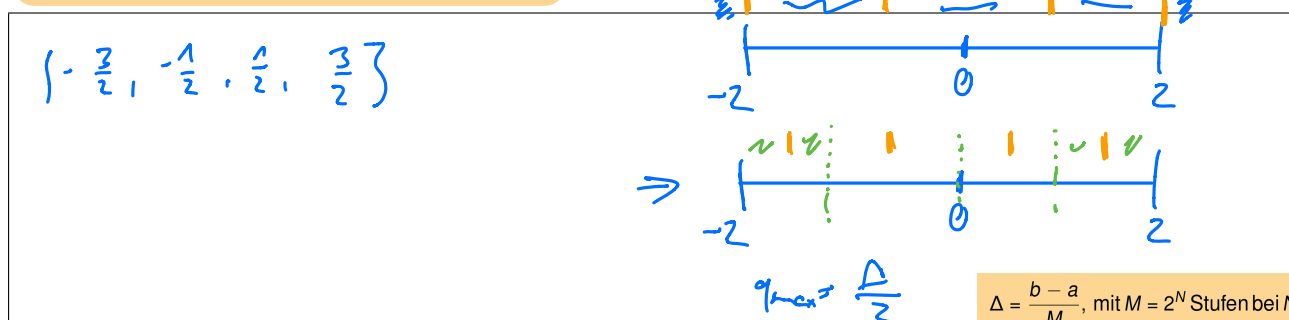
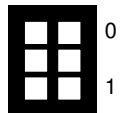
Abbildung 2.1: Moduliertes Signal  $s(t)$  und Lösungsvordruck für Teilaufgaben a) und d)

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.

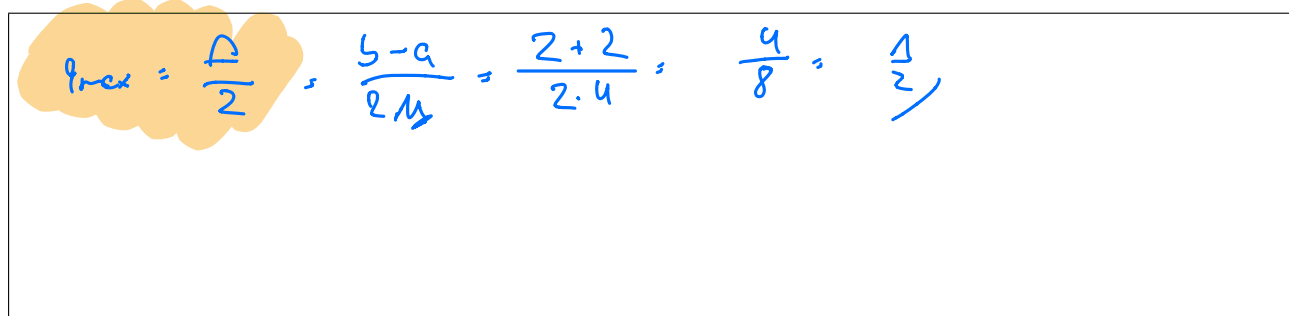
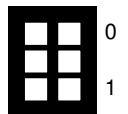


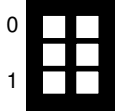
Wir gehen davon aus, dass  $s(t)$  im Intervall  $I = [-2; 2]$  gleichverteilt ist. Die Abtastwerte sollen nun auf vier diskrete Werte quantisiert werden, so dass der Quantisierungsfehler in  $I$  minimiert wird.

b)\* Geben Sie die Quantisierungsstufen an.

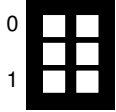


c)\* Bestimmen Sie den maximalen Quantisierungsfehler innerhalb von  $I$ .



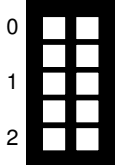


d) Tragen Sie die quantisierten Abtastwerte  $\hat{s}[n]$  in Abbildung 2.1 in der dafür vorgesehenen Zeile ein.



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

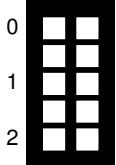
Anzahl Stufen:  $\log_2(M) = \log_2(4) = 2 \text{ Bit}$



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

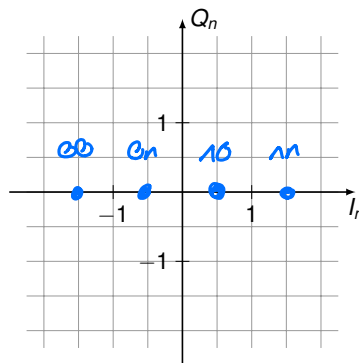
ASK: Ja, da 4 Amplitudenstufen mit  $\cos$ -Träger moduliert wurden.  
 PSK: Nur, falls 2-PSK mit Signalstufen auf Inphase  
 Aber, da 4 Signalpunkte, kann es keine PSK mit nur  $\cos$ -Trägersignal sein.  
 FSK: Nein, da Frequenz "konstant"

QAM! Nein, da nur Kosinusträger verwendet



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)

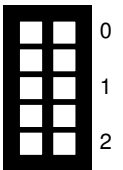
Die Moepis vom Planeten Gliese 587c haben große technologische Fortschritte gemacht und einen neuen Planeten entdeckt – die Erde. Dieser, so scheint es, ist mit einer seltsamen Spezies bevölkert. Um mit diesen Wesen Kontakt aufzunehmen, benutzen die Moepis einen Laserstrahl, mit dessen Hilfe sie Datamatrix-Codes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

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

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.

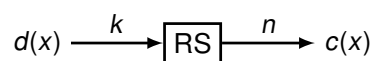
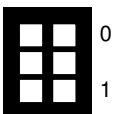


Abbildung 3.1: Reed-Solomon-Encoder

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





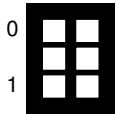
**Hinweis:** Sofern Sie Teilaufgabe a) nicht lösen konnten, verwenden Sie für die nachfolgenden Teilaufgaben das Polynom  $d(x) = 78x^4 + 112x^3 + 102x^2 + 113x + 106$ .

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

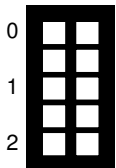
$$c(x) = d(x) \cdot x^{n-k} + e(x) \quad (2)$$

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

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

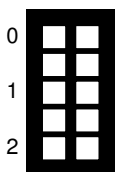


c)\* Inwiefern unterscheidet sich  $e(x)$  von einer Checksumme, wie sie z. B. bei CRC verwendet wird?



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).



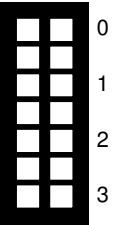
e) Markieren Sie für das **zweite** Symbol die gesetzten (logisch 1) Bitpositionen.

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.

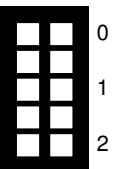
Der Reed-Solomon-Code ist in der Lage, bis zu drei defekte Bytes innerhalb einer gesicherten Nachricht von  $n = 12$  B zu korrigieren – unabhängig davon, wie viele Bitfehler in einem betroffenen Byte enthalten sind.

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

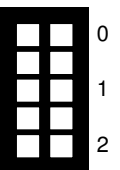


Leider ist den Moepis bei der Berechnung der Reed-Solomon-Codes jedoch ein Fehler unterlaufen, weswegen  $e(x)$  falsch bestimmt wurde.

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.

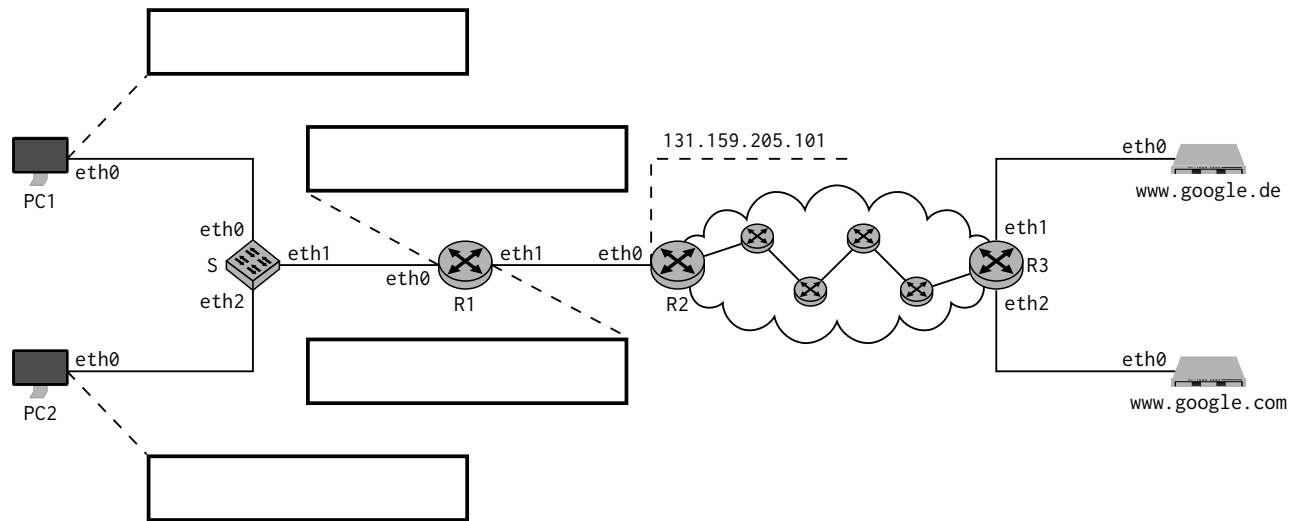
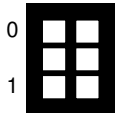
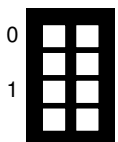


Abbildung 4.1: Netztopologie

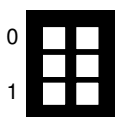


a)\* Bestimmen Sie die Broadcast-Adresse des Subnetzes 10.12.121.32/28.



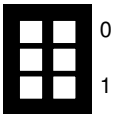
b)\* Vergeben Sie an PC1, PC2 und R1 IP-Adressen aus dem Subnetz 10.12.121.32/28. Tragen Sie diese direkt in Abbildung 4.1 ein.

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

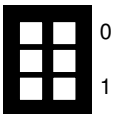


d)\* Weisen Sie R1 eine Adresse aus dem Transportnetz zu. Tragen Sie diese direkt in Abbildung 4.1 ein.

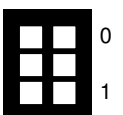
e)\* Wie viele /30 Subnetze gibt es im Netz 131.159.0.0/16?



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?

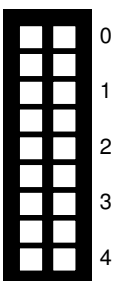


Im Folgenden kürzen wir IP- und MAC-Adressen nach dem Schema `<Gerät>.<Interface>` ab, z. B. `R1.eth0` für die entsprechende Adresse an Interface `eth0` von Router `R1`. Beachten Sie für die nachfolgenden Teilaufgaben außerdem, dass sich zwischen `R2` und `R3` vier weitere Router befinden. `PC1` greift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

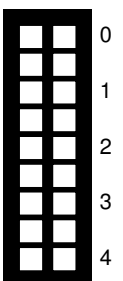
- Falls Sie Teilaufgabe g) nicht lösen konnten, nehmen Sie Zielport 443 an.
- Der Hostname des Servers, auf dem `www.google.de` gehostet wird, kann durch „G“ abgekürzt werden.



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.



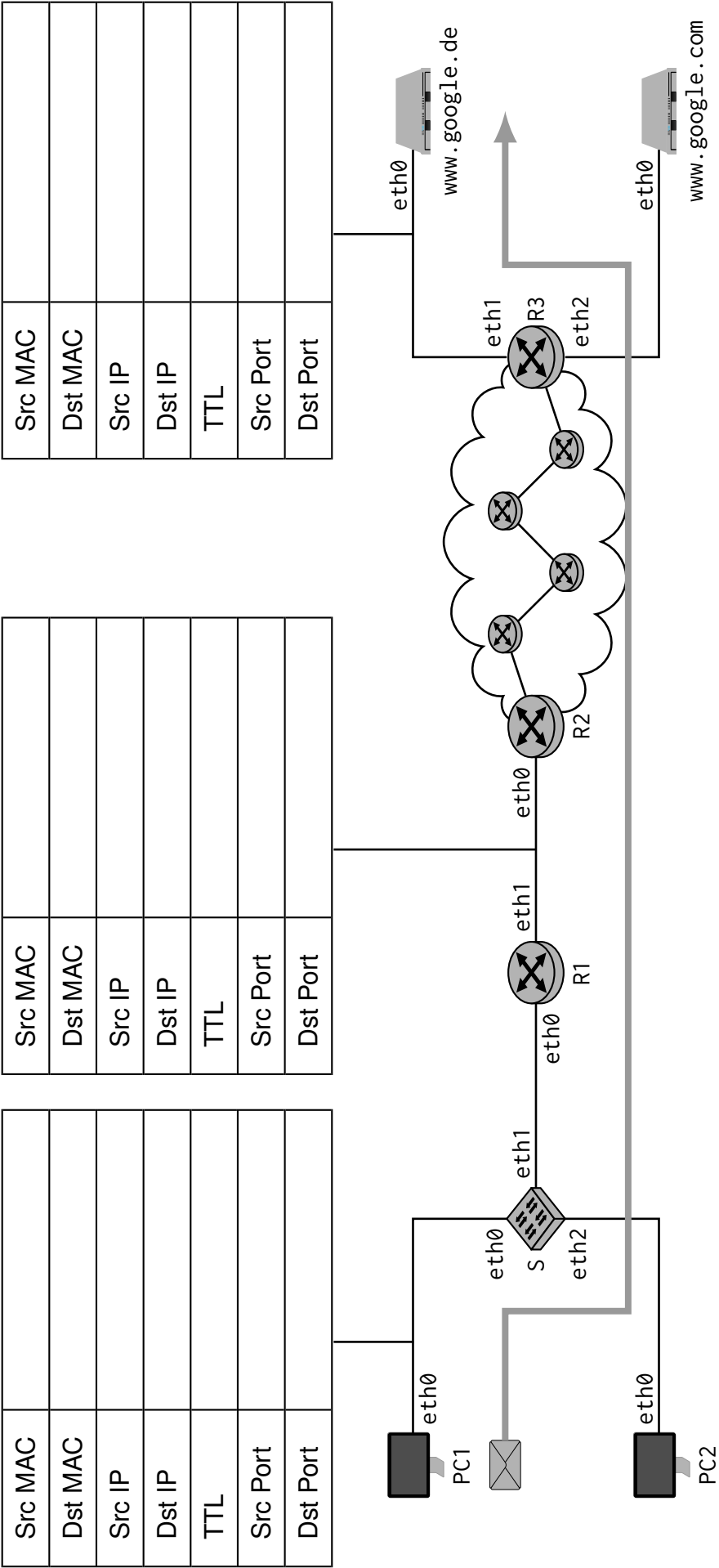


Abbildung 4.2: Lösungsvordruck für Teilaufgabe h)

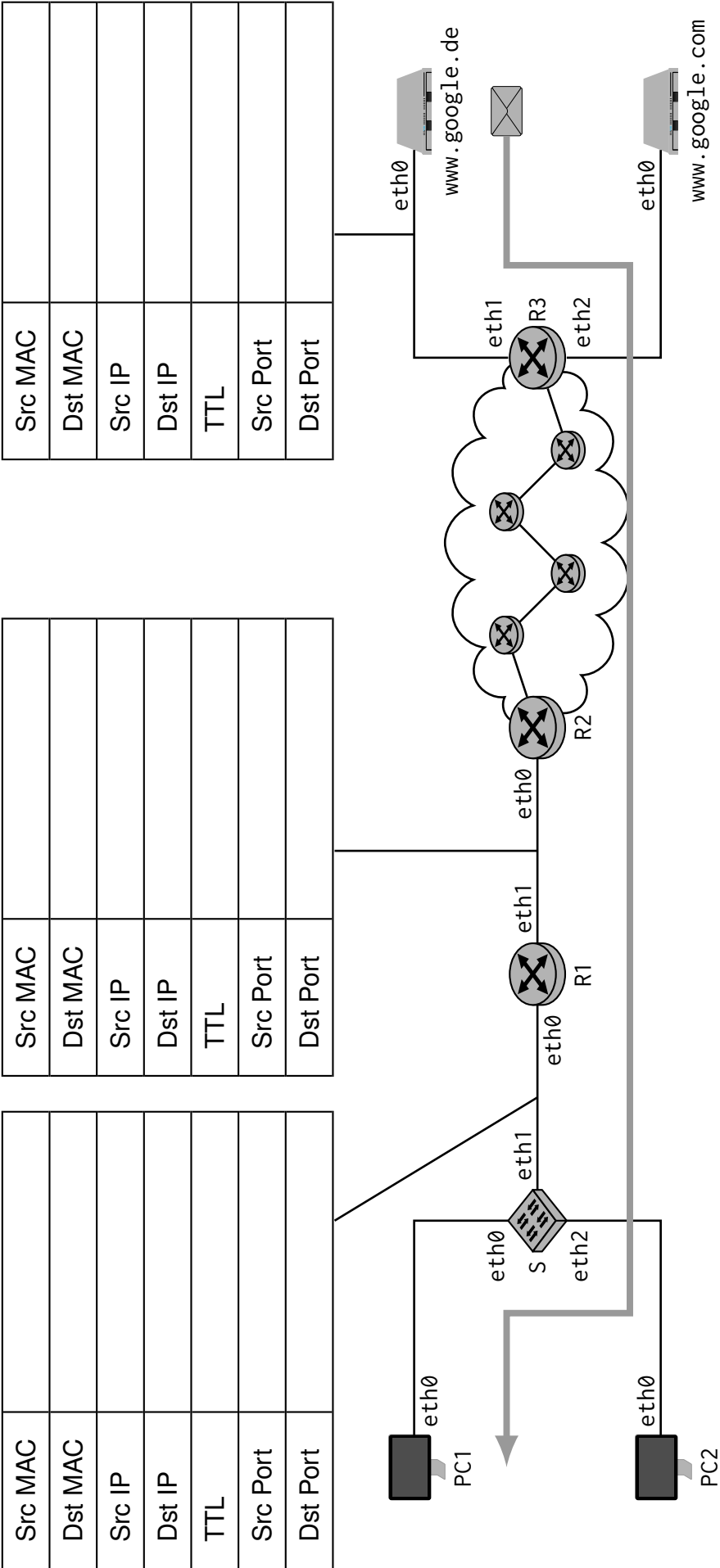
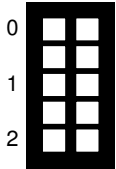


Abbildung 4.3: Lösungsvordruck für Teilaufgabe i)

## 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.

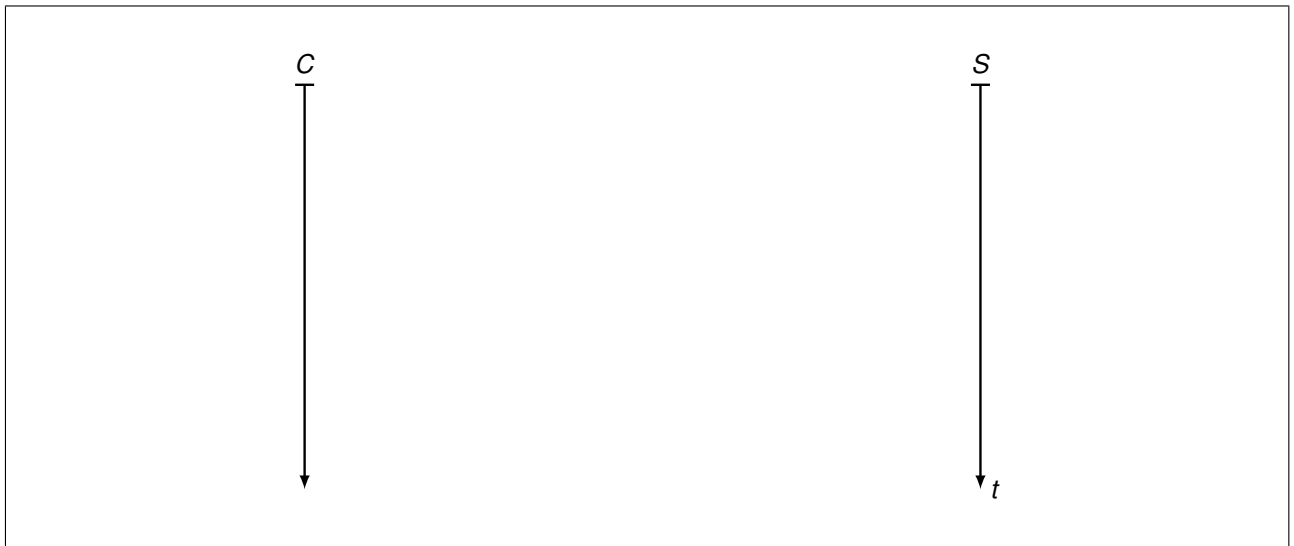
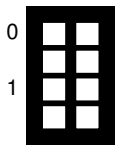
a)\* Erläutern Sie zwei wesentliche Unterschiede zwischen TCP und UDP.



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  $s$ .

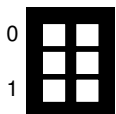
b)\* Skizzieren Sie den Verbindungsaufbau als vereinfachtes Weg-Zeit-Diagramm. Geben Sie dabei für jede ausgetauschte Nachricht Sequenznummer, Bestätigungsnummer sowie die gesetzten Flags an.

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

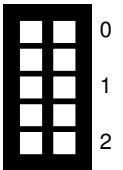


Nach dem Verbindungsaufbau fragt  $c$  den Download eines Films an, welcher daraufhin vom Server versendet wird. Die MSS betrage 1460 B.

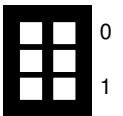
c)\* Was versteht man im Allgemeinen unter einer *MSS*?



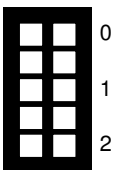
d)\* Wie errechnet sich der häufig anzutreffende Wert  $1 \text{ MSS} = 1460 \text{ B}$ ?



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



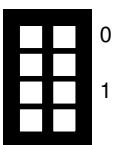
f) Beschreiben Sie kurz die Entwicklung der Größe  $w$  des Sendefensters während beider Staukontrollphasen.



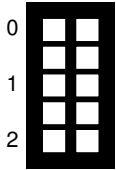
Wir wollen nun die benötigte Zeit zur Übertragung des Films bestimmen, welcher einer Größe von  $L = 600 \text{ MiB}$  habe. Serialisierungs- und Verarbeitungszeiten können vernachlässigt werden. Der initiale Request zum Download sei bereits versendet, d. h.  $S$  beginnt direkt mit dem Versenden des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

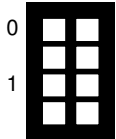
g)\* Bestimmen Sie die Anzahl  $n$  der zu übertragenden Segmente.







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

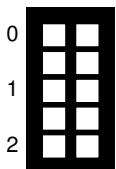


i) Bestimmen Sie die Anzahl  $n_1$  der **erfolgreich** übertragenen Segmente bis zum Auftritt des ersten Segmentverlusts.

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.

A diagram showing a 4x2 grid of squares. The squares are arranged in two columns and four rows. To the right of each row, there is an index number: 0 for the top row, 1 for the second row, 2 for the third row, and 3 for the bottom row.

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

0	1
0	1
0	1

[illegible]

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

0		
1		
2		

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

