



**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 onsite  
**Prüfer:** Prof. Dr.-Ing. Georg Carle

**Datum:** Freitag, 15. Oktober 2021  
**Uhrzeit:** 11:30 – 13:00

### Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst **16 Seiten** mit insgesamt **5 Aufgaben**. Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Die Gesamtpunktzahl in dieser Prüfung beträgt 90.5 Punkte.
- Das Heraustrennen von Seiten aus der Prüfung ist untersagt.
- Als Hilfsmittel sind zugelassen:
  - Der vom Lehrstuhl bereitgestellte Cheatsheet
  - 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.

Hörsaal verlassen von \_\_\_\_\_ bis \_\_\_\_\_ / Vorzeitige Abgabe um \_\_\_\_\_

## Aufgabe 1 Multiple Choice (13 Punkte)

Die folgenden 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 0,5 Punkten pro richtigem Kreuz und  $-0,5$  Punkten pro falschem Kreuz bewertet. Die minimale Punktzahl pro Teilaufgabe beträgt 0 Punkte.

Kreuzen Sie richtige Antworten an

Kreuze können durch vollständiges Ausfüllen gestrichen werden

Gestrichene Antworten können durch nebenstehende Markierung erneut angekreuzt werden

a)\* Kreuzen Sie zutreffende Eigenschaften des Informationsgehalts einer gedächtnislosen Quelle an:

- Der Informationsgehalt eines vorhersagbaren Zeichens beträgt 0 bit.
- Der Informationsgehalt ist genau dann maximal, wenn jedes der insgesamt  $N$  Zeichen mit Wahrscheinlichkeit  $1/N$  auftritt.
- Je häufiger ein Zeichen auftritt, desto höher ist sein Informationsgehalt.
- Der Informationsgehalt einer Zeichenkette ist das Produkt der Informationsgehalte der einzelnen Zeichen.

b)\* Gegeben seien der Rechtecksimpuls  $s_1(t)$  sowie der  $\cos^2$ -Impuls  $s_2(t)$ . Abbildung 1.1 zeigt vier verschiedene Spektren. Welche Aussagen sind zutreffend?

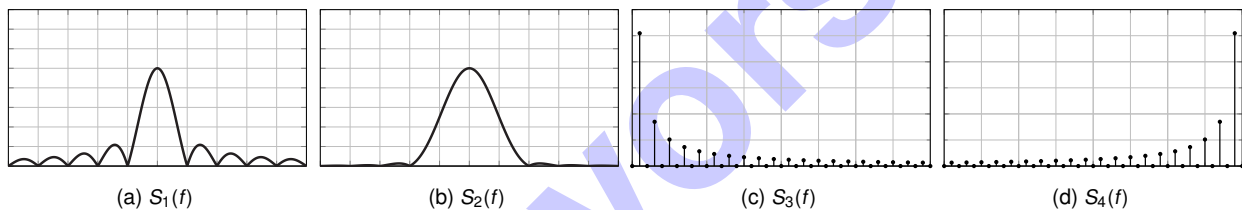


Abbildung 1.1: Spektren

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_1(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_4(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_2(f)$            | <input type="checkbox"/> $s_1(t) \leftrightarrow S_3(f)$ |
| <input type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_4(f)$            | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_3(f)$ | <input checked="" type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_2(f)$ | <input type="checkbox"/> $s_2(t) \leftrightarrow S_1(f)$ |

c)\* Welche Umrechnungen sind für 1 000 000 bit zutreffend?

- |  |                                  |                                  |   |
|--|----------------------------------|----------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> 1 MB              | <input type="checkbox"/> 128 KiB | <input type="checkbox"/> 100 KiB | <input type="checkbox"/> 1 mbit               |
| <input checked="" type="checkbox"/> 125 kB | <input type="checkbox"/> 1 MiB   | <input type="checkbox"/> 1 Mibit | <input checked="" type="checkbox"/> 1000 kbit |

d)\* Der Syscall `select()` ...

- |  |   |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> blockiert, bis mind. ein Socket bereit wird oder (falls angegeben) ein Timeout auftritt. | <input checked="" type="checkbox"/> überwacht eine Menge von Sockets. |
| <input type="checkbox"/> erzeugt einen neuen Socket.   | <input type="checkbox"/> ist nur für TCP Sockets sinnvoll verwendbar. |
|  | <input type="checkbox"/> wählt einen Socket zur Übertragung aus.      |

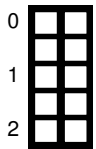


## Aufgabe 2 Kurzaufgaben (16.5 Punkte)

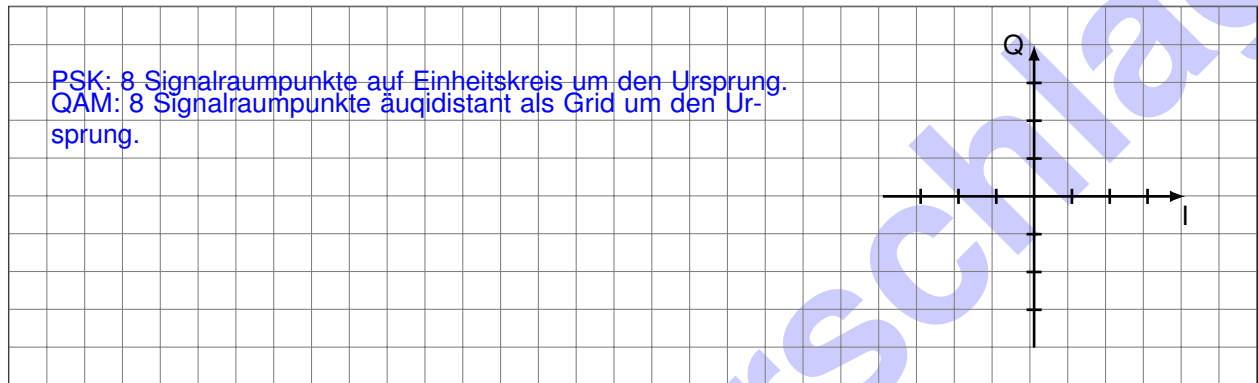


a)\* Erklären Sie kurz die Aufgaben der Kanalkodierung.

Gezieltes Hinzufügen von Redundanz, so das Übertragungsfehler innerhalb gewisser Grenzen ausgeglichen werden können.



b)\* Zeichnen Sie in untenstehendes Diagramm eine sinnvolle Signalraumzuordnung für QAM, die **unmissverständlich nicht** mit einem anderen Modulationsverfahren verwechselt werden kann. Achten Sie dabei auf eine ausreichende und sinnvolle Menge an Signalraumpunkten!



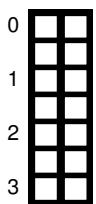
c)\* Erläutern Sie kurz inwieweit sich Simplex und Half-Duplex unterscheiden.

Bei Simplex handelt es sich um die unidirektionale Nutzung eines Mediums. Im Gegensatz dazu kann bei Half-Duplex das Medium bidirektional aber nicht simultan von beiden Kommunikationspartnern genutzt werden.



d)\* Nennen Sie einen Vorteil der Paketvermittlung gegenüber der Nachrichtenvermittlung.

Paketvermittlung weißt bei mehreren Hops eine geringere Verzögerung durch Serialisierungszeiten auf.



e)\* Aus der Vorlesung ist der Ausdruck

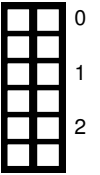
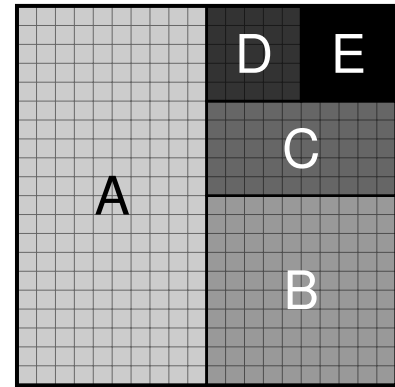
$$T_{PV} = \underbrace{\frac{1}{r} \left( \left\lceil \frac{L}{p_{\max}} \right\rceil \cdot L_h + L \right)}_{(1)} + \underbrace{\frac{d}{v c_0}}_{(2)} + \underbrace{n \cdot \frac{L_h + p_{\max}}{r}}_{(3)} \quad (2.1)$$

zur Berechnung der Übertragungszeit bei Paketvermittlung bekannt. Erläutern Sie kurz die drei Summanden.  
**Hinweis:** Es ist **nicht** nach der Bedeutung der einzelnen Variablen gefragt.

- ① Serialisierungszeit aller Fragmente/Pakete an der Quelle inkl. Headern
- ② Ausbreitungsverzögerung über gesamte Strecke
- ③ Serialisierungszeit eines Fragments/Pakets, die an  $n$  Hops anfällt

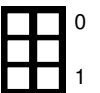
f)\* Aus der Vorlesung ist die nebenstehende Abbildung zu den IPv4-Adressklassen bekannt. Geben Sie zu jeder Klasse die jeweils erste IP-Adresse an.

- (A) 0.0.0.0
- (B) 128.0.0.0
- (C) 192.0.0.0
- (D) 224.0.0.0
- (E) 240.0.0.0



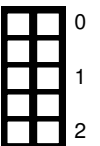
g)\* Worin besteht die Aufgabe der TCP-Staukontrolle?

Verhinderung von Überlast beim im Netz.



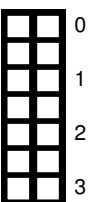
h)\* Welches Problem tritt bei NAT auf, wenn ein *ICMP Echo Reply* empfangen wird, und wie wird dieses gelöst?

NAT basiert auf Portnummern, die es in ICMP nicht gibt. Stattdessen kann der ICMP Identifier hier verwendet werden.



i)\* Welches Problem tritt bei NAT auf, wenn ein *ICMP Destination Unreachable / Time Exceeded in Transit* empfangen wird, und wie wird dieses gelöst?

Da diese ICMP-Nachricht nicht die Antwort auf einen Request ist, kann mittels NAT noch keinen Eintrag mit einem Identifier existieren. Stattdessen ist in der Payload dieser Nachricht der IP-Header sowie die ersten 8 B desjenigen Pakets enthalten, das das Problem verursacht hat. Darin sind die benötigten IP-Adressen und Portnummern enthalten, die NAT zur Zuordnung benötigt.



### Aufgabe 3 Kompression von Daten (22 Punkte)

In dieser Aufgabe wird eine vereinfachte Version des ITU T.30-Protokolls, besser bekannt als Telefax („Fax“) betrachtet. Abbildung 3.1 stellt einen  $9 \times 45$  Pixel großen Ausschnitt einer Seite dar, welche per Fax übertragen werden soll.

Eine einfache Möglichkeit besteht darin, schwarze Pixel durch eine logische 0 und weiße Pixel durch eine logische 1 zu kodieren. Wir bezeichnen diese Art der Kodierung im Folgenden als *einfachen Code*.

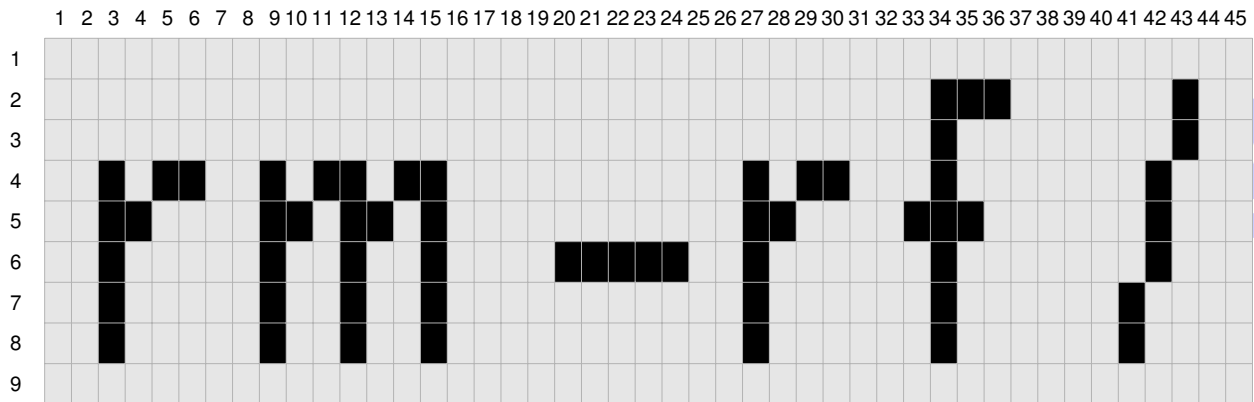



Abbildung 3.1: Ausschnitt einer schwarz/weißen Telefaxseite. Die Zahlen am linken Rand geben die Zeilennummer an, die Zahlen am oberen Rand die Spaltennummer.

- 0  a)\* Berechnen Sie die Länge der zu übertragenden Daten in bit, wenn der Seitenausschnitt mit diesem einfachen Code kodiert wird.

$$L = 45 \cdot 9 \cdot 1 \text{ bit} = 405 \text{ bit}$$

- 0  b) Bestimmen Sie den Informationsgehalt der beiden verwendeten Codewörter.  
**Hinweis:** Der Seitenausschnitt besteht aus 58 schwarzen Pixeln.

$$I_E(0) = -\log_2 \left( \frac{58}{405} \right) \approx 2,80 \text{ bit}$$

$$I_E(1) = -\log_2 \left( \frac{405 - 58}{405} \right) \approx 0,22 \text{ bit}$$

- 0  c) Bestimmen Sie die Entropie des Seitenausschnitts.

$$H = \frac{58}{405} I_E(0) + \frac{405 - 58}{405} I_E(1) \approx 0,59 \text{ bit}$$

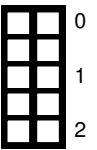
d) Was lässt sich hinsichtlich der Datenkompression aus dem Ergebnis von Teilaufgabe c) folgern?



Die Nachricht enthält Redundanz, kann also komprimiert werden.

Zur verlustfreien Kompression verwendet ITU T.30 eine Kombination aus Lauflängenkodierung (engl. Run Length Encoding, RLE) und anschließender Huffman-Kodierung. Hierzu werden zunächst zeilenweise die Anzahl gleichfarbiger aufeinanderfolgender Pixel zusammen mit dem jeweiligen Farbwert (schwarz oder weiß) kodiert, beispielsweise 3w bzw. 4s für drei aufeinanderfolgende weiße bzw. vier aufeinanderfolgende schwarze Pixel.

e)\* Geben Sie die **zweite** Zeile des Seitenausschnitts in Abbildung 3.1 lauflängenkodiert im Lösungsfeld unterhalb von Abbildung 3.1 (siehe Seite 6) an.



33w 3s 6w 1s 2w

f)\* Der Huffman-Code ist ein sogenannter präfixfreier Code. Erläutern Sie, was man darunter versteht.



Kein Codewort ist ein echtes Präfix eines anderen Codeworts.

g) Inwiefern erleichtert die Verwendung präfixfreier Codes die Dekompression?



Daten können sofort rekonstruiert werden, wenn ein passendes Codewort gefunden wurde (es ist kein „look ahead“ notwendig).

h)\* Erläutern Sie, was man unter verlustfreier Kompression versteht.

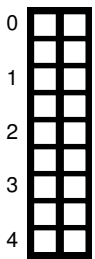


Entfernung von Redundanz ohne dabei auf die Möglichkeit zu verzichten, die Ausgangsdaten wieder exakt rekonstruieren zu können.

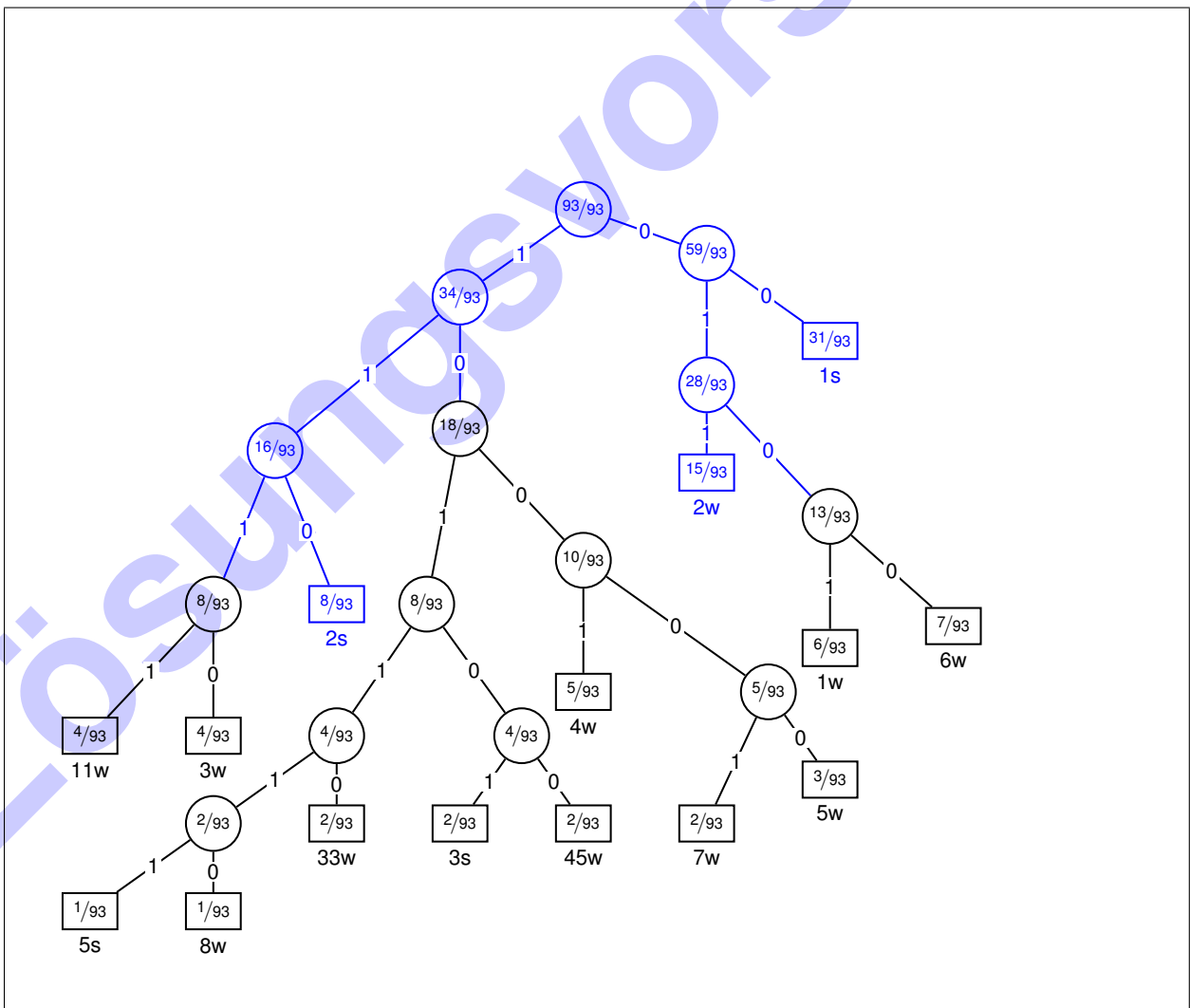
Über den gesamten Seitenausschnitt ergeben sich die in Tabelle 3.1 aufgelisteten RLE-Codewörter mit angegebenen absoluten Häufigkeiten. Die Gesamtzahl der RLE-Codewörter für den Seitenausschnitt ist 93.

RLE-Wort	Häufigkeit	Codewortlänge [bit]	RLE-Wort	Häufigkeit	Codewortlänge [bit]
1s	31	2	2w	15	3
2s	8	3	6w	7	4
1w	6	4	4w	5	4
3w	4	4	11w	4	4
5w	3	5	7w	2	5
45w	2	5	3s	2	5
33w	2	5	8w	1	6
5s	1	6			

Tabelle 3.1: RLE-Codewörter, sortiert nach Häufigkeit im Seitenausschnitt aus Abbildung 3.1.



i)\* Vervollständigen Sie den Huffman-Baum im Lösungsfeld. Berücksichtigen Sie hierbei insbesondere auch die noch fehlenden Codewörter 2s, 2w und 1s. Geben Sie für jedes Codewort und jeden inneren Knoten die entsprechenden Auftrittswahrscheinlichkeiten an.





j) Tragen Sie die Länge der Codewörter des von Ihnen konstruierten Codes an in Tabelle 3.1 ein.

k) Geben Sie die Codewörter für die Symbole  $2w$ ,  $7w$  und  $11w$  des von Ihnen konstruierten Codes an.

	0
	1
	2

	0
	1

2w: 001  
7w: 10001  
11w: 1111

l) Bestimmen Sie die Gesamtlänge des komprimierten Seitenausschnitts in bit.

	0
	1
	2

Das Ergebnis ergibt sich aus der mit Häufigkeit gewichteten Summe der Codewortlängen in Tabelle 3.1:

$$L_H = 2 \text{ bit} \cdot (31) + 3 \text{ bit} \cdot (15 + 8) + 4 \text{ bit} \cdot (7 + 6 + 5 + 4 + 4) + 5 \text{ bit} \cdot (3 + 2 + 2 + 2 + 2) + 6 \text{ bit} \cdot (1 + 1) = 302 \text{ bit}$$

m) Bestimmen Sie den Prozentwert, um den der komprimierte Seitenausschnitt im Vergleich zur einfachen Kodierung kürzer ist.

	0
	1

$$\eta = 1 - \frac{302}{405} = 25,43 \%$$

n)\* Erläutern Sie, welche Information (abgesehen von den komprimierten Daten) auf der Empfängerseite zur Dekodierung noch benötigt wird.

	0
	1

Der Empfänger muss das Code-Alphabet kennen.

o) Nennen Sie zwei Möglichkeiten, wie das Problem aus Teilaufgabe n) in der Praxis gelöst werden kann.

	0
	1


Das Alphabet mitschicken oder sich vorab auf ein allgemeines Alphabet einigen.


## Aufgabe 4 Solarlink 2.0 (19 Punkte)


Durch die Besiedelung des Mars ist Solarlink gefragt: Ein interplanetares Satellitennetzwerk, das unser ganzes Sonnensystem mit dem Internet versorgt. Erst kürzlich wurde Solarlink zum Internet Service Provider mit einem eigenem Autonomem System (AS).


Solarlink hat eine Customer-Provider (C2P) Verbindung zu den Upstream Providern Sprint und AT&T ausgehandelt. Telemars auf dem Mars und ThePirateStation im Asteroidengürtel konnten als Kunden gewonnen werden.


Damit die TUM bessere Netzwerkmessungen durchführen kann, bekommt das TUM AS durch eine Solarlink-Satellitenschüssel direkten kostenlosen Zugang zum Solarlink AS und umgekehrt.


0  1  
a)\* Was ist ein AS?  
Eine Menge von Netzwerken, die unter einheitlicher administrativer Kontrolle stehen.


0  1  
b)\* Was versteht man unter Policy-Based Routing? Geben Sie auch ein Beispiel für solch eine Policy an.  
Routingentscheidungen auf Basis von anderen Kriterien als die objektiv beste Route. Dies können Kosten, Auslastung der Router, Präferenz/Ablehnung von bestimmten Netzen/Ländern, etc. sein.

0  1  
c)\* Begründen Sie, ob Solarlink ein Tier 1 oder 2 Provider ist.  
Da Solarlink sowohl Kunde bei den Providern Sprint und AT&T ist, als auch selbst Kunden hat, ist Solarlink ein Tier 2 Provider.

0  1  
d)\* Welchen Vorteil hat es für Solarlink, mehrere C2P Verbindung zu Upstream Providern zu betreiben?  
Um beliebige Subnetze im Internet erreichen zu, können reicht eine einzige C2P Verbindung. Eine größere Interkonnektivität bedeutet aber eine bessere Ausfallsicherheit, mehr Möglichkeiten effizient zu routen und eine gleichmäßigere Verteilung der Last im Internet.

0  1/2  
e)\* Wie heißt die Art der Verbindung zum TUM AS?  
In diesem Fall handelt es sich um eine Peering Verbindung.

0  1  
f) Beschreiben Sie, inwiefern sich diese Verbindung zum TUM AS von einer C2P Verbindung unterscheidet.  
Sie ermöglicht einen direkten Netzwerkverkehr zu besseren Konditionen zwischen den ASen. Solarlink würde aber die Präfixe im TUM AS nicht seinen Upstream Providern mitteilen, um unnötige Last im eigenen Netzwerk zu verhindern.

0  1  
g)\* An wen zahlt bzw. von wem bekommt Solarlink Geld, wenn eine Verbindung genutzt wird? Berücksichtigen Sie Sprint, Telemars und das TUM AS. Begründen Sie!  
Solarlink ist der Upstream Provider von dem Kunden Telemars und bekommt von ihm Geld. Das TUM AS hat eine kostenlose Peering Verbindung und somit fließt kein Geld. Für Netzwerkverkehr zu Sprint muss Solarlink bezahlen.

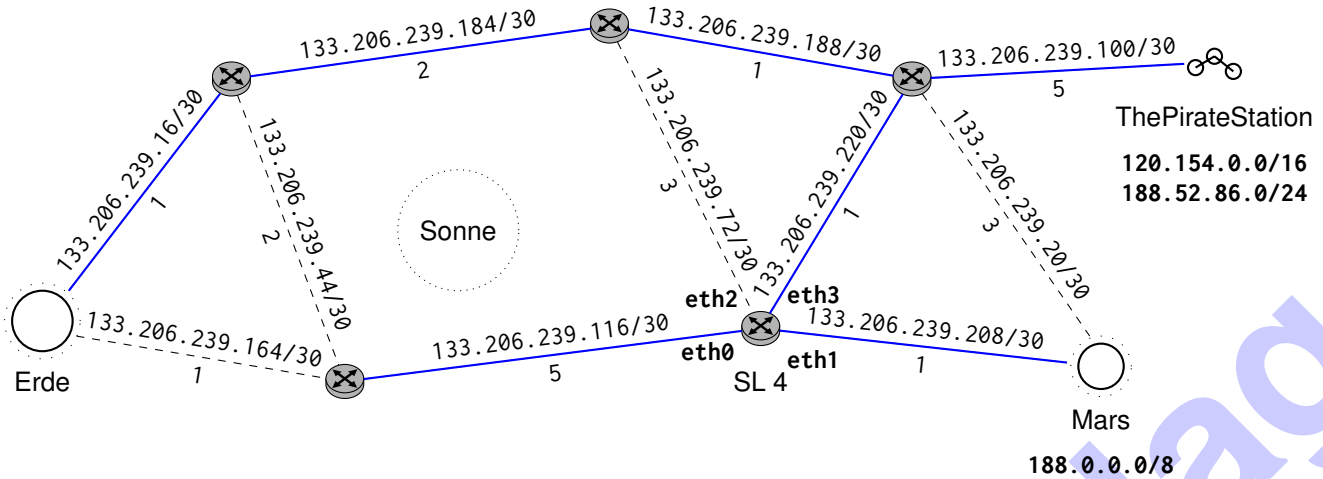


Abbildung 4.1: Solarlink Netz-Topologie. Links zwischen Satelliten und Planeten sind mit ihren Kosten eingetragen.

h)\* Zeichnen Sie den Shortest Path Tree ausgehend von SL 4 in Abbildung 4.1 ein.

i)\* Weisen Sie den Interfaces von SL 4 die jeweils kleinstmögliche IP-Adresse im jeweiligen Subnetz zu.

<b>eth0</b>	133.206.239.117	<b>eth2</b>	133.206.239.73
<b>eth1</b>	133.206.239.209	<b>eth3</b>	133.206.239.221

j) Füllen Sie die folgende statische Routing-Tabelle von SL 4 aus, damit alle **fett** markierten Subnetze und die Erde aus Abbildung 4.1 erreichbar sind. Nehmen Sie die Route(n) mit den minimalen Kosten. Per Default senden Sie zur Erde. Sortieren Sie die Einträge gemäß Longest Prefix Matching.

Destination	NextHop	Costs	Interface
133.206.239.208/30	0.0.0.0	1	eth1
133.206.239.220/30	0.0.0.0	1	eth3
188.52.86.0/24	133.206.239.222	6	eth3
120.154.0.0/16	133.206.239.222	6	eth3
188.0.0.0/8	133.206.239.210	1	eth1
0.0.0.0/0	133.206.239.222	-	eth3

SL 4 empfängt ein Paket an die IP Adresse 188.52.4.40.

k) Von welchem Interface wird es weitergeleitet?

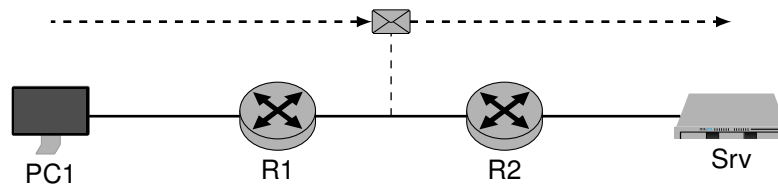
- eth1     
  eth0     
  eth3     
  eth2

l) Geben Sie das für dieses Paket passende Ziel aus der Routingtabelle von SL 4 an.

188.0.0.0/8

## Aufgabe 5 Wireshark (20 Punkte)

Gegeben sei das Netzwerk aus Abbildung 5.1a. Das abgebildete Paket ist von *PC1* an *Srv* gerichtet.



(a) Netztopologie

```

0x0000  90 e2 ba 2a 8d 97 90 e2  ba 86 dd 60 08 00 45 10
0x0010  00 3c b0 95 40 00 40 06 f) 77 37 c0 a8 f0 06 0a 35
0x0020  57 fb e0 da 0d 3d 81 8b  e4 cc 00 00 00 00 a0 02
0x0030  6a 40 bb f7 00 00 02 04  05 50 04 02 08 0a 66 83
0x0040  54 59 00 00 00 00 01 03  03 07
    
```

(b) Ethernet-Rahmen zwischen R1 und R2

Abbildung 5.1

Der Offset ist der Index in das Byte-Array und muss 0-basiert (so wie in C oder Java) angegeben werden. Geben Sie interpretierte Daten wie Adressen oder Ports jeweils in ihrer üblichen und gekürzten Schreibweise an.

**Hinweis:** Verwenden Sie zur Lösung die am Cheatsheet abgedruckten Header und Informationen.

**Beispiel:** Bestimmen Sie die Layer 2 Adresse des Empfängers.

Offset: 0x0000 Länge: 6  
 Adresse: 90:e2:ba:2a:8d:97 gehört zu Knoten: <Name>

0	
1	
2	
3	

a)\* Bestimmen Sie die Layer 2 Adresse des Absenders.

Offset: 0x0006 (6) Länge: 6  
 Adresse: 90:e2:ba:86:dd:60 gehört zu Knoten: R1

0	
1	

b)\* Begründen Sie, welches Layer 3 Protokoll verwendet wird.

Ethertype 0x0800 = IPv4

0	
1	
2	

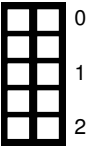
c) Bestimmen Sie die Layer 3 Adresse des Empfängers.

Offset: 0x001e (30) Länge: 4  
 Adresse: 10.53.87.251

d) Bestimmen Sie die Layer 3 Adresse des Absenders.

Offset: 0x001a (26) Länge: 4

Adresse: 192.168.240.6



e)\* Begründen Sie, woran zu erkennen ist, dass der L3-Header eine Länge von 20 B hat.

Unteres Nibble des IHL ist 0x5, was die Länge des IPv4 Headers in Vielfachen von 4 B angibt.



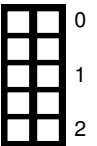
f)\* Markieren Sie deutlich die Stelle in Abbildung 5.1b, aus der hervorgeht, dass die IPv4-Payload TCP ist.



**Wiedereinstieg: L4-Header (TCP) beginnt bei Index 0x0022.**

g)\* Geben Sie den Destination Port an. (ohne Begründung)

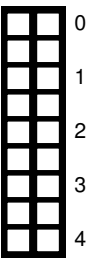
3389



h)\* Geben Sie die genaue Position (Offset und Position innerhalb des betreffenden Bytes) der TCP-Flags, die Flags selbst sowie deren jeweiligen Werte an.

Offset: niederwertige 6 bit des Bytes an Position 0x002f (47)

Flag	-	-	URG	ACK	PSH	RST	SYN	FIN
Wert			0	0	0	0	1	0



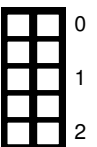
i)\* Geben Sie die minimale Länge des TCP-Headers an. (ohne Begründung)

20 B



j)\* Bestimmen Sie die exakte Länge des TCP-Headers aus Abbildung 5.1b. (mit Begründung)

0xa0 an Offset 0x002e enthält in den höchstwertigen 4 bit das Feld *Offset* (0xa), welches die Gesamtlänge des TCP-Headers in Vielfachen von 4 B angibt.  
Die Headerlänge beträgt damit  $10 \cdot 4 \text{ B} = 40 \text{ B}$



k) Begründen Sie, was den Längenunterschied verursacht.

Da der Header nicht minimale Länge hat, ist die einzige Erklärung, dass Optionen enthalten sind.



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



Lösungsvorschlag

Lösungsvorschlag