

**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:** Wiederholung

**Datum:** Freitag, 30. September 2016, 15:30 – 17:00

|    | A 1 | A 2 | A 3 | A 4 | A 5 | A 6 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| I  |     |     |     |     |     |     |
| II |     |     |     |     |     |     |

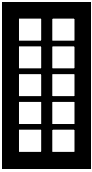
### Bearbeitungshinweise

- Diese Klausur umfasst
  - **19 Seiten** mit insgesamt **6 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 (20 Punkte)

Die nachfolgenden Teilaufgaben sind jeweils unabhängig voneinander lösbar.

0  
1  
2



a)\* Nennen Sie zwei wesentliche Dienste, welche von der Sicherungsschicht des ISO/OSI Modells erbracht werden.

0  
1

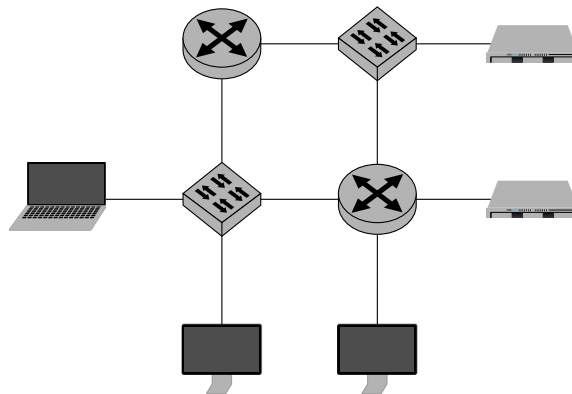


b)\* Gegeben sei das 64 bit lange Datum 0x0123456789abcdef in Network Byte Order. Wie lautet die Darstellung in Big Endian?

0  
1



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

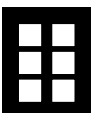


0  
1



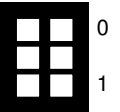
d)\* Erläutern Sie den wesentlichen Vorteil von OSPF gegenüber RIP.

0  
1

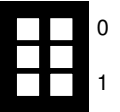


e)\* Was versteht man unter *Classless Interdomain Routing*?

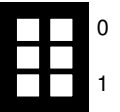
f)\* Worin besteht der Unterschied zwischen einem Resolver und einem autoritativen Nameserver?



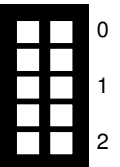
g)\* Begründen Sie, ob sich ein Resolver im selben Subnetz wie der anfragende Client befinden muss.



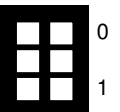
h)\* Bestimmen Sie die IP-Adresse zum Reverse-FQDN `60.50.66.128.in-addr.arpa..`



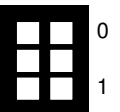
i)\* Damit ein Server eingehende UDP-Datagramme auf einem bestimmten Port liest, sind die Systemaufrufe `socket()`, `bind()` und `recvfrom()` erforderlich. Erläutern Sie kurz die Funktion der drei Systemaufrufe.

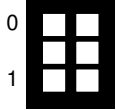


j)\* Bestimmen Sie den Faktor, um den sich die Größe des IPv6-Adressraums gegenüber dem IPv4-Adressraum unterscheidet.

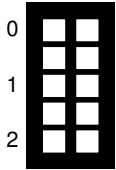


k)\* Worin besteht der Unterschied zwischen privaten IPv4 Adressen und Link Local Adressen bei IPv6?

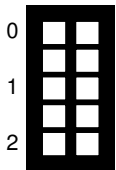




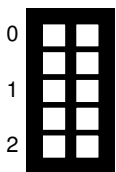
l)\* Worin besteht der Unterschied zwischen *Interior* und *Exterior Gateway Protokollen* hinsichtlich ihrer Verwendung?



m)\* Geben Sie **zwei** Gründe an, warum moderne IEEE 802.3-Netzwerke kollisionsfrei arbeiten.



n)\* Gegeben sei ein Übertragungskanal der Bandbreite 20 MHz. Berechnen Sie die maximal erzielbare Datenrate bei einem Signal-Rausch-Abstand von 30 dB.



o)\* 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 7 bit ist.

## Aufgabe 2 Packet Pair Probing (11 Punkte)

Gegeben sei das in Abbildung 2.1 dargestellte Netzwerk. Knoten 1 und 4 sind mit ihren Routern jeweils über ein full duplex-fähiges Netzwerk verbunden. Die symmetrischen Datenraten auf den Links betragen  $r_{12}$  bzw.  $r_{34}$ . Die Verbindung zwischen Knoten 2 und 3 ist bedeutend langsamer, d. h.  $r_{23} < r_{12}, r_{34}$ . Die beiden Distanzen  $d_{12}$  und  $d_{23}$  seien im Verhältnis zu  $d_{23}$  vernachlässigbar klein.

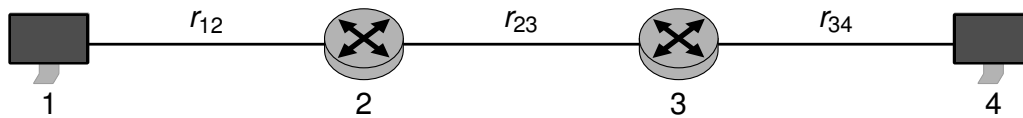
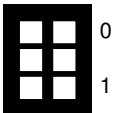


Abbildung 2.1: Vereinfachte Netztopologie

Knoten 1 soll die Datenrate  $r_{23}$  bestimmen, so dass möglichst wenig Last auf der ohnehin langsamen Verbindung entsteht. Dabei sei angenommen, dass alle Knoten über einen gewöhnlichen IP-Stack verfügen und ICMP Pakete zwischen Knoten 1 und 4 ausgetauscht werden können.

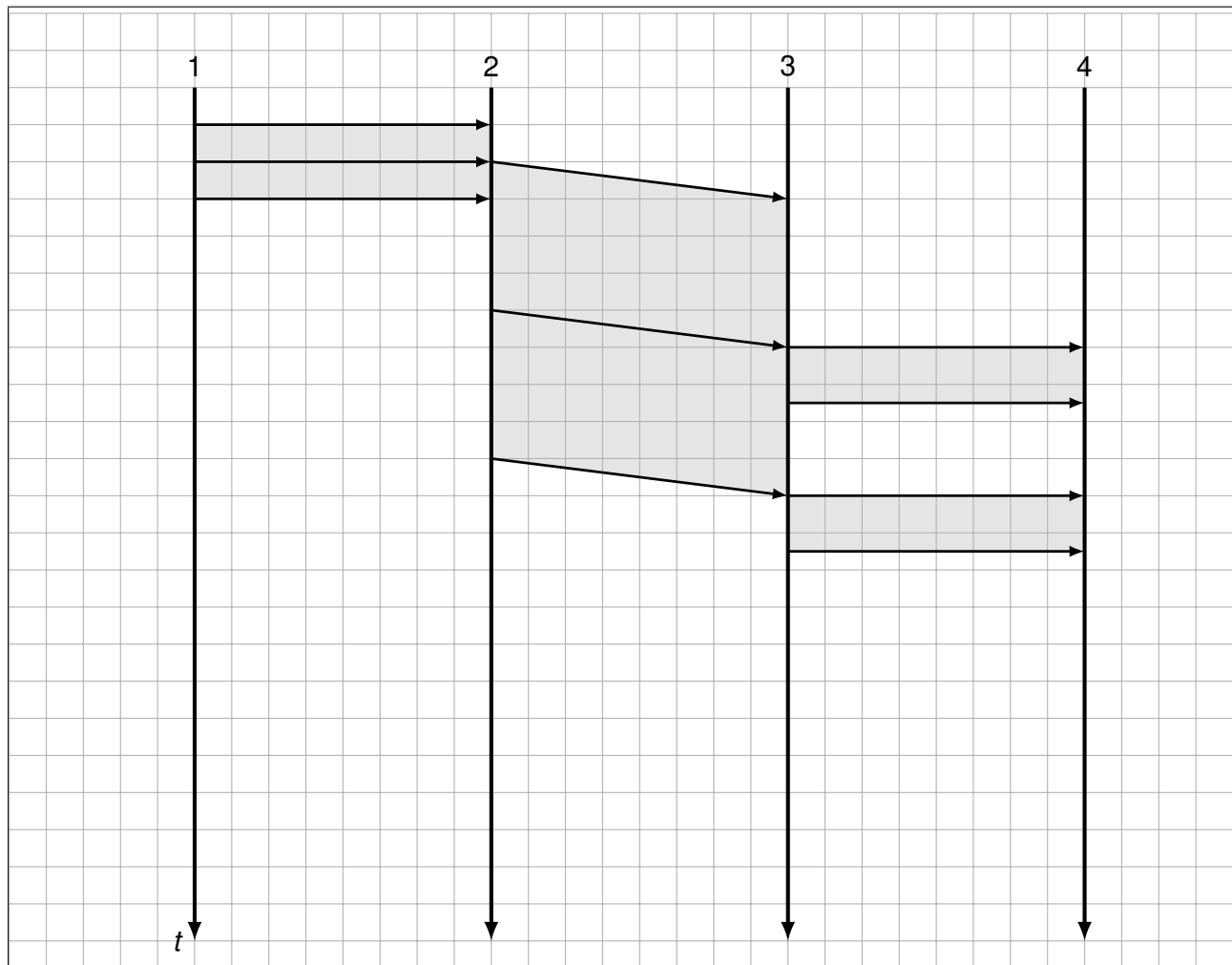
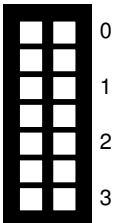
a)\* Geben Sie die Serialisierungszeit und Ausbreitungsverzögerung zwischen zwei benachbarten Knoten  $i$  und  $j$  in Abhängigkeit der Paketgröße  $p$ , Datenrate  $r_{ij}$  und Distanz  $d_{ij}$  an.



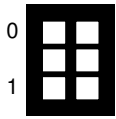
Knoten 1 sende nun unmittelbar nacheinander zwei ICMP-Echo-Requests der Länge  $p$  an Knoten 4. Dabei sei  $p$  genau so groß gewählt, dass entlang des Pfads zu Knoten 4 keine Fragmentierung notwendig ist. Knoten 4 wird auf jeden Echo Request mit einem Echo Reply derselben Größe  $p$  antworten. Vereinfachend seien Verarbeitungszeiten an den Knoten zu vernachlässigen.

b)\* Ergänzen Sie das im Lösungsfeld abgebildete Weg-Zeit-Diagramm.

**Hinweis:** Bei Bedarf finden Sie am Ende der Prüfung einen Ersatzvordruck.

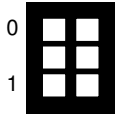


Durch die geringe Übertragungsrate zwischen Knoten 2 und 3 entsteht an Knoten 1 eine Empfangspause  $\Delta t$ . Diese kann von Knoten 1 gemessen und zur Bestimmung der gesuchten Übertragungsrate zwischen Knoten 2 und 3 verwendet werden.

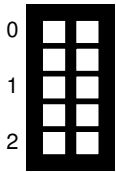


c) Markieren Sie  $\Delta t$  in Ihrer Lösung von Teilaufgabe b).

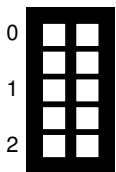
d) Von welchen Größen hängt  $\Delta t$  ab, falls  $r_{34} \geq r_{23}$  gilt.



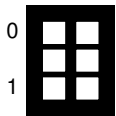
e) Begründen Sie, was sich im Vergleich zur vorherigen Teilaufgabe ändern würde, falls  $r_{34} < r_{23}$  gilt.



f) Bestimmen Sie  $\Delta t$  allgemein für  $r_{23} < r_{12}, r_{34}$ . Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit wie möglich.



g) Geben Sie einen Ausdruck für die gesuchte Datenrate  $r_{23}$  an. Vereinfachen Sie das Ergebnis soweit wie möglich.



### Aufgabe 3 IP-Fragmentierung (24 Punkte)

Wir betrachten das Netzwerk aus Abbildung 3.1. PC1 und PC2 kommunizieren mittels IPv4 über die beiden Router R1 und R2 miteinander.

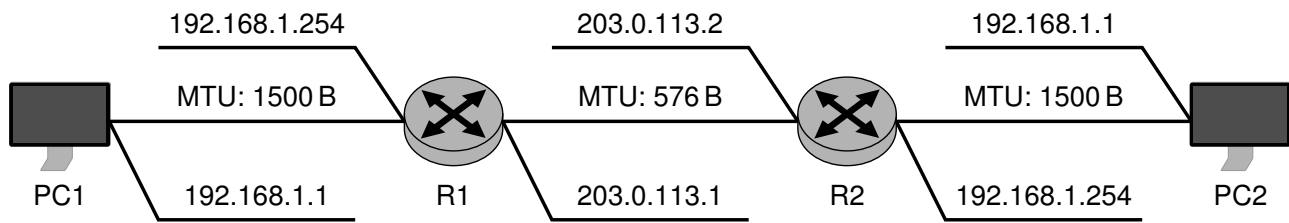
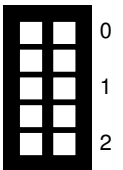


Abbildung 3.1: Netztopologie und MTU der einzelnen Abschnitte

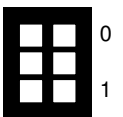
Die drei Netzsegmente sind voneinander unabhängig und verwenden verschiedene Übertragungsverfahren auf den Schichten 1 und 2, so dass sich die in der Abbildung ersichtlichen MTUs ergeben.

a)\* Erläutern Sie allgemein den Unterschied zwischen MTU und MSS.



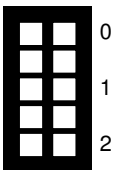
Empty box for answer a).

b) Wie sollte im Allgemeinen die MSS für TCP in Abhängigkeit von der MTU gewählt werden (Begründung oder Rechnung)?

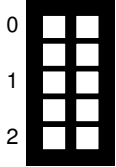


Empty box for answer b).

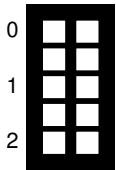
c)\* Begründen Sie, ob ein bereits fragmentiertes Paket nochmals fragmentiert werden kann.



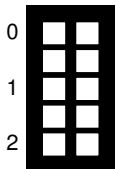
Empty box for answer c).



d)\* Erläutern Sie, an welcher Stelle im Allgemeinen Fragmente wieder reassembliert werden können.



e)\* Wie erkennt der Empfänger, dass ein Paket ein Fragment eines größeren Pakets ist?



f)\* Was geschieht auf Schicht 3, wenn ein oder mehrere Fragmente nicht ankommen?



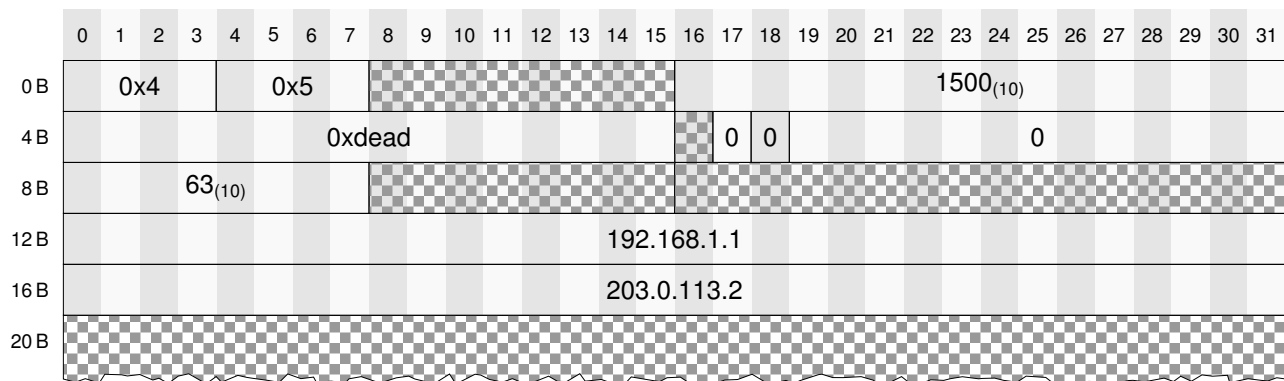
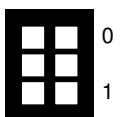


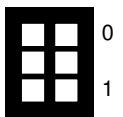
Abbildung 3.2: Darstellung des von PC1 in Richtung PC2 gesendeten IP-Pakets

Im Folgenden soll die Übertragung des in Abbildung 3.2 dargestellten IP-Pakets mit allen notwendigen Zwischenschritten nachvollzogen werden. Nutzen Sie bei Bedarf die auf dem Cheatsheet abgebildeten Protokoll-Header.

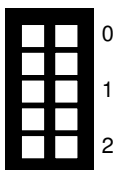
g)\* Begründen Sie kurz, weswegen PC1 203.0.113.2 als Ziel-Adresse nutzt.

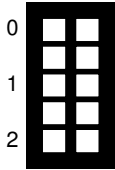


h)\* An welcher Stelle im Netz wird das von PC1 gesendete Paket fragmentiert?

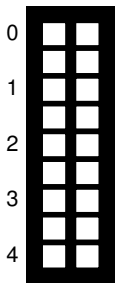


i)\* Weswegen muss das erste Fragment eine Länge von 572 B anstatt der erwarteten 576 B aufweisen?



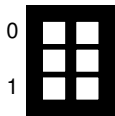


j)\* Bestimmen Sie die Gesamtgröße sowie Größe der Payload für alle Fragmente.

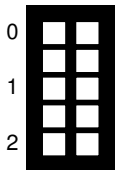


k) In Abbildung 3.3 sind Vordrucke für die IPv4-Header der einzelnen Fragmente gegeben. Füllen Sie die Vordrucke vollständig aus. Sollte ein Feld nicht eindeutig festgelegt sein, treffen Sie eine sinnvolle Wahl.  
**Hinweis:** Es sind möglicherweise mehr Vordrucke als notwendig vorhanden.

l)\* Welche Veränderung wurde bei der Fragmentierung mit IPv6 vorgenommen?



m) Aus welchem Grund ist die in Teilaufgabe l) angegebene Veränderung sinnvoll?



|     | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0B  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4B  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8B  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12B |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16B |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 20B |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Abbildung 3.3: Vordrucke für Teilaufgabe k)

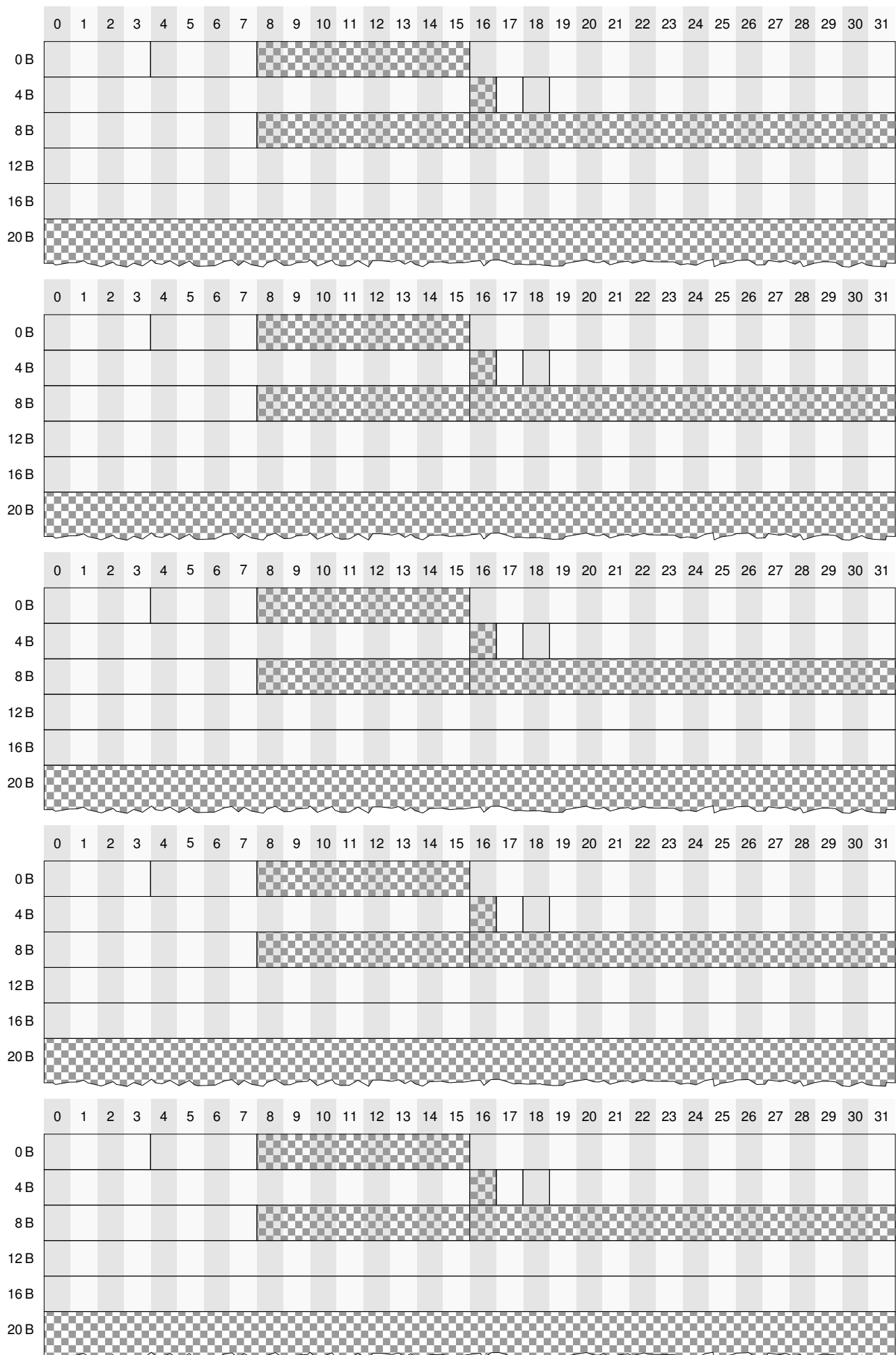
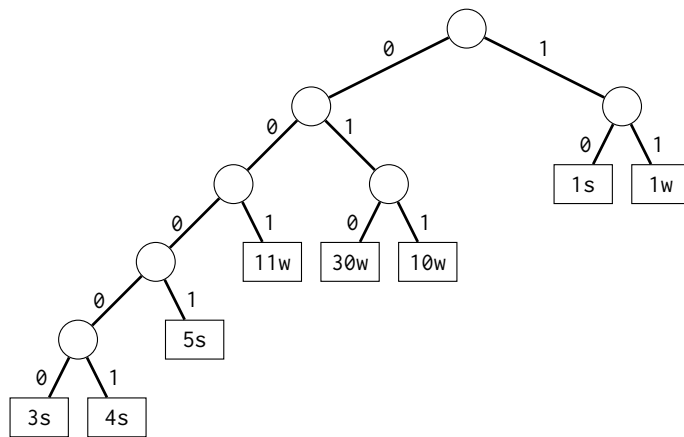


Abbildung 3.3: Vordrucke für Teilaufgabe k) (Fortsetzung)

## Aufgabe 4 Datenkompression (10 Punkte)

In dieser Aufgabe betrachten wir eine vereinfachte Version des ITU T.30-Protokolls, besser bekannt als Telefax („Fax“). Dieses verwendet eine Kombination aus Huffman-Code und Lauflängenkodierung (RLE). Der zugehörige Huffman-Baum ist in Abbildung 4.1a dargestellt. Abbildung 4.1b stellt das Codebuch dar, welches die binären Huffman-Codewörter (in Teilaufgabe b) zu bestimmen) auf RLE-Codewörter abbildet.



(a) Huffman-Baum

| RLE | Huffman-Codewort |
|-----|------------------|
| 1s  |                  |
| 1w  |                  |
| 30w |                  |
| 10w |                  |
| 11w |                  |
| 5s  |                  |
| 4s  |                  |
| 3s  |                  |

(b) Codebuch

Abbildung 4.1: Huffman-Baum und Codebuch

a)\* Erklären Sie kurz den Aufbau des Huffman-Baums aus Abbildung 4.1a.

b) Vervollständigen Sie das Codebuch in Abbildung 4.1b.

Sie erhalten die in Abbildung 4.2 dargestellte binäre Nachricht. Diese ist zunächst mittels Huffman kodiert.

```

01001001001100001110001011001101110111011101
1100110011011101110111011101110011001101110110
1110111001100110110000011101110011010010010

```

Abbildung 4.2: Empfangene Nachricht als binärer Datenstrom

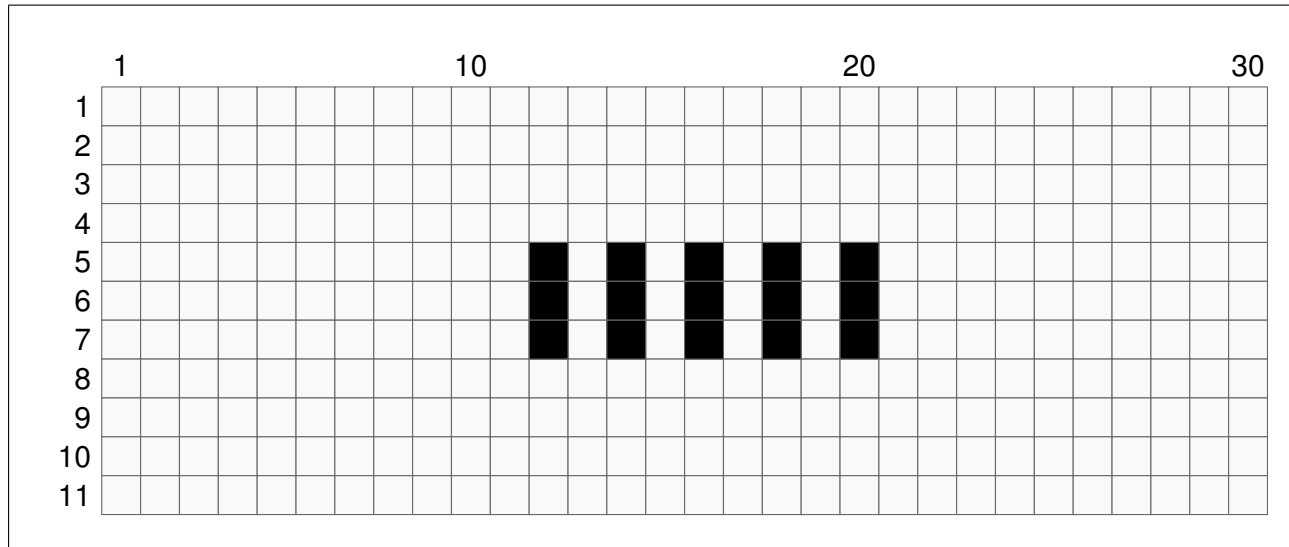
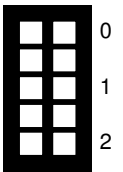
c) Geben Sie die zu den **schwarz** gedruckten Teilen des Datenstroms zugehörigen RLE-Codewörter an.  
**Hinweis:** Das erste Bit des zweiten schwarz gedruckten Blocks stellt den Beginn eines Huffman-Codeworts dar.

Die RLE-Codewörter wiederum sind stets nach dem Schema  $\langle \text{Zahl} \rangle \langle w|s \rangle$  aufgebaut. Ein RLE-Codewort gibt die Anzahl innerhalb einer Zeile aufeinander folgender weißer (w) oder schwarzer (s) Pixel an, wodurch zeilenweise eine Pixeldarstellung der Nachricht entsteht.

d) Vervollständigen Sie die Pixeldarstellung der Nachricht.

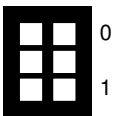
**Hinweise:**

- Die Zeilen 5 – 7 entsprechen dem ausgegrauten Teil der Nachricht aus Abbildung 4.2.
- Bei Bedarf finden Sie am Ende der Aufgabe einen weiteren Vordruck.

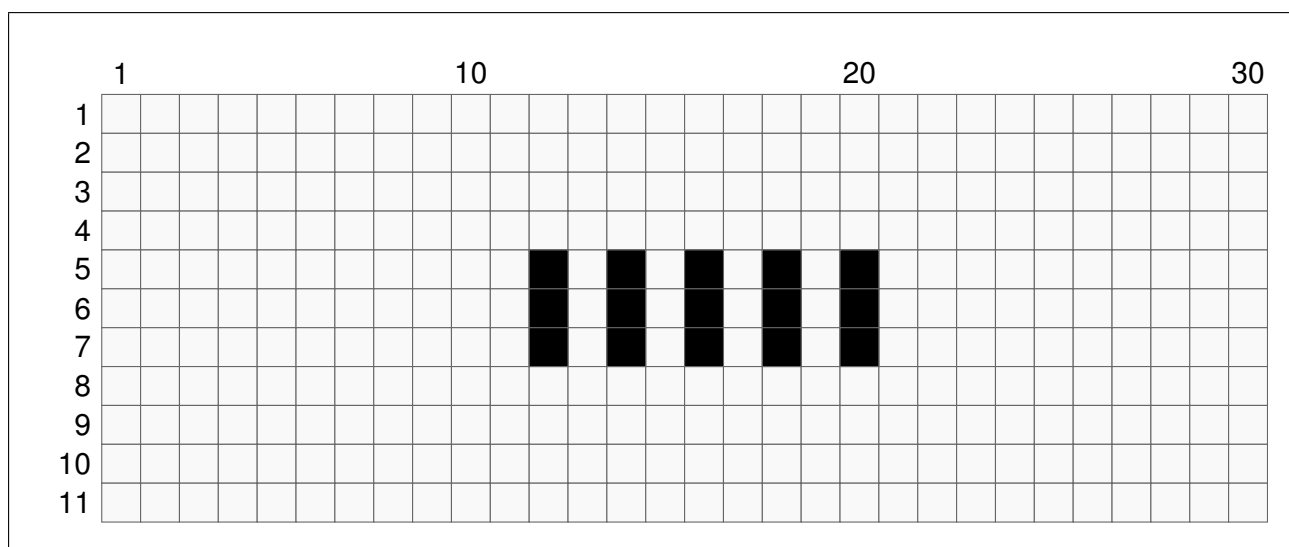


e)\* Um welchen Faktor ist die unkomprimierte Nachricht, bei der jedes Pixel binär kodiert wird (0 = schwarz, 1 = weiß), länger als die so komprimierte Nachricht?

**Hinweis:** Die komprimierte Nachricht aus Abbildung 4.2 hat eine Gesamtlänge von 127 bit.



**Zusätzlicher Vordruck für Teilaufgabe d). Streichen Sie ungültige Lösungen deutlich!**



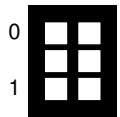
## Aufgabe 5 Drahtthai (13 Punkte)

Gegeben sei der in Abbildung 5.1 dargestellte Hexdump in Network-Byte-Order des Beginn eines Ethernet-Rahmens, welcher im Folgenden analysiert werden soll.

```
0x0000  00 16 3e c7 6d 64 00 25      90 57 22 4a 86 dd 60 00
0x0010  00 00 00 58 3a 38 26 06      28 00 42 00 3f ff 00 00
0x0020  00 00 00 00 00 15 20 01      4c a0 20 01 00 13 02 16
0x0030  ...
```

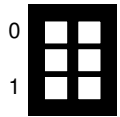
Abbildung 5.1: Hexdump eines Ethernet-Rahmens in Network-Byte-Order

**Hinweis:** Zur Lösung der Aufgabe sind Informationen von dem zusätzlich ausgeteilten Hilfsblatt notwendig.

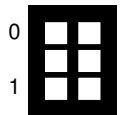


a)\* Markieren Sie in Abbildung 5.1 Beginn und Ende des Ethernet-Headers.

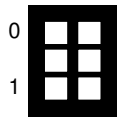
b) Begründen Sie, welches Protokoll auf Schicht 3 verwendet wird.



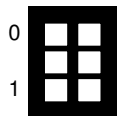
c) Bestimmen Sie die Länge des Headers auf Schicht 3 (Begründung).



d) Geben Sie – sofern im Paket enthalten – TTL bzw. Hop Limit in dezimaler **und** hexadezimaler Schreibweise an.



e) Geben Sie die Absenderadresse der Schicht 3 in der üblichen Schreibweise an.



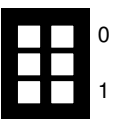
f) Woran ist zu erkennen, dass die Payload des Pakets zu ICMPv6 gehört?

Wir betrachten von nun an die in Abbildung 5.2 dargestellte Payload des Pakets. Von dieser sei bekannt, dass es sich um ICMPv6 handelt.

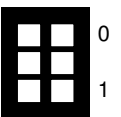
|               |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>0x0000</b> | 03 | 00 | 58 | 94 | 00 | 00 | 00 | 00 | 60 | 00 | 00 | 00 | 00 | 28 | 3a | 01 |
| <b>0x0010</b> | 20 | 01 | 4c | a0 | 20 | 01 | 00 | 13 | 02 | 16 | 3e | ff | fe | c7 | 6d | 64 |
| <b>0x0020</b> | 26 | 06 | 28 | 00 | 02 | 20 | 00 | 01 | 02 | 48 | 18 | 93 | 25 | c8 | 19 | 46 |
| <b>0x0030</b> | 80 | 00 | e9 | ab | 3c | 43 | 00 | 21 | 48 | 49 | 4a | 4b | 4c | 4d | 4e | 4f |
| <b>0x0040</b> | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 5a | 5b | 5c | 5d | 5e | 5f |
| <b>0x0050</b> | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 |    |    |    |    |    |    |    |    |

Abbildung 5.2: ICMPv6-Nachricht inklusive ICMPv6-Header in Network-Byte-Order

g)\* Bestimmen Sie Typ und Code der ICMP-Nachricht.

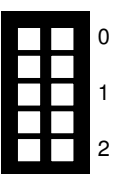
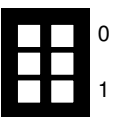


h) Wodurch wird eine solche Nachricht hervorgerufen?

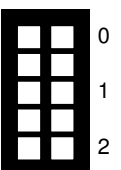


i)\* Markieren Sie das Ende des ICMP-Headers in Abbildung 5.2.

j) Erläutern Sie, was die Payload einer solchen Nachricht grundsätzlich enthält.



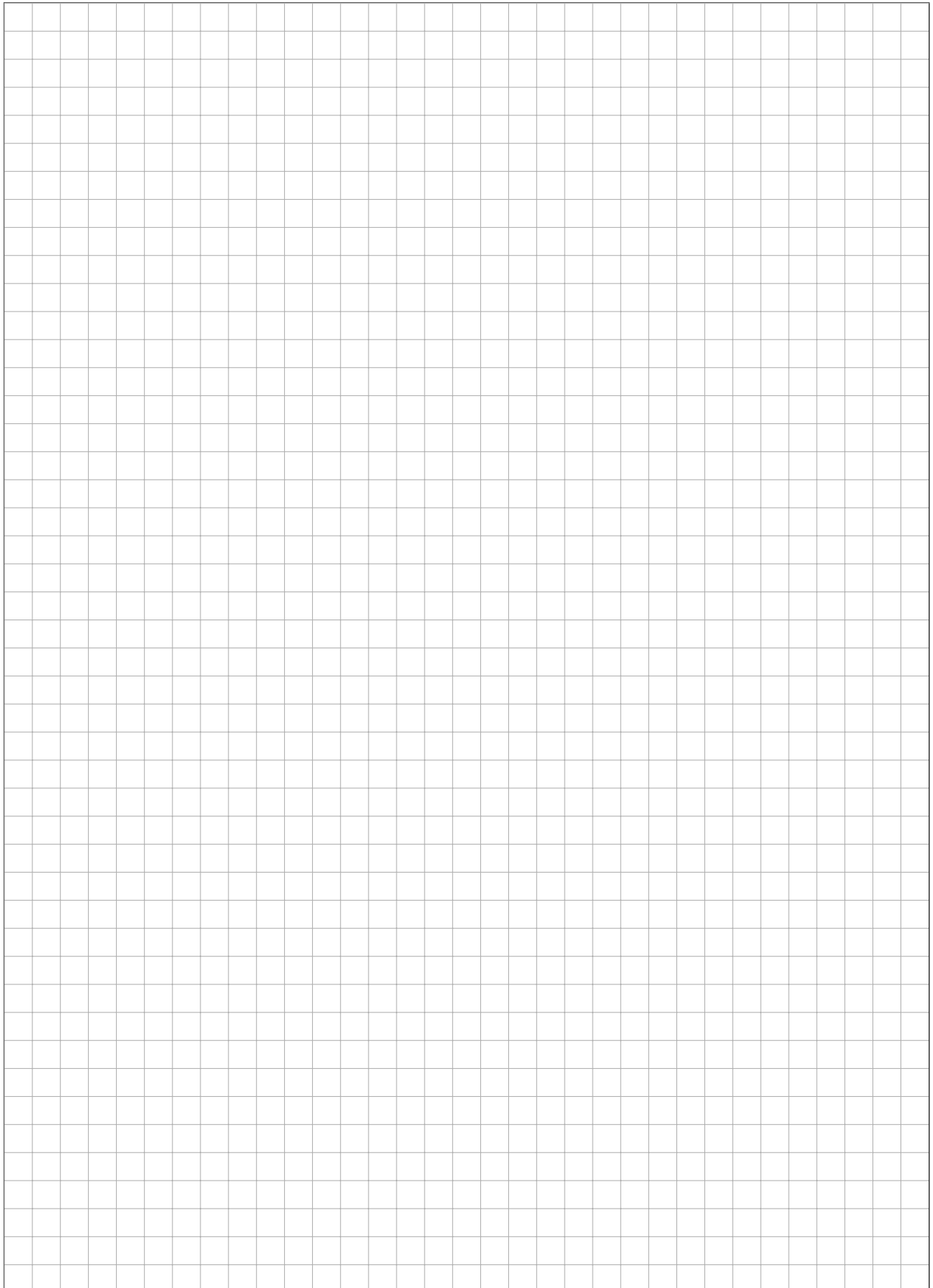
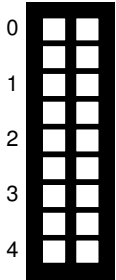
k)\* Das Paket wurde im Rahmen eines Traceroutes aufgezeichnet. Erklären Sie kurz die Funktionsweise von Traceroute.



## Aufgabe 6 CRC (7 Punkte)

In dieser Aufgabe soll die zwei Oktette lange Nachricht 01101011 10101111 mittels des in der Vorlesung vorgestellten CRC-Verfahrens gesichert werden. Das Reduktionspolynom sei  $r(x) = x^4 + x^2 + 1$ .

a)\* Bestimmen Sie die gesicherte Nachricht  $s(x)$ .





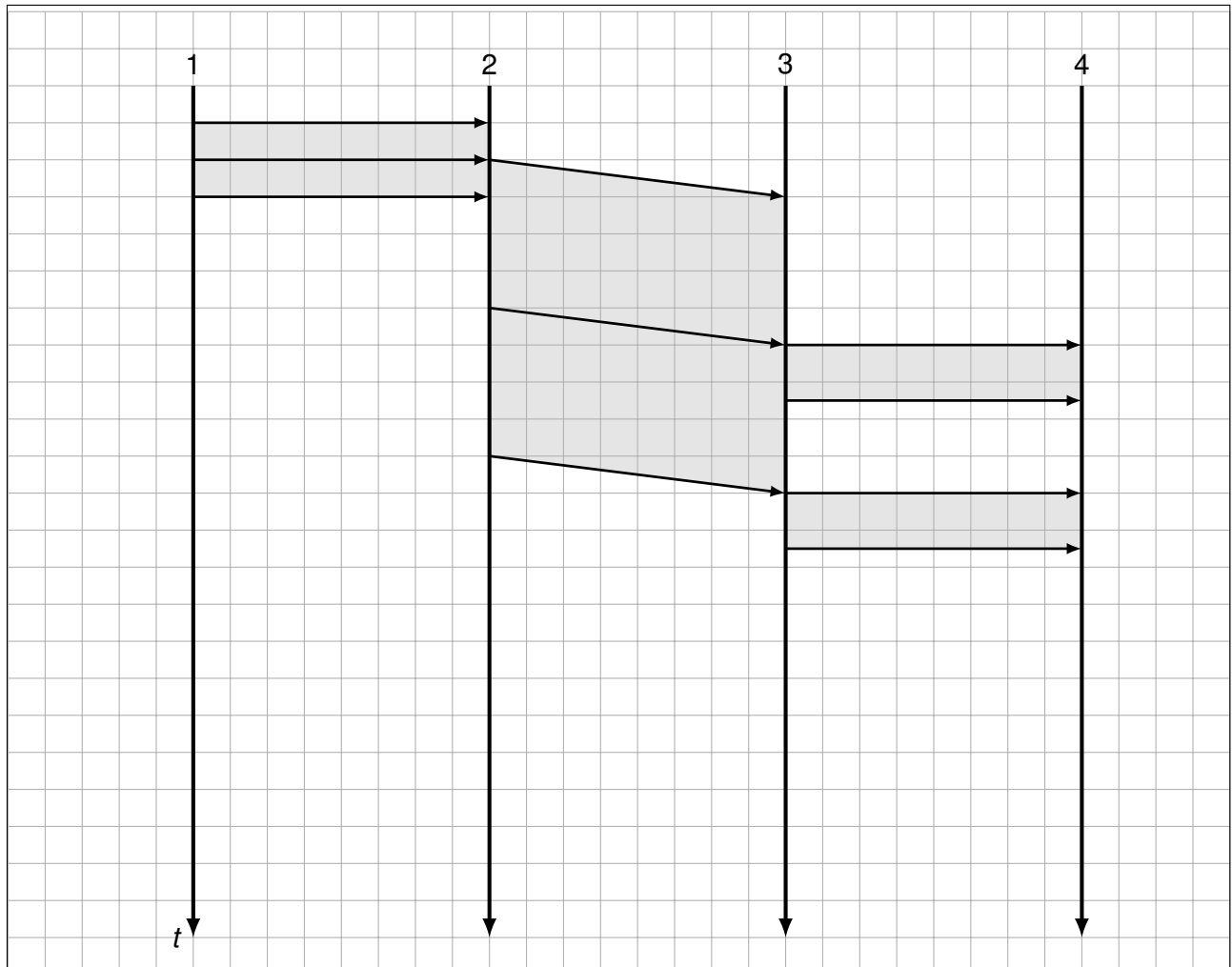
A diagram showing a 2x5 grid of squares. The squares are arranged in two rows and five columns. The first three columns are labeled with indices 0, 1, and 2 on the right side. The fourth and fifth columns are unlabeled.

This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of small, equal-sized squares formed by thin gray lines. There are no margins, text, or other markings on the page.

A diagram showing a 2x2 grid of squares. The left column is labeled '0' and the right column is labeled '1'.

[illegible]

**Zusätzlicher Vordruck für Aufgabe 2:**



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

