

Name

Vorname

Studiengang (Hauptfach)

Fachrichtung (Nebenfach)

Matrikelnummer

Unterschrift der Kandidatin/des Kandidaten

.....  
Note

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

## Fakultät für Informatik

- Midterm-Klausur
- Final-Klausur

- Semestralklausur
- Diplom-Vorprüfung
- Bachelor-Prüfung
- .....

- Einwilligung zur Notenbekanntgabe per E-Mail / Internet

**Prüfungsfach:** Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

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

**Datum:** 24.09.2012

**Hörsaal:** .....

**Reihe:** .....

**Platz:** .....

	I	II
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Σ

--	--

Nur von der Aufsicht auszufüllen:

Hörsaal verlassen von ..... : ..... bis ..... : .....

Vorzeitig abgegeben um ..... : .....

Besondere Bemerkungen:





## Nachholklausur

# Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme

Prof. Dr.-Ing. Georg Carle  
Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste  
Fakultät für Informatik  
Technische Universität München

**Montag, 24.09.2012**  
**11:00 – 12:30 Uhr**

- Diese Klausur umfasst **23 Seiten** und insgesamt **5 Aufgaben** sowie ein **zusätzlich ausgeteiltes Hilfsblatt** zu Protokoll-Headern. Bitte kontrollieren Sie jetzt, dass Sie eine vollständige Angabe erhalten haben.
- Schreiben Sie bitte in die Kopfzeile **jeder Seite** Namen und Matrikelnummer.
- Schreiben Sie weder mit roter / grüner Farbe noch mit Bleistift.
- Die Gesamtzahl der Punkte beträgt 85.
- Als Hilfsmittel sind **ein beidseitig handschriftlich beschriebenes DIN A4 Blatt** sowie **ein nicht programmierbarer Taschenrechner** zugelassen. Bitte entfernen Sie alle anderen Unterlagen von Ihrem Tisch und schalten Sie Ihre Mobiltelefone aus.
- Mit \* gekennzeichnete Aufgaben sind ohne Kenntnis der Ergebnisse vorhergehender Teilaufgaben lösbar.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen ein Lösungsweg erkennbar ist.** Textaufgaben sind **grundsätzlich zu begründen**, falls es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.

### Aufgabe 1 NAT und statisches Routing (15 Punkte)

Gegeben sei die Netztopologie aus Abbildung 1.1. PC1 und PC2 sind über ein gewöhnliches Ethernet-Switch mit Router R1 verbunden, welcher Zugang zum Internet ermöglicht.

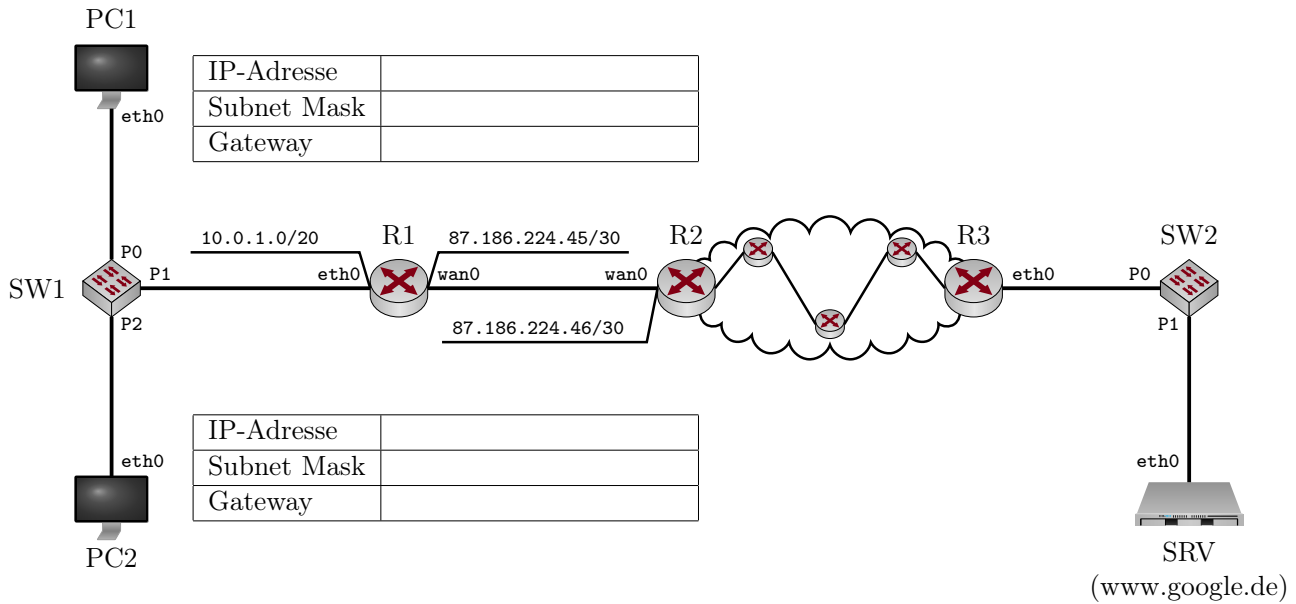


Abbildung 1.1: Netztopologie

a)\* Begründen Sie, ob die Adresse 10.0.1.0 für das gegebene Präfix nutzbar ist. Falls nein, vergeben Sie an R1 eine sinnvolle Adresse im selben Netz.

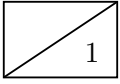
1

b)\* Bestimmen Sie die Netzadresse und Broadcastadresse des Netzwerks, in dem sich PC1, PC2 und R1 befinden.

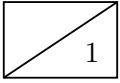
1

c)\* Wieviele IP-Adressen stehen in diesem Netzwerk zur Adressierung von Geräten zur Verfügung?

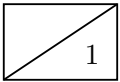
1



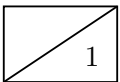
d) Weisen Sie PC1 und PC2 jeweils eine sinnvolle IP-Adresse, Subnetzmaske und Gateway-Adresse zu, so dass diese eine Verbindung zum Internet herstellen können. Tragen Sie die Werte direkt in Abbildung 1.1 ein.



e)\* Wie viele /20 Subnetze gibt es im Netz 10.0.0.0/8?

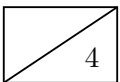


f)\* Begründen Sie, weswegen R1 NAT unterstützen muss, damit PC1 und PC2 mit Hosts im Internet kommunizieren können.

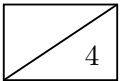


g)\* Welche Informationen muss R1 mind. in seiner NAT-Tabelle vorhalten?

Im Folgenden kürzen wir IP- und MAC-Adressen nach dem Schema <Gerätename>.<Interface> ab, z. B. R1.wan0. Beachten Sie zur Bearbeitung der beiden folgenden Teilaufgaben außerdem, dass sich zwischen R2 und R3 insgesamt drei weitere Router befinden. PC1 greift nun auf die Webseite <http://www.google.de> zu.



h) Ergänzen Sie für die Anfrage von PC1 an [www.google.de](http://www.google.de) die Headerfelder in den drei leeren Kästen in Abbildung 1.2. Sofern ein Feld nicht eindeutig bestimmt ist, treffen Sie eine sinnvolle Wahl.



i) Ergänzen Sie für die Antwort von [www.google.de](http://www.google.de) an PC1 die Headerfelder in den drei leeren Kästen in Abbildung 1.3. Sofern ein Feld nicht eindeutig bestimmt ist, treffen Sie eine sinnvolle Wahl.

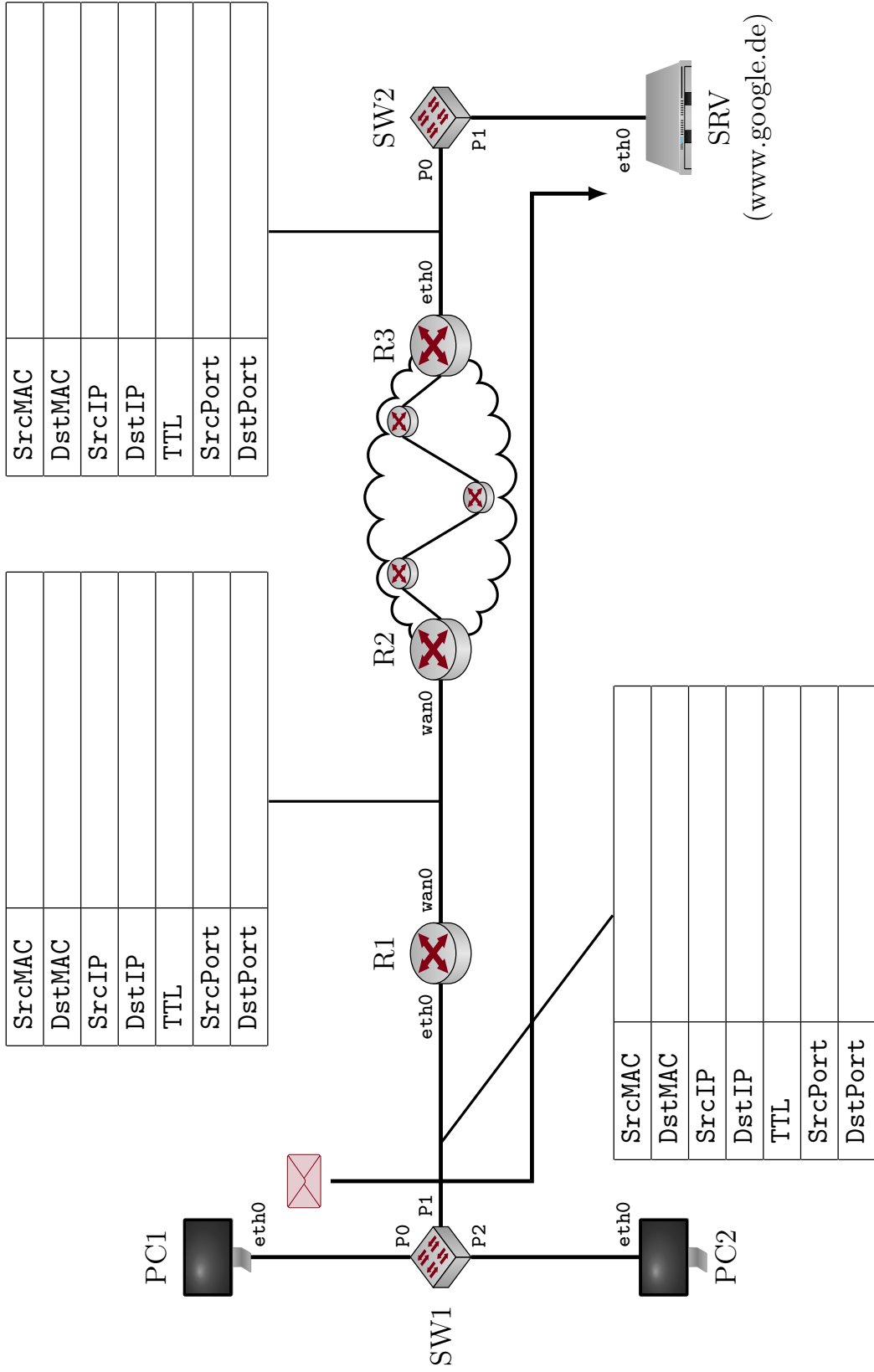
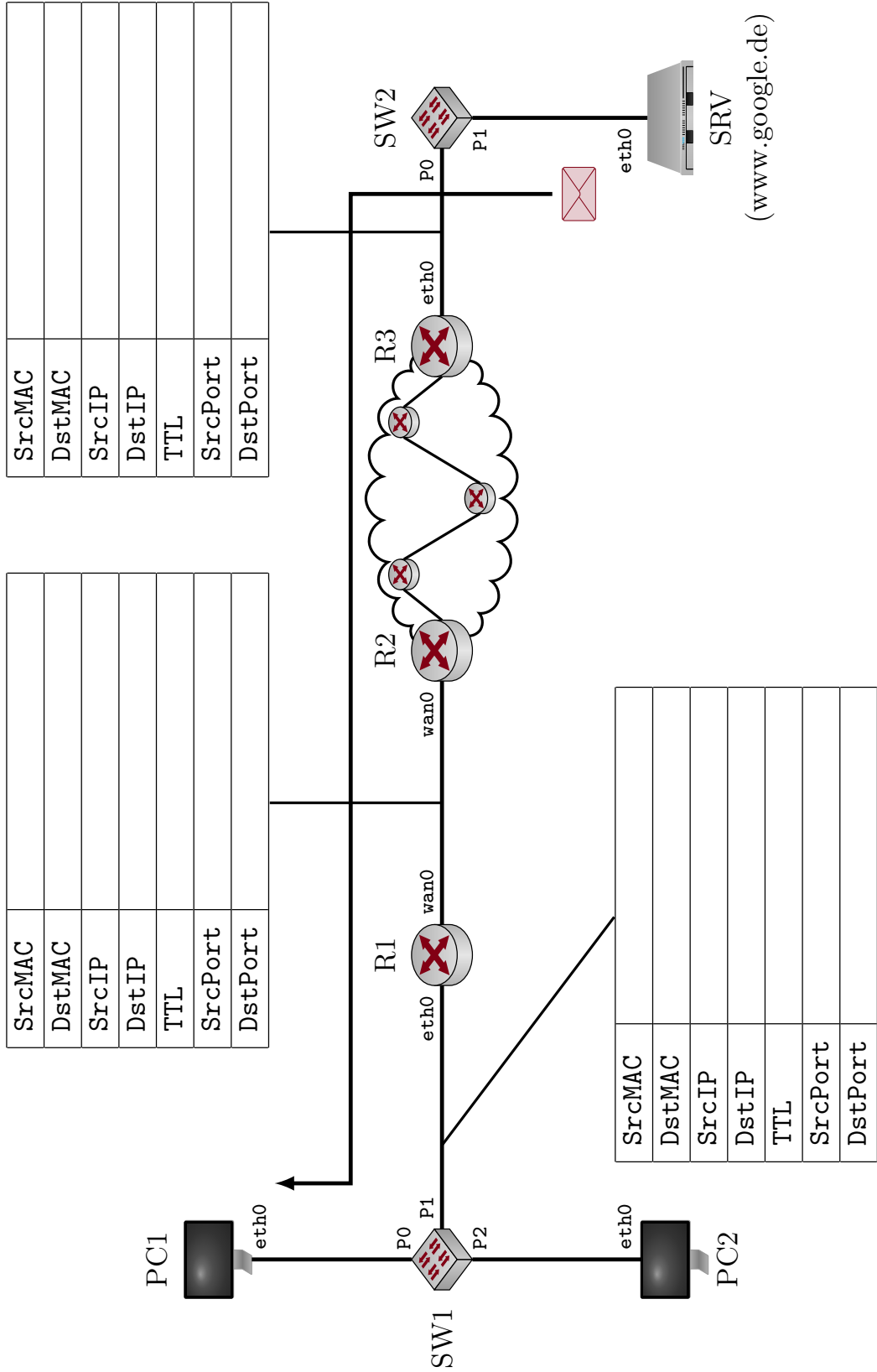


Abbildung 1.2: Netztopologie



SRV  
(www.google.de)

Abbildung 1.3: Netztopologie

## Aufgabe 2 Packet Pair Probing (15 Punkte)

15

Gegeben sei die vereinfachte Netztopologie aus Abbildung 2.1. Knoten 1 und 4 sind mit ihren Routern jeweils über ein fullduplex-fähiges lokales Netzwerk verbunden. Die symmetrischen Datenraten betragen  $r_{12}$  bzw.  $r_{34}$ . Die beiden Distanzen  $d_{12}$  und  $d_{34}$  seien vernachlässigbar klein. Die Verbindung zwischen den Routern 2 und 3 sei bedeutend langsamer. Es gelte also  $r_{23} < r_{12}, r_{34}$ . Die Distanz  $d_{23}$  ist **nicht** zu vernachlässigen.

Die Übertragungsrate  $r_{23}$  soll von Knoten 1 bestimmt werden, indem möglichst wenig Last auf der ohnehin langsamen Verbindung erzeugt wird. Das Verfahren soll mit allen Knoten funktionieren, die über einen gewöhnlichen IP Stack verfügen.

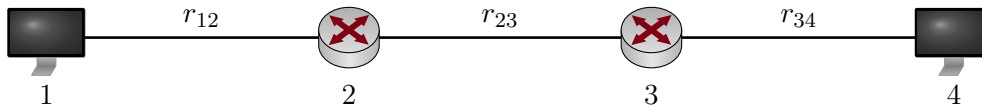


Abbildung 2.1: Vereinfachte Netztopologie

Wir leiten in dieser Aufgabe zunächst allgemein ein Verfahren her, mit dessen Hilfe Knoten 1 die fragliche Übertragungsrate bestimmen kann. Im Anschluss werten wir das Verfahren für konkrete Zahlenwerte aus.

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

1

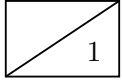
Für eine erfolgreiche und möglichst genaue Bestimmung der Rate  $r_{23}$  ist es wichtig, dass von 1 an 4 gesendete Pakete so groß wie möglich sind, aber nicht fragmentiert werden.

b)\* Erläutern Sie kurz, wie Knoten 1 die maximale MTU auf dem gesamten Pfad nach Knoten 4 bestimmen kann.

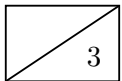
2



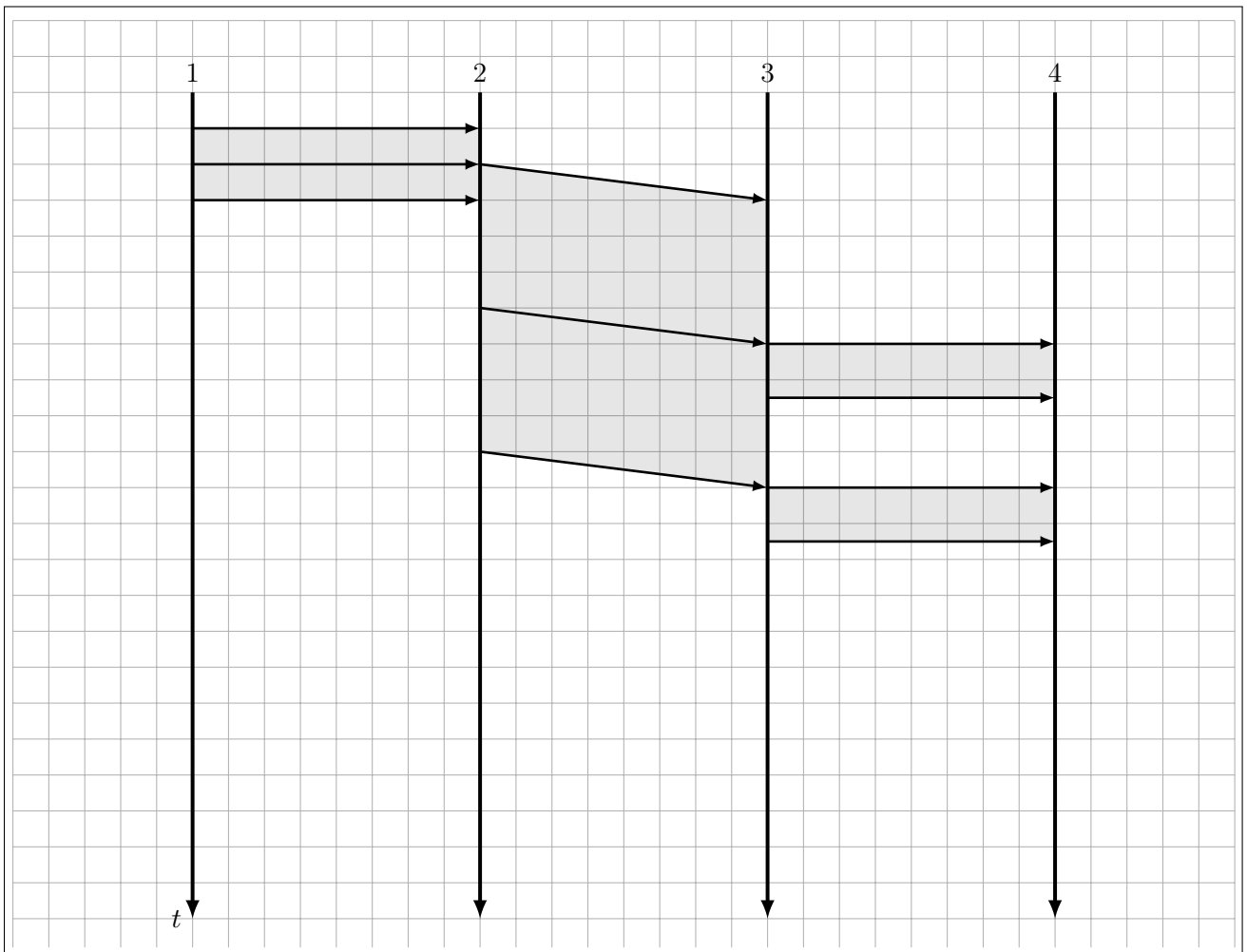
Knoten 1 sende nun unmittelbar nacheinander zwei ICMP-Echo-Requests der Länge  $p$  an Knoten 4. Sie können davon ausgehen, dass sonst kein weiterer Verkehr die Übertragung beeinflusst. Die Länge  $p$  sei so gewählt, dass keine Fragmentierung notwendig ist. Eventuelle Verarbeitungszeiten an den Knoten werden vernachlässigt.



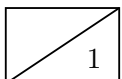
c)\* Wie wird Knoten 4 reagieren, wenn er die ICMP-Echo-Requests von Knoten 1 erhält?



d) Ergänzen Sie das im Lösungsfeld abgebildete Weg-Zeit-Diagramm.

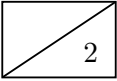


Durch die geringe Übertragungsrate zwischen Knoten 2 und 3 entsteht an Knoten 1 eine Empfangspause  $\Delta t$ . Diese kann von Knoten 1 gemessen und zur Bestimmung der Übertragungsrate zwischen Knoten 2 und 3 verwendet werden.

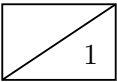


e) Markieren Sie  $\Delta t$  in Ihrer Lösung von Teilaufgabe d).

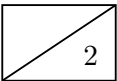
f) Beschreiben Sie in Worten den allgemeinen Einfluss von  $r_{34}$  auf die Empfangspause  $\Delta t$ .



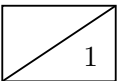
g) Welche Bedingung muss  $r_{34}$  genau erfüllen, damit das Verfahren funktioniert? (Formel!)



h) Geben Sie einen Ausdruck für  $\Delta t$  an. Vereinfachen Sie diesen soweit wie möglich.

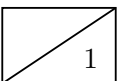


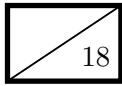
i) Geben Sie einen Ausdruck für die gesuchte Datenrate  $r_{23}$  an. Vereinfachen Sie diesen soweit wie möglich.



Wiederholte Messungen von Knoten 1 ergeben einen Durchschnittswert  $\overline{\Delta t} = 108 \mu\text{s}$  bei einer Paketgröße von  $p = 1500$  Byte. Die Übertragungsrate  $r_{12}$  betrage 1 Gbit/s.

j) Bestimmen Sie  $r_{23}$  als Zahlenwert in Mbit/s.





### Aufgabe 3 IP-Fragmentierung (18 Punkte)

In Abbildung 3.1 ist eine Anordnung von Netzkomponenten mit ihren IP- und MAC-Adressen dargestellt. Die beiden Computer PC1 und PC2 verwenden den jeweils lokalen Router als Default-Gateway. Die MTU auf dem WAN-Link zwischen R1 und R2 betrage 580 Byte. Innerhalb der lokalen Netzwerke gelte die für Ethernet übliche MTU von 1500 Byte.

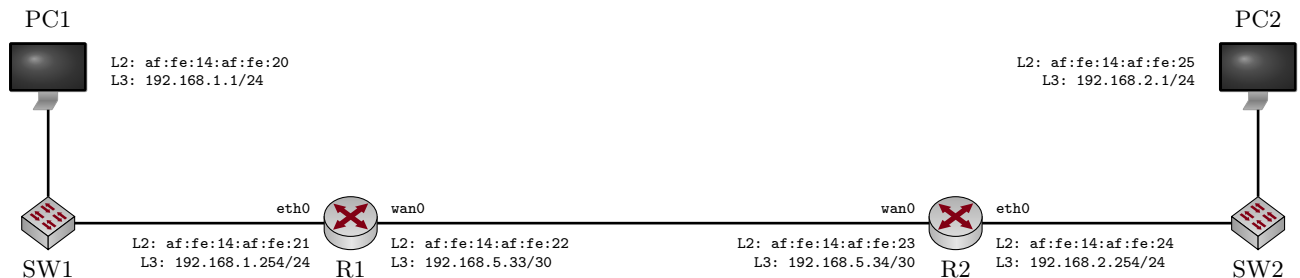
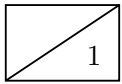
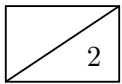


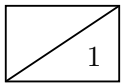
Abbildung 3.1: Netztopologie



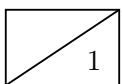
a)\* Begründen Sie, ob die Switches SW1 und SW2 für ihre grundlegenden Aufgaben eine eigene MAC-Adresse benötigen. Ergänzen Sie diese ggf. in Abbildung 3.1.



b)\* Welche Bedeutung haben die beiden Headerfelder „Identifier“ und „Fragment Offset“?



c)\* Welches Protokoll dient zur Übersetzung von IP-Adressen in MAC-Adressen?



d)\* Begründen Sie, ob PC1 die MAC-Adresse von PC2 benötigt, um ein Paket an PC2 senden zu können.

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

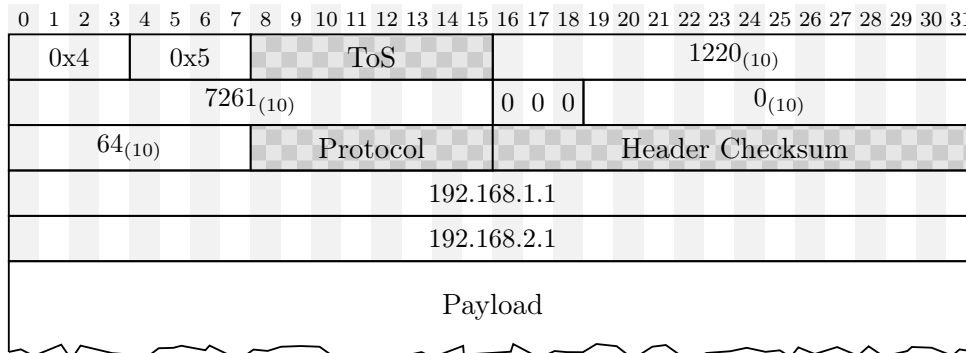
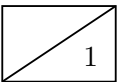
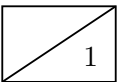


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung des von PC1 gesendeten IP-Pakets

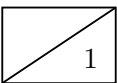
e)\* Welche Größe besitzt der IP-Header des in Abbildung 3.2 dargestellten Pakets?



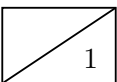
f)\* Wie groß ist die Payload des in Abbildung 3.2 dargestellten Pakets?

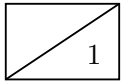


g)\* Welche Teile der Schicht-2-PDU zählen zur MTU?

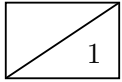


h)\* An welcher Stelle im Netz findet die Fragmentierung statt?

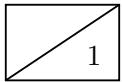




i) In wieviele Fragmente wird das gesendete Paket aufgeteilt?

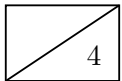


j)\* Begründen Sie, weswegen Fragmente unabhängig voneinander weitergeleitet werden können.

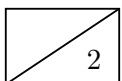


k) Aus welchem Grund kann die Reassemblierung von Paketen i. A. erst beim Empfänger stattfinden?

Abbildung 3.3 stellt die Header der einzelnen IP-Fragmente dar (es sind ggf. mehr Fragmente abgedruckt als tatsächlich benötigt werden). Die Header-Felder TOS, Protocol und Header-Checksum können ignoriert werden.



l) Füllen Sie für alle Fragmente, die über die Verbindung zwischen R1 und R2 geschickt werden, die freigelassenen Header-Felder in Abbildung 3.3 aus.



m)\* Welche Veränderungen (mit Begründung!) wurden bei der IP-Fragmentierung mit IPv6 vorgenommen?

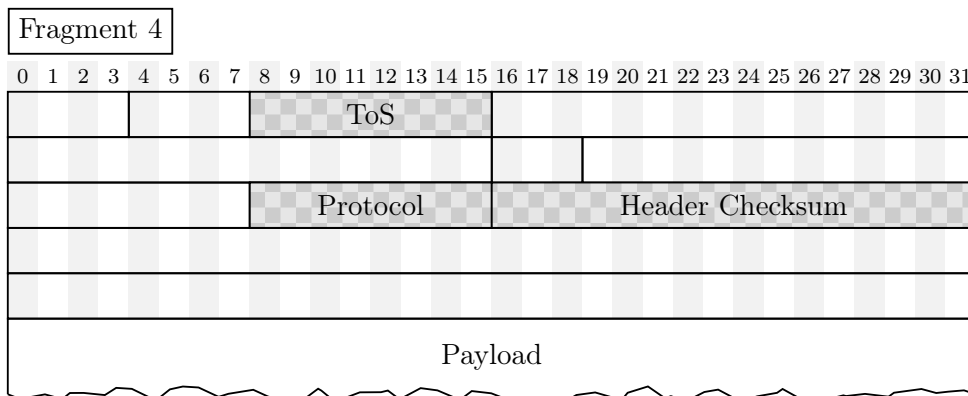
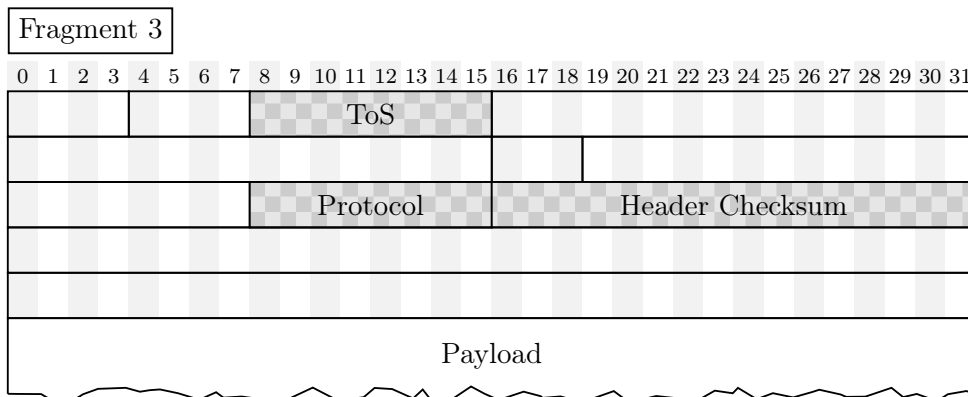
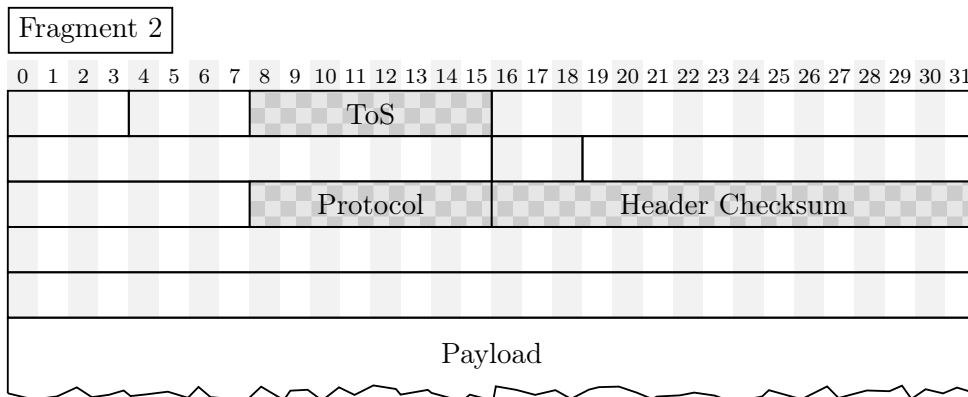
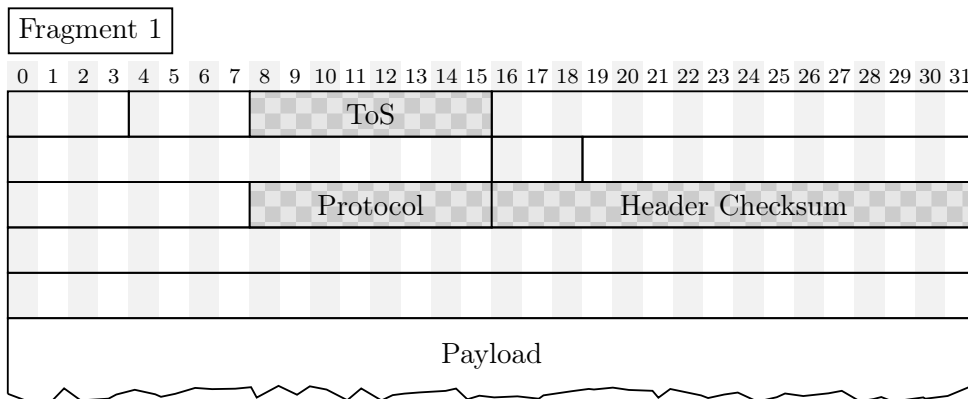
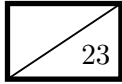


Abbildung 3.3: Lösungsvordruck für Teilaufgabe 1)



#### Aufgabe 4 Protocol-Dissemination (23 Punkte)

Wir betrachten das Netzwerk aus Abbildung 4.1, welche zugunsten der Übersicht keine Switches enthält. Sie können davon ausgehen, dass alle eingezeichneten Verbindungen FastEthernet-Segmente darstellen. Sie versuchen, von PC1 aus eine TCP-Verbindung zum Server aufzubauen. Dies misslingt, obwohl Sie davon ausgehen, dass die Router RA - RD korrekt konfiguriert sind und der Server eingehende TCP-Verbindungen akzeptiert. Ein Fehler an PC1 sei ausgeschlossen.

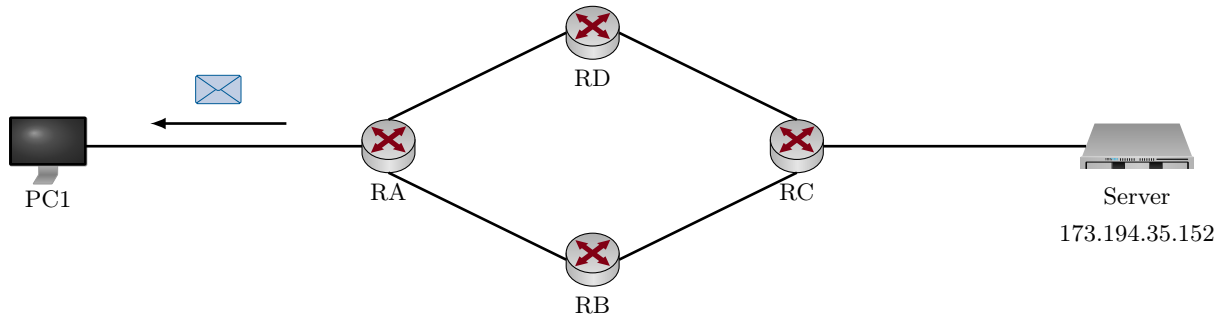


Abbildung 4.1: Vereinfachte Netztopologie (Switches zwischen den Geräten sind der Übersichtlichkeit wegen nicht eingezeichnet)

Sie beschließen deshalb, den Netzwerkverkehr an PC1 mit einem Sniffer<sup>1</sup> zu überprüfen, während Sie erneut versuchen, eine Verbindung zum Server aufzubauen. Dabei zeichnen sie die in Abbildung 4.1 eingezeichnete Nachricht auf, welche an PC1 adressiert ist. Diese Nachricht ist als Hexdump in Abbildung 4.2 abgedruckt. Die linke Spalte gibt den Offset (hexadezimal) in Vielfachen von Bytes an. Die beiden nachfolgenden Spalten repräsentierten die Daten (hexadezimal) in Blöcken zu je 8 Byte in Network-Byte-Order.

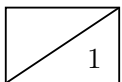
```

0000  28 37 37 02 32 41 00 25   90 57 1f dc 08 00 45 00
0010  00 38 b2 40 00 00 3f 01   b1 57 83 9f fc 95 83 9f
0020  14 59 0b 00 5e a4 00 00   00 00 45 00 00 40 16 17
0030  40 00 01 06 fa 4e 83 9f   14 59 ad c2 23 98 e8 fc
0040  01 bb 22 67 a5 d2

```

Abbildung 4.2: Hexdump der in Abbildung 4.1 dargestellten Nachricht (inkl. L2-Header) in Network-Byte-Order.

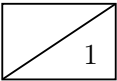
Im Folgenden werden wir diese Nachricht schrittweise untersuchen und herausfinden, aus welchem Grund der Server nicht erreichbar ist. **Nutzen Sie zur Lösung die auf dem Beiblatt abgegebildeten Protokoll-Header und Zusatzinformationen.**



a)\* Erklären Sie die Begriffe “Little-Endian” und “Big-Endian”.

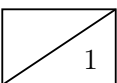
<sup>1</sup>Programm zur Aufzeichnung des Datenverkehrs, z. B. Wireshark oder tcpdump

b) Welche Byte-Order entspricht der Network-Byte-Order und welche wird von x86-basierten Computern verwendet?

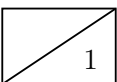


Für die nachfolgenden Teilaufgaben ist es sicher hilfreich, wenn Sie sich Anfang und Ende der jeweiligen Header in Abbildung 4.2 markieren. **Bitte beachten** Sie, dass die nachfolgenden Teilaufgaben nur dann bewertet werden, wenn ersichtlich ist, **wie Sie auf die Antwort gekommen sind** (z. B. Angabe der Werte der betreffenden Header-Felder).

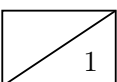
c)\* Geben Sie für das erste und letzte Byte des Ethernet-Headers den Offset vom Beginn des Rahmens an.



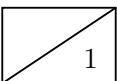
d) Bestimmen Sie die MAC-Adresse von RA.



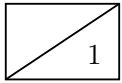
e) Bestimmen Sie die MAC-Adresse von PC1.



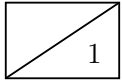
f) Welches L3-Protokoll kommt zum Einsatz (mit Begründung, woran Sie das erkennen).



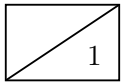




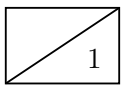
g) Geben Sie für das erste und letzte Byte des L3-Headers den Offset vom Beginn des Rahmens an.



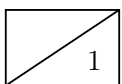
h) Geben Sie die L3-Adresse von PC1 in der üblichen Notation an.



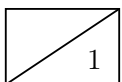
i) Stammt die Nachricht vom Server?



j) Bestimmen Sie die TTL der Nachricht.

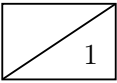


k) Von welchem Gerät stammt die Nachricht mit hoher Wahrscheinlichkeit?

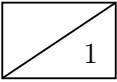


l) Welches Protokoll folgt dem L3-Header?

m) Spezifizieren Sie den Nachrichtentyp, der dem L3-Header folgt, so genau wie möglich.

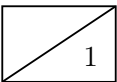


n) Beschreiben Sie in Worten (oder durch Skizze) allgemein den Inhalt der Nachricht, die auf den L3-Header folgt.

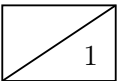


Nach der bisherigen Untersuchung besteht die Vermutung, dass diese Nachricht die Reaktion auf eine andere Nachricht ist, welche zuvor von PC1 versendet wurde. Diese Vermutung soll im Folgenden bestätigt werden.

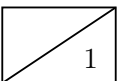
o) Bestimmen Sie den Empfänger dieser vorangegangenen Nachricht.

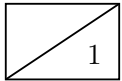


p) Welche Länge hatte diese Nachricht in Bytes?

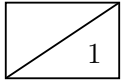


q) Welche TTL hatte diese Nachricht zuletzt?

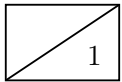




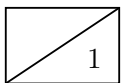
r) Welches L4-Protokoll wurde in dieser Nachricht verwendet?



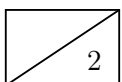
s) Geben Sie die Quellportnummer dieser Nachricht an.



t) Geben Sie die Zielpartnummer dieser Nachricht an.

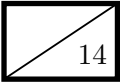


u) Welches Protokoll wurde auf der Anwendungsschicht verwendet?



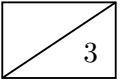
v) Beschreiben Sie nun das Problem, aufgrund dessen PC1 keine Verbindung zum Server herstellen kann.

### Aufgabe 5 Kurzaufgaben (14 Punkte)

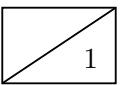


Die folgenden Kurzaufgaben sind **jeweils unabhängig voneinander**. Stichpunktartige Antworten sind ausreichend!

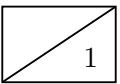
a)\* Beschreiben Sie den Schlüsselaustausch mittels DH76 zwischen zwei Kommunikationspartnern Alice und Bob. Erklären Sie, welche Informationen ausgetauscht werden. Es ist **nicht** notwendig Formeln anzugeben. Sofern Sie Variablennamen verwenden, erklären Sie deren bedeutung!



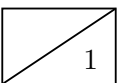
b)\* Begründen Sie, ob ein Angreifer, welcher den DH76-Schlüsselaustausch beobachtet, den Schlüssel ebenfalls berechnen kann.



c)\* Begründen Sie, ob sich Alice i. A. nach dem Schlüsselaustausch sicher sein kann, wirklich mit Bob zu kommunizieren.

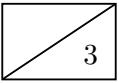


d)\* Wozu werden CRC-Summen verwendet?

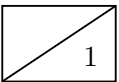




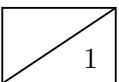
g)\* Skizzieren Sie den TCP-Verbindungsaufbau (mit Angabe der Sequenznummern und Flags) als vereinfachtes Weg-Zeit-Diagramm (Serialisierungszeit und Ausbreitungsverzögerung kann vernachlässigt werden).

A large rectangular grid consisting of 20 columns and 20 rows of small squares, intended for drawing a sequence diagram.

h)\* Beschreiben Sie kurz (zwei Stichpunkte genügen) das Prinzip von Token Passing.

A large empty rectangular box for writing the answer to question h).

i)\* Wozu werden Routingprotokolle genutzt?

A large empty rectangular box for writing the answer to question i).

**Zusätzlicher Platz für Lösungen – bitte markieren Sie deutlich die Zugehörigkeit zur jeweiligen Aufgabe und streichen Sie ungültige Lösungen!**

