

MATRIKELNUMMER
(MATRICULATION NUMBER)

NACHNAME
(SURNAME)



Klausur Telematik



Prof. Dr. Martina Zitterbart
Institut für Telematik
KIT-Fakultät für Informatik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Dienstag, 01.08.2023

- Diese Klausur umfasst **29 Seiten** und insgesamt **6 Aufgaben**. Bitte kontrollieren Sie jetzt, ob Sie eine vollständige Ausgabe erhalten haben.
- Sie dürfen Ihre Antworten in Deutsch oder Englisch formulieren. Der Wechsel der Sprache innerhalb einer Teilaufgabe ist nicht erlaubt.
- Schreiben Sie mit blauer oder schwarzer Farbe und mit einem permanenten Stift.
- Beachten Sie, dass die vorgegebenen Antwortfelder großzügig dimensioniert sind. In vorgeprägten Tabellen müssen nicht unbedingt alle freien Einträge für eine korrekte Lösung genutzt werden.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen ein Lösungsweg eindeutig erkennbar ist.** Antworten sind **grundsätzlich zu begründen**, falls es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Wenn Sie Ergebnisse aus einer Teilaufgabe in eine andere Teilaufgabe übernehmen, machen Sie dies bitte kenntlich.
- Insgesamt sind **60 Punkte** zu erreichen.

- *This exam consists of 29 pages and a total of 6 tasks. Please check now if you have received a complete edition.*
- *You may provide your answers in German or English. Changing the language within a subtask is not allowed.*
- *Write in black or blue color and use a permanent pen.*
- *Note that the provided answer fields are generously dimensioned. In preprinted tables not all free entries have to be used for a correct solution.*
- **Only those results are evaluated in which the solution path is clearly recognizable.** Answers have to be **justified in principle unless explicitly stated otherwise in the respective subtask.**
- *If you transfer results from one subtask to another subtask, please indicate this.*
- *A total of 60 points can be achieved.*

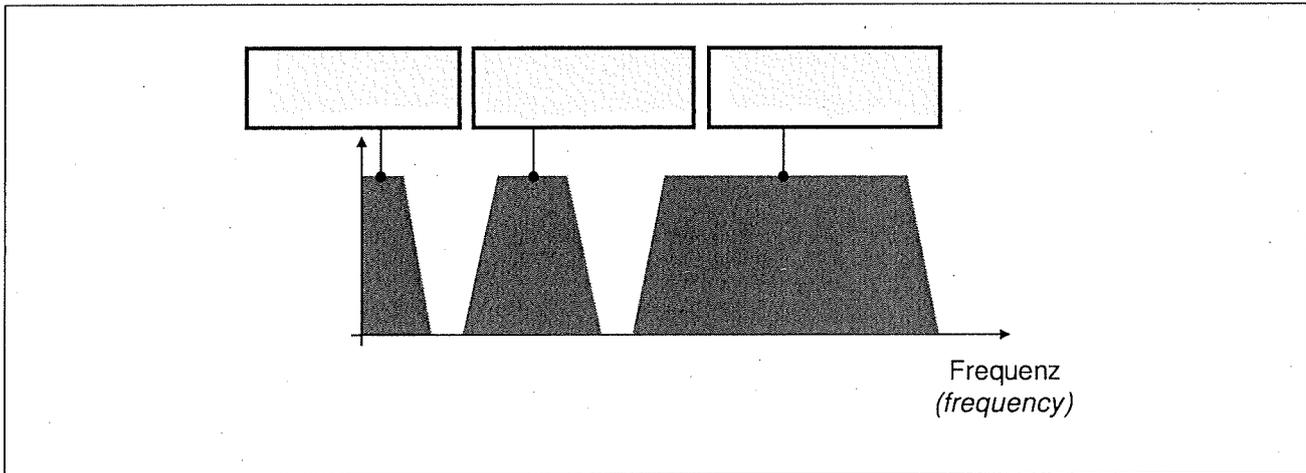
A1	A2	A3	A4	A5	A6	Σ

Aufgabe 1 Allgemein (10 Punkte)

10
1

a) Kennzeichnen Sie die Bereiche für DSL-Upstream, DSL-Downstream und Telefonie im dargestellten Frequenzspektrum eines DSL-Zugangs.

Mark the areas for DSL upstream, DSL downstream and telephony in the depicted frequency spectrum of a DSL access.



b) Erklären Sie kurz die in der Tabelle angegebenen Begriffe im Kontext autonomer Systeme.

1

Briefly explain the terms in the table in the context of autonomous systems.

Begriff (term)	Bedeutung (meaning)
Transit AS	
Stub AS	

c) Welche Informationen müssen in einer BGP-Routingtabelle zu jedem Präfix gespeichert werden?

1

Which information must be stored in a BGP routing table for each prefix?

d) Welche Weiterleitungsinformationen müssen Switching Devices in einer Label Switching Domäne für jeden Label-Switching-Pfad in der Label Forwarding Information Base speichern? Was muss bei der Wahl der Label für einen Label-Switching-Pfad berücksichtigt werden? Wo im Paket werden Labels üblicherweise übertragen?

What forwarding information do switching devices in a label switching domain need to store in their label forwarding information base for each label switching path? What needs to be considered when choosing labels for a label switching path? Where in the packet are labels usually transmitted?

Weiterleitungsinformationen (*forwarding information*):

Berücksichtigungen bei der Label-Wahl (*considerations for the label choice*):

Stelle im Paket (*location in the packet*):

- e) Das Spanning Tree Protokoll verwendet sogenannte Root-Interfaces und Designated Bridges. Wie erfolgt die Auswahl des Root-Interfaces für eine Bridge bzw. der Designated Bridge für ein LAN?
The Spanning Tree Protocol uses so-called root interfaces and designated bridges. State how the root interface for a bridge and the designated bridge of a LAN are selected.

2

Auswahl des Root Interfaces (*selection of the root interface*):

Auswahl der Designated Bridge (*selection of the designated bridge*):

- f) Wie viel Zeit steht einem Router maximal zur Verfügung, um ein Paket der Länge 250 Byte in Line Speed bei einer Datenrate von 10 Gbit/s weiterzuleiten?

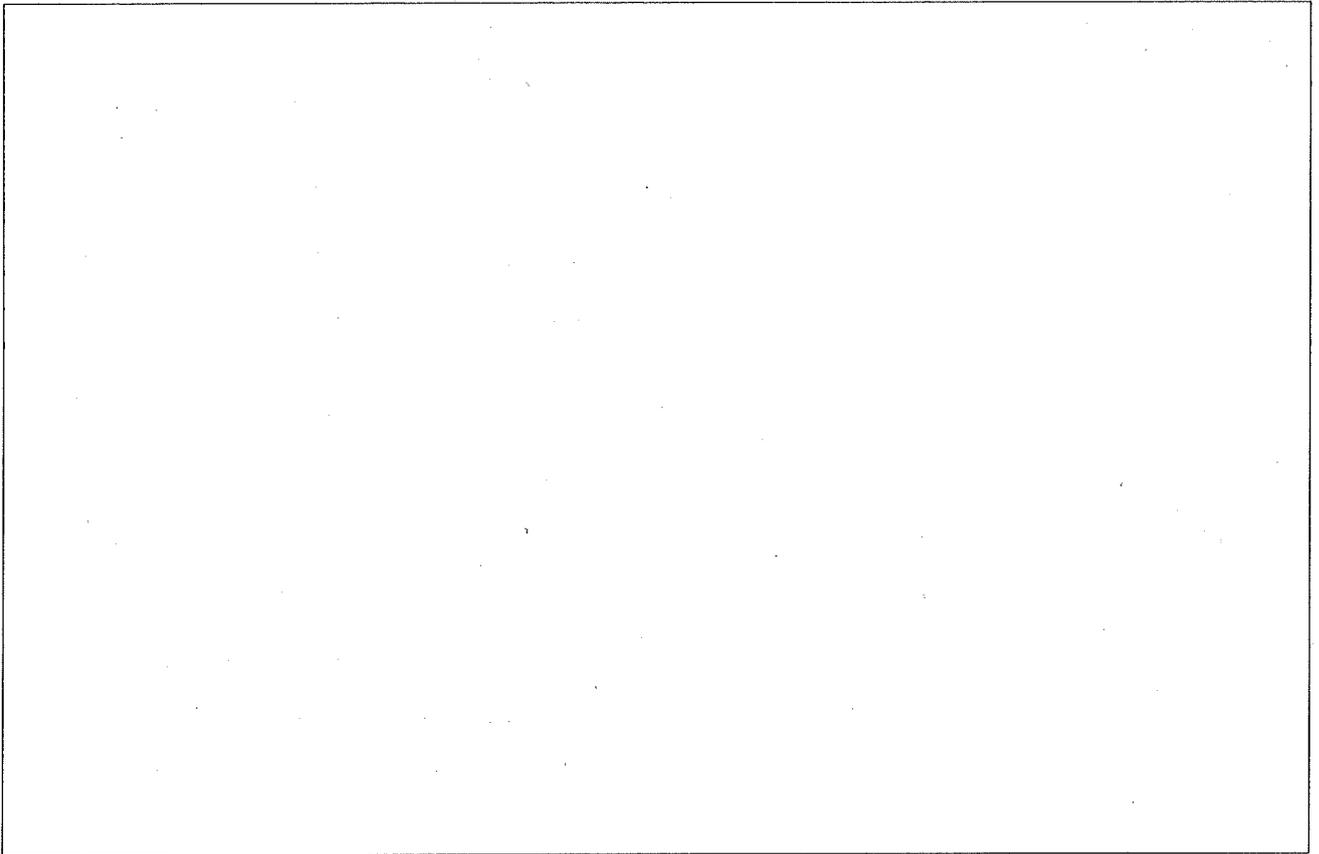
1

How much time does a router have at most to forward a packet of length 250 bytes in line speed at a data rate of 10 Gbit/s?

g) Das Präfix 128.0.0.0/22 wird in einen leeren Multibit Trie mit Stride $k = 8$ eingefügt. Prefix Expansion wird angewendet. Zeichnen Sie den daraus resultierenden Trie und beschriften Sie die Kanten mit den entsprechenden Bits des Präfix.

1

The prefix 128.0.0.0/22 is inserted into an empty multibit trie with stride $k = 8$. Prefix expansion is used. Draw the resulting trie and label the edges with the corresponding bits of the prefix.



h) Füllen Sie den untenstehenden HTTP/3-Protokollstack aus. Markieren Sie in welchem Protokoll immer eine Verschlüsselung stattfindet.

1

Fill in the HTTP/3 protocol stack below. Mark the protocol in which data is always encrypted.

HTTP/3 Protokollstack (HTTP/3 protocol stack)
Protokoll (protocol)
IP

Aufgabe 2 OSPF (10 Punkte)

10

- 1 a) Ist OSPF ein *Interior Gateway Protokoll* oder ein *Exterior Gateway Protokoll*? Welcher Algorithmus wird bei OSPF für die Berechnung kürzester Pfade verwendet?

Is OSPF an Interior Gateway Protocol or an Exterior Gateway Protocol? Which algorithm is used for calculating the shortest paths in OSPF?

- 1 b) Erklären Sie die Aufgaben des *Hello Protokolls* in OSPF.

Explain the tasks of the Hello Protocol in OSPF.

- 1 c) Was ist der Zweck der Unterteilung eines Netzes in verschiedene OSPF Areas. Begründen Sie ihre Antwort.

What is the purpose of dividing a network into different OSPF areas? Justify your answer.

d) Skizzieren Sie ein Autonomes System (AS), das OSPF nutzt und in dem genau drei Areas existieren. Nummerieren Sie die verschiedenen Areas gemäß OSPF. Es gibt ausschließlich physische Links. Von welchen Areas ist ein Anschluss an andere ASe möglich?

2

Draw an Autonomous System (AS) that uses OSPF and that has exactly three areas. Number the different areas according to OSPF. There are only physical links. From which areas is it possible to connect to other ASs?

Von welchen Areas ist Anschluss an andere ASe möglich
(*from which areas is connection to other ASs possible*)?

e) Wofür wird bei OSPF ein Designated Router (DR) eingesetzt? Es existiert ein LSA-Typ, der ausschließlich vom DR gesendet wird. Was ist der Inhalt der LSAs diesen Typs?

1

For what purpose is a Designated Router (DR) used in OSPF? There is an LSA type that is sent exclusively by the DR. What is the content of the LSAs of this type?

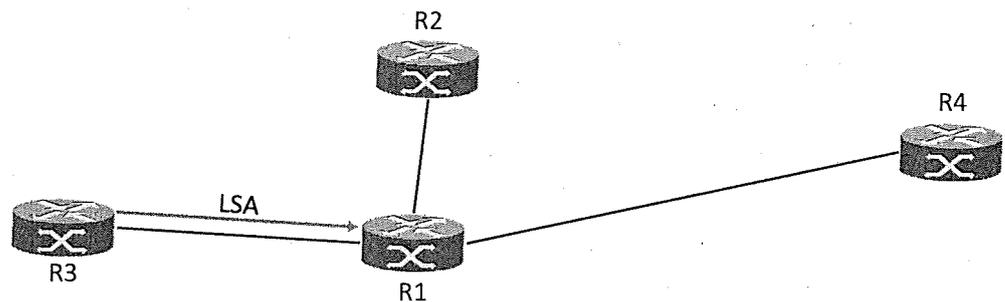
Wofür wird DR eingesetzt
(*for what purpose is DR used*):

Inhalt der LSAs dieses Typs
(*content of the LSAs of this type*):

3

f) Router R3 sendet ein Link-State Advertisement (LSA) an Router R1, wie in der nachfolgenden Abbildung angedeutet. Welche Protokolle der Schicht 3 und darüber werden für die Übertragung des LSAs verwendet? Was ist die Zieladresse des LSAs? Von welchen Routern in der Abbildung wird das LSA empfangen, wenn das abgebildete Szenario fortgeführt wird? Von welchen Routern in der Abbildung wird der Empfang des LSAs bestätigt? An wen wird die Bestätigung (ACK) gesendet?

Router R3 sends a link-state advertisement (LSA) to router R1, as indicated in the following figure. Which protocols of layer 3 and above are used for the transmission of the LSA? What is the destination address of the LSA? Which routers in the figure receive the LSA, if the illustrated scenario is continued? Which routers in the figure acknowledge the receipt of the LSA? To whom is the acknowledge (ACK) sent?



Protokolle der Schicht 3 und darüber für Übertragung des LSAs
(*protocols of layer 3 and above for transmission of LSA*):

Zieladresse (*destination address*):

Router, die LSA empfangen (*routers that receive the LSA*):

Router, die LSA ACK senden und an wen (*routers that acknowledge the LSA and to whom*):

g) Welche Link-State-Advertisements werden in einem Autonomen System mit nur einer einzigen Area nicht benötigt? Begründen Sie ihre Antwort.

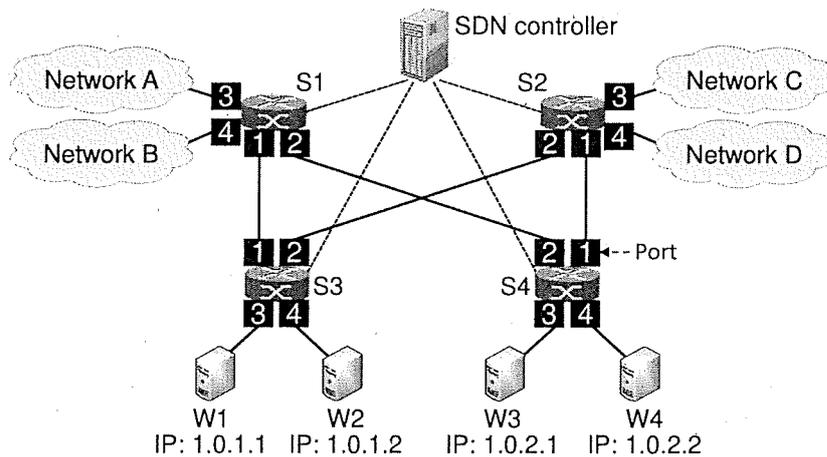
Which link-state advertisements are not needed in an autonomous system with only one area? Justify your answer.

1

Aufgabe 3 Software Defined Networking (10 Punkte)

Im abgebildeten SDN-Netz mit den vier Switches S1 bis S4 sollen Anfragen aus den Netzen A bis D gleichmäßig auf die Webserver W1 bis W4 verteilt werden. Hierzu soll eine SDN-App programmiert werden, um die Weiterleitung von einem SDN-Controller steuern zu lassen.

In the depicted SDN network with the four switches S1 to S4, requests from networks A to D should be evenly distributed to the web servers W1 to W4. For this, an SDN app is to be programmed to control the forwarding by an SDN controller.



- 4 a) Geben Sie zunächst alle Einträge der abgebildeten Flowtables an, die von der folgenden onConnect-Methode erzeugt werden, nachdem die Switches S1 bis S4 sich mit dem Controller verbunden haben.

First, enter all entries of the depicted flow tables that are generated by the following onConnect method after the switches S1 to S4 have connected to the controller.

```
import S1, S2, S3, S4; // Switch references

getIp(switch, port) {
    // Returns the IP address of the server
    // connected to the switch and port
    if (switch == S3 and port == 3)
        return '1.0.1.1';
    if (switch == S3 and port == 4)
        return '1.0.1.2';
    if (switch == S4 and port == 3)
        return '1.0.2.1';
    if (switch == S4 and port == 4)
        return '1.0.2.2';
}

// Continued right ...
```

```
onConnect(switch) {
    r1 = Rule();
    r1.PRIORITY(0);
    r1.ACTION('DROP');
    r1.MATCH('*');
    send_rule(r1, switch);

    for port in (3, 4) { // Iterate over 3 and 4
        r2 = Rule();
        r2.PRIORITY(1);
        if (switch == S1 or switch == S2) {
            r2.MATCH('INPORT', port);
            r2.ACTION('CONTROLLER');
        }
        if (switch == S3 or switch == S4) {
            r2.MATCH('IP_DST', getIp(switch, port));
            r2.ACTION('OUTPUT', port);
        }
        send_rule(r2, switch);
    }
}
```

Flowtable von S1 (*flow table of S1*)

Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)

Flowtable von S2 (*flow table of S2*)

Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)

Flowtable von S3 (*flow table of S3*)

Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)

Flowtable von S4 (*flow table of S4*)

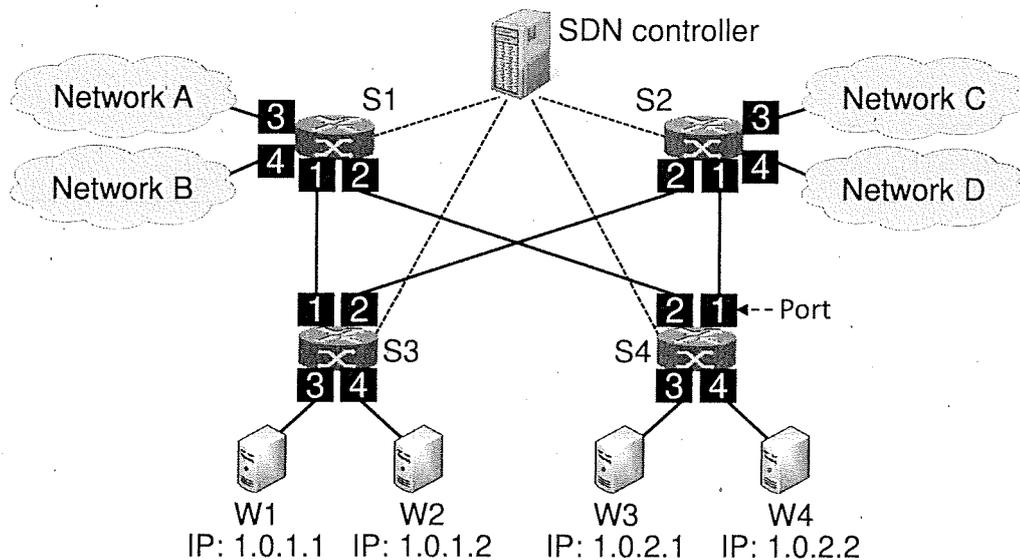
Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)

b) Vervollständigen Sie die angegebene `onPacketIn`-Methode der SDN-App, um *bidirektionale* Kommunikation mit den Webservern zu ermöglichen. Zur Lastverteilung soll die App die Methode `getOutputPort` nutzen. Diese entscheidet anhand der IP-Quelladresse über welche Ports S1 und S2 IP-Datagramme weiterleiten. Beachten Sie dabei Folgendes:

1. Alle proaktiven Flowtable-Einträge der Switches S1 bis S4 wurden bereits von der `onConnect`-Methode aus Teilaufgabe a) programmiert.
2. Anfragen werden stets aus Netz A bis D initiiert, nie von den Webservern.
3. Vermeiden Sie Paketverluste.

Complete the provided `onPacketIn` method of the SDN app to enable bidirectional communication with the web servers. The app should use the `getOutputPort` method for load balancing. Based on the IP source address, this method decides via which ports S1 and S2 forward IP datagrams. Take note of the following:

1. All proactive flow table entries of switches S1 to S4 have already been programmed by the `onConnect` method from subtask a).
2. Requests are always initiated from network A through D, never from the web servers.
3. Avoid packet loss.



Wiederholung (*repetition*)

```
import S1, S2, S3, S4; // Switch references
import getOutputPort;

onPacketIn(packet, switch, inport) {
    // Determine output port for S1 and S2
    outport = getOutputPort(packet.IP_SRC);

    // Forward to the next switch
    r1 = Rule();
    r1.PRIORITY( _____ );
    r1.MATCH( _____ );
    r1.ACTION( _____ );
    send_rule(r1, _____ );

    // Forwarding rule for reverse direction
    r2 = Rule();
    r2.PRIORITY( _____ );
    r2.MATCH( _____ );
    r2.ACTION( _____ );
    send_rule(r2, _____ );

    // Forwarding rule for remote switch (reverse direction)
    r3 = Rule();
    r3.PRIORITY( _____ );
    r3.MATCH( _____ );
    r3.ACTION( _____ );

    if (switch == S1 and outport == 1)
        send_rule(r3, _____ );
    if (switch == S1 and outport == 2)
        send_rule(r3, _____ );
    if (switch == S2 and outport == 1)
        send_rule(r3, _____ );
    if (switch == S2 and outport == 2)
        send_rule(r3, _____ );

    _____ ;
}
```

Aufgabe 4 TCP Staukontrolle (10 Punkte)

10

- a) Was versteht man unter dem Begriff Goodput im Kontext der TCP-Staukontrolle? Ist der Goodput höher oder niedriger als der Throughput? Weshalb? Beschriften Sie die freien Felder in der Grafik.

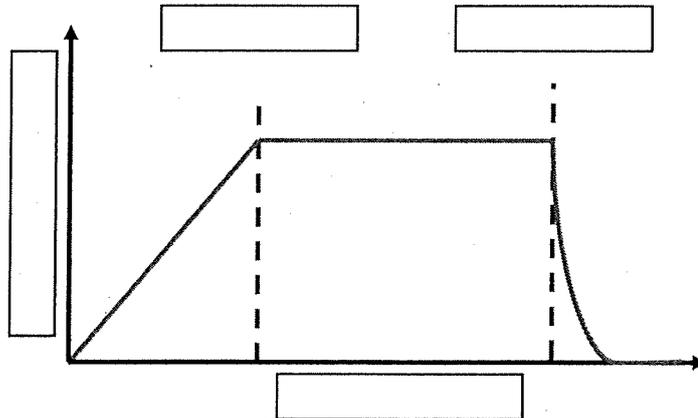
2

What is meant by the term goodput in the context of TCP congestion control? Is the goodput higher or lower than the throughput? Why? Fill in the empty boxes in the figure.

Goodput:

Goodput höher oder niedriger als Throughput (*goodput higher or lower than throughput*):

Begründung (*justification*):



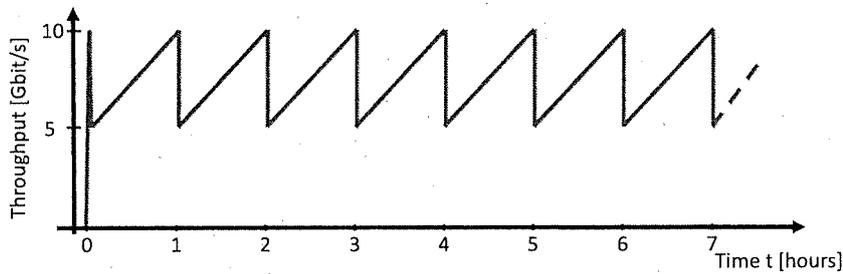
b) In der nachfolgenden Grafik ist der Throughput eines langlebigen TCP-Flows über einen Link mit hohem Bandbreiten-Verzögerungs-Produkt dargestellt.

2

1. Welches, der in der Vorlesung vorgestellten Staukontrollverfahren kommt hier zum Einsatz? Begründen Sie ihre Entscheidung kurz.
2. Wie groß ist die durchschnittliche Datenrate, die am Engpass unbenutzt bleibt?
3. Zeichnen Sie in die Abbildung im Lösungsfeld, ab $t = 0$, ein, wie sich die Datenrate entwickelt, wenn jeweils nach 15 Minuten ein Paketverlust auftritt. Achten Sie auf die veränderte x-Achse. In grau ist die Datenrate aus der vorangegangenen Abbildung erneut eingezeichnet.

The figure below shows the throughput of a long-living TCP connection over a link with a high bandwidth-delay-product.

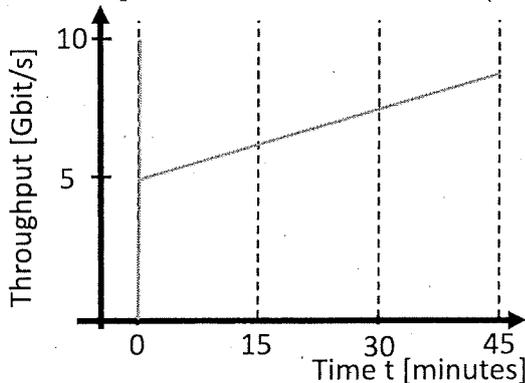
1. Which of the congestion control algorithms presented in the lecture is used? Justify your answer briefly.
2. How much of the bottleneck data rate remains unused on average?
3. Draw the development of the data rate, if a packet loss occurs after every 15 minutes, in the figure in the solution box starting at $t = 0$. Pay attention to the changed x-axis. In grey the data rate from the previous figure is plotted again.



Staukontrollverfahren (*congestion control algorithm*):

Unbenutzte Datenrate am Engpass (*unused bottleneck data rate*):

Datenrate mit periodischen Paketverlusten (*data rate with periodic packet losses*):



c) TCP-CUBIC verwendet die folgende kubische Funktion zur Berechnung des aktuellen Staukontrollfensters:

3

$$W(t) = C(t - K)^3 + W_{max} \quad \text{with} \quad K = \sqrt[3]{\frac{W_{max}(1 - \beta)}{C}} \quad \text{and} \quad \beta = 0.7$$

1. Erläutern Sie die Parameter t und W_{max} .
2. Zeichnen Sie die Entwicklung des Staukontrollfensters nach dem Empfang eines Stausignals bei t_0 bis das Staukontrollfenster 13 MSS erreicht in die Grafik ein. Gehen Sie davon aus, dass keine weiteren Stausignale empfangen werden.
3. Erklären Sie die Funktionsweise der TCP-friendly Region von TCP-CUBIC. Was wird dadurch erreicht?

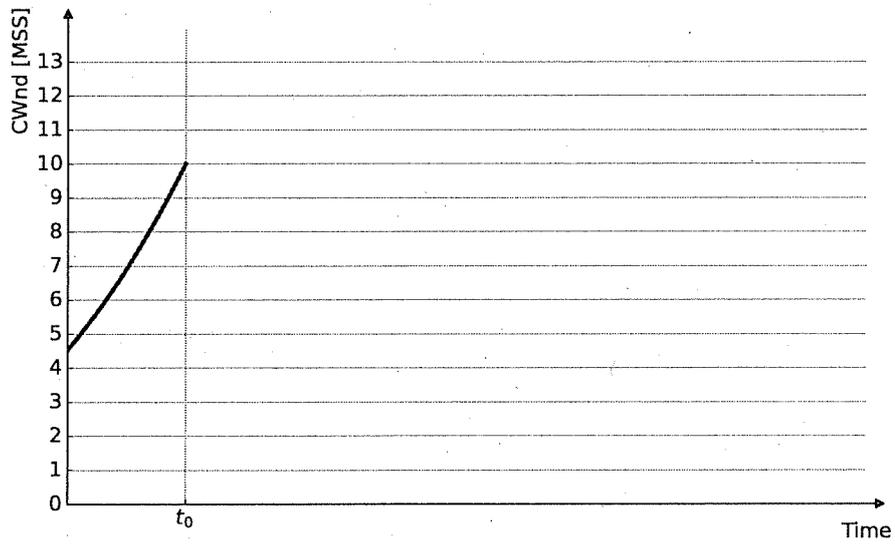
TCP-CUBIC uses the following cubic function to calculate the current congestion window.

$$W(t) = C(t - K)^3 + W_{max} \quad \text{with} \quad K = \sqrt[3]{\frac{W_{max}(1 - \beta)}{C}} \quad \text{and} \quad \beta = 0.7$$

1. *Explain the parameters t and W_{max} .*
2. *Draw the development of the congestion window after the reception of a congestion signal (at t_0) until the congestion window reaches 13 MSS, in the figure. Assume that no further congestion signals are received.*
3. *Explain how the TCP-friendly region of TCP-CUBIC works. What does it achieve?*

Parameter t :

Parameter W_{max} :



TCP-friendly region:

3

d) Sie sind Empfänger einer größeren Datenübertragung. Die Verbindung nutzt TCP-Reno. Sie, als unfairen Empfänger, wissen, dass das sendende System die TCP-Erweiterung Appropriate Byte Counting nicht implementiert und nutzen dies aus:

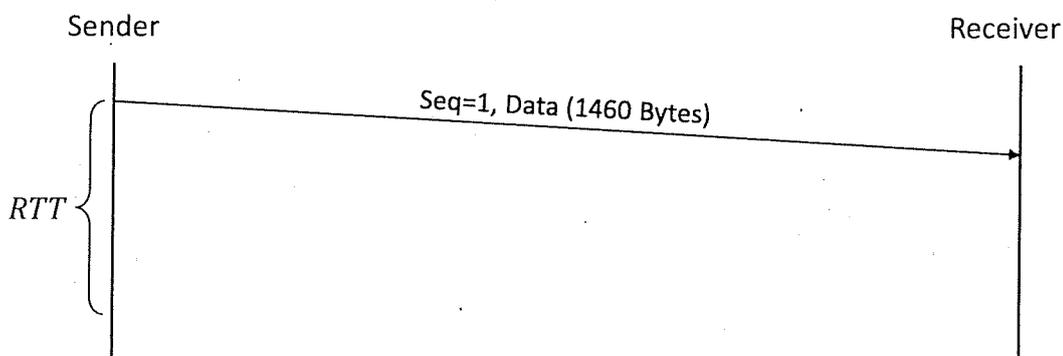
1. Wie können Sie für ihre Datenübertragung einen höheren Anteil der Linkkapazität des Engpasses erhalten als vorgesehen? Wieso ist dies möglich?
2. Zeichnen Sie einen möglichen zeitlichen Verlauf bei unfaiem Empfängerverhalten dieser Art in das Weg-Zeit-Diagramm unten ein.
3. Erklären Sie wie dies durch die Umsetzung von Appropriate Byte Counting verhindert werden kann. Warum funktioniert dieser Angriff dann nicht mehr?

You are the receiver of a large data transmission over a connection using TCP-Reno. You, as an unfair receiver, know that the sending system does not implement the TCP extension appropriate byte counting and exploit that:

1. *How can you get a higher than intended share of the bottleneck link capacity for your connection? Why is that possible?*
2. *Draw a possible chronological sequence with this kind of unfair receiver behaviour in the figure below.*
3. *Explain how this is prevented by implementing appropriate byte counting. Why does the exploit no longer work?*

Höherer Anteil der Linkkapazität des Engpasses (*higher share of the bottleneck link capacity*):

Zeitlicher Verlauf (*chronological sequence*):



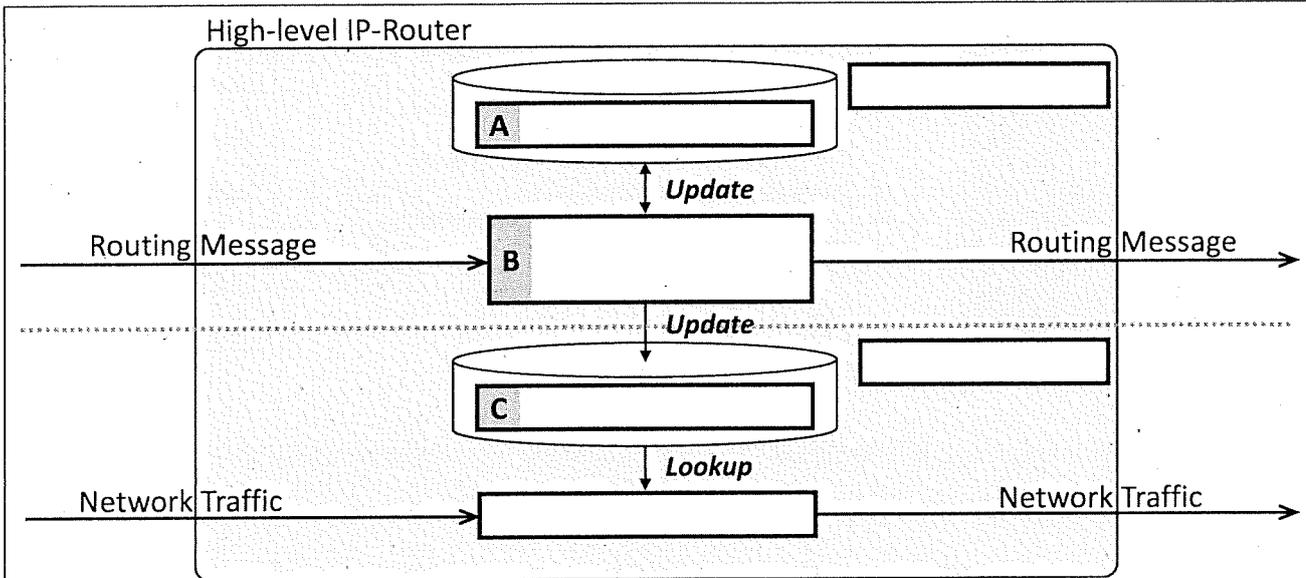
Gegenmaßnahme (*countermeasure*):

Aufgabe 5 Router Architecture (10 Punkte)

10
4

a) Die folgende Abbildung zeigt die High-Level Architektur eines IP Routers. Beschriften Sie die leeren Felder. Geben Sie in der untenstehenden Tabelle für die Komponenten A, B und C an, ob diese im Kontext von Software Defined Networking einem SDN-Controller oder Switch zuzuordnen sind.

The following figure shows a high-level architecture of an IP router. Assign labels to the empty fields. In the table below, assign the components A, B, and C to either an SDN controller or switch in the context of Software Defined Networking.



Komponente (component)	Zuordnung von A, B, und C zu SDN-Controller / Switch (assignment of A, B, and C to SDN controller / switch)
A	
B	
C	

3

b) Befüllen Sie in der nachfolgenden Abbildung die leeren Felder, sodass Longest-Prefix-Matching mit den Regeln aus Tabelle R1 in Hardware umgesetzt wird. Beschriften Sie außerdem die einzelnen Komponenten in den dafür vorgesehenen Feldern A und B. Adressen haben eine Länge von vier Bit. Welchen Vorteil bringt der Einsatz der Umsetzung in Hardware?

Fill the empty fields in the following figure, such that longest-prefix matching is implemented in hardware with the rules from table R1. Also label the individual components in the provided fields A and B. Addresses are four bits in length. What is the advantage of implementing the matching in hardware?

Prefix	Output Port
10*	4
1*	2
101*	5
0*	1
01*	3

A

1	
	3
	1

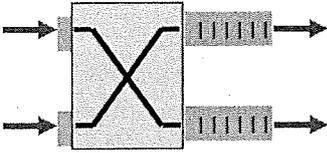
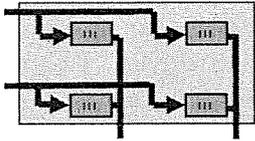
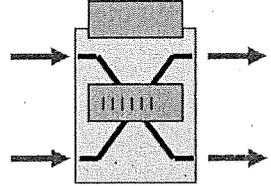
B

Vorteil der Implementierung in Hardware (*advantage of implementation in hardware*):

c) Benennen Sie die drei dargestellten Strategien der Pufferplatzierung, sowie jeweils einen Nachteil.

Name the three illustrated strategies for buffer placement, as well as one disadvantage for each of them.

3

<p>1)</p> 	<p>2)</p> 	<p>3)</p> 
<p>Name</p> <input type="text"/>	<p>Name</p> <input type="text"/>	<p>Name</p> <input type="text"/>
<p>Nachteil / disadvantage</p> <input type="text"/>	<p>Nachteil / disadvantage</p> <input type="text"/>	<p>Nachteil / disadvantage</p> <input type="text"/>

Aufgabe 6 Datacenter (10 Punkte)

10

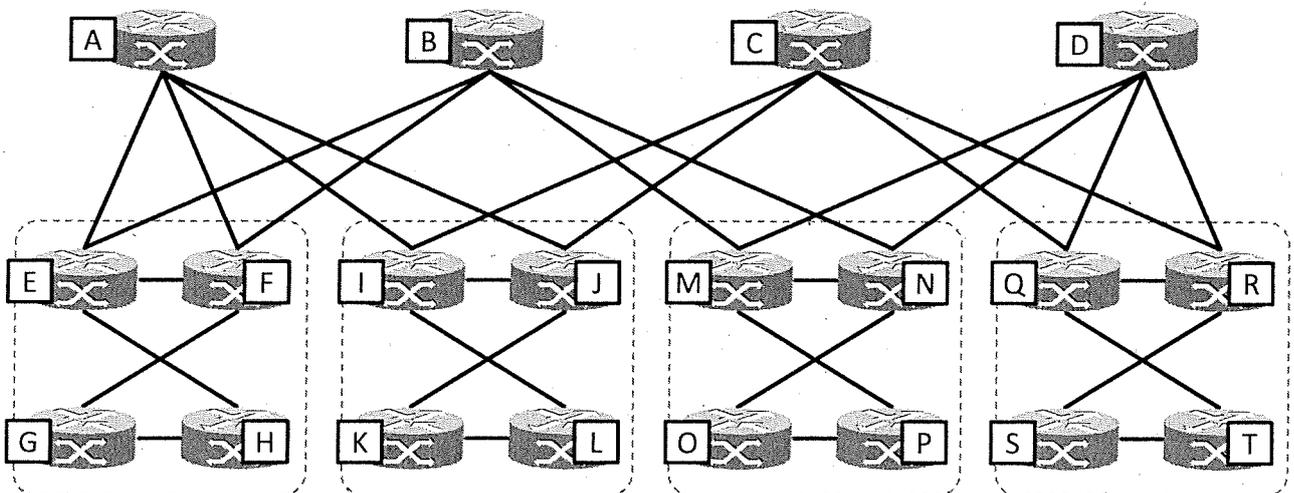
3

a) Beim Aufbau einer neuen k-Pod Fat-Tree Topologie wurden die Switches fehlerhaft verkabelt. Helfen Sie dabei die Probleme zu lösen:

1. Geben Sie für die Geräte A, E und G an um welche Art Switch es sich handelt.
2. Korrigieren Sie die Verkabelung der Switches. Tragen Sie dazu in die entsprechende Tabelle ein welche falschen Kabel Sie entfernen und welche fehlende Kabel Sie neu hinzufügen. Geben Sie dazu jeweils die beiden Geräte an den Kabelenden an. Geben Sie dabei nur solche Kabel an, an denen mindestens eines der Geräte E, F, G oder H beteiligt ist.
3. Zeichnen Sie alle Server in die Abbildung im Lösungsfeld ein, die am ersten Pod angeschlossen sein können.

While setting up a new k-pod fat-tree topology some errors were made when connecting the switches. Help correct these problems:

1. *Specify the type of switch for the devices A, E and G.*
2. *Correct the wiring of the switches by entering in the respective tables which incorrect cables you remove and which missing cables you add. To do this, specify the two devices at the ends of each cable. Specify only those cables that involve at least one of the devices E, F, G, or H.*
3. *In the figure in the solution box, add all servers that can be connected to the first pod.*



Switch-Arten (*switch types*):

A		E		G	
---	--	---	--	---	--

Korrektur der Verkabelung (*wiring corrections*):

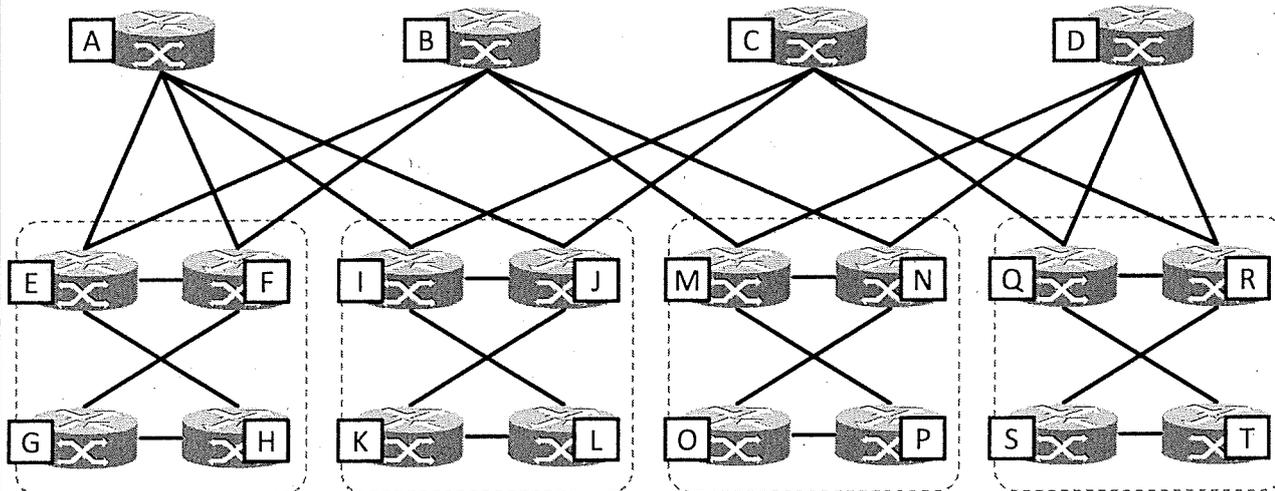
Falsche Verbindungen (*incorrect connections*):

Erstes Gerät (E-H) <i>(first device (E-H))</i>	Zweites Gerät (A-T) <i>(second device (A-T))</i>

Fehlende Verbindungen (*missing connections*):

Erstes Gerät (E-H) <i>(first device (E-H))</i>	Zweites Gerät (A-T) <i>(second device (A-T))</i>

Server im ersten Pod (*servers in the first pod*):



1 b) Sie planen eine Erweiterung ihres Datacenter von einer 4-pod Fat-Tree auf eine 6-pod Fat-Tree Topologie. Wie viele neue Switches müssen Sie bestellen? Begründen Sie Ihre Antwort.

You plan to upgrade your data-center from a 4-pod fat-tree topology to a 6-pod fat-tree topology. How many new switches do you need to order? Justify your answer.

1 c) Vor der Erweiterung vergleichen Sie die Länge der kürzesten Pfade in der bestehenden 4-pod und der geplanten 6-pod Fat-Tree Topologie: Wie viele Switches liegen jeweils auf dem kürzesten Pfad zwischen zwei an unterschiedlichen Pods angeschlossenen Servern? Wie viele solcher kürzesten Pfade existieren zwischen zwei solcher Server in einer k-pod Fat-Tree Topologie?

Before the upgrade you compare the length of the shortest paths in the existing 4-pod and the planned 6-pod fat-tree topology. How many switches are on the shortest path between two servers connected to different pods in each topology? How many different shortest paths between two such servers exist in k-pod fat-tree topology?

Anzahl Switches auf kürzestem Weg (*number of switches on shortest path*):

Anzahl unterschiedlicher kürzester Pfade (*number of different shortest paths*):

1 d) Was bedeuten die Begriffe North-South-Traffic und East-West-Traffic?

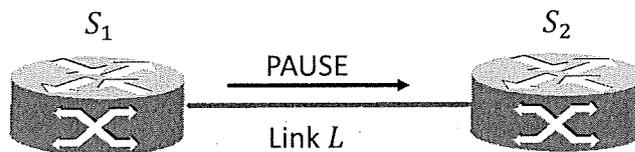
What do the terms North-South-Traffic and East-West-Traffic mean?

North-South-Traffic:

East-West-Traffic:

e) Switch S_1 und Switch S_2 sind über einen Vollduplex-Ethernet-Link verbunden. Switch S_1 versendet nun einen PAUSE-Rahmen an S_2 um Paketverluste zu vermeiden. Beschreiben Sie die Reaktion von Switch S_2 . Welchen Nachteil hat dieser Ansatz gegenüber der Ethernet-Erweiterung priority-based flow-control? Welche zusätzliche Funktionalität bietet diese Erweiterung? In welchem Paketkopf werden die für diese Erweiterung notwendigen Informationen übertragen?

Switch S_1 and Switch S_2 are connected by a full-duplex Ethernet-Link. Switch S_1 sends a PAUSE frame to switch S_2 to avoid packet losses. Describe the reaction of switch S_2 . Which disadvantage does this approach have compared to the Ethernet extension priority-based flow-control? What additional functionality does the extension offer? In which header is the information for this extension transmitted?



Reaktion von S_2 (reaction of S_2):

Nachteil des PAUSE-Rahmens (disadvantage of the PAUSE frame):

Zusätzliche Funktionalität von Priority-based flow-control (additional functionality of priority-based flow-control):

Header:

2 f) Zur Sicherstellung der Performanz wichtiger Anwendungen kommt auf dem 10 Gbit/s Link L von S_1 nach S_2 , aus Aufgabenteil e), Enhanced Transmission Selection mit den Prioritätsgruppen PG1 bis PG3 zum Einsatz. S_1 empfängt die unten aufgeführten Datenraten zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 . Zur Weiterleitung werden die ebenfalls aufgeführten Reservierungen herangezogen. Welche Datenraten können für PG1 bis PG3 an t_1 und t_2 maximal erzielt werden?

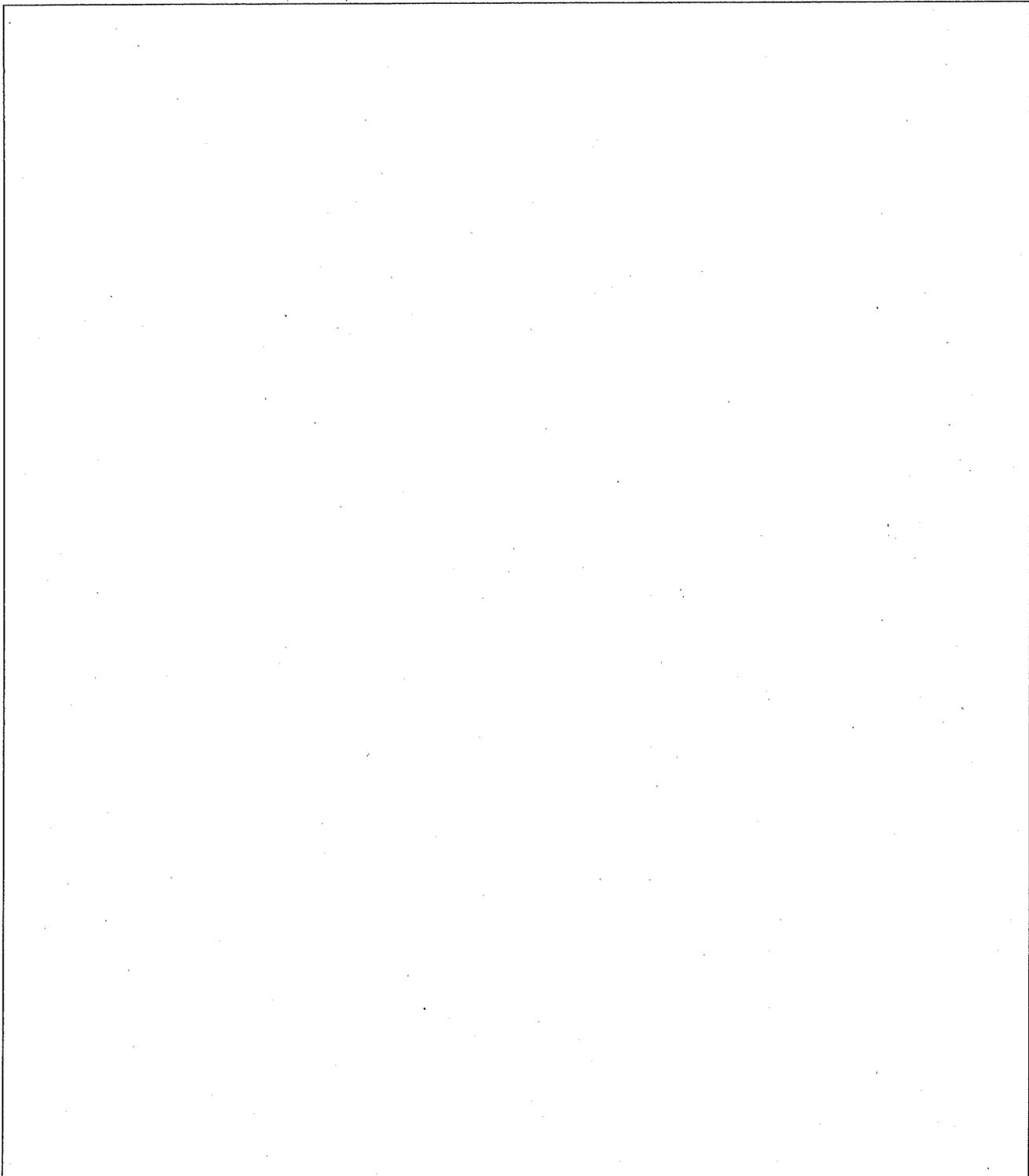
To ensure the performance of important applications Enhanced Transmission Selection is employed on the 10 Gbit/s link L between S_1 and S_2 , in subproblem e), with the priority groups PG1 to PG3. S_1 receives the data rates listed below for PG1 to PG3 at time index t_1 and t_2 . Forwarding over L uses the specified reservations. What is the maximum data rate that can be achieved on the link L for PG1 to PG3 at t_1 and t_2 ?

Prioritätsgruppe (priority group)	An S_1 empfangene Datenrate (data rate received by S_1)		Reservierte Datenrate (reserved data rate)
	t_1	t_2	
PG1	3 Gbit/s	3 Gbit/s	4 Gbit/s
PG2	4 Gbit/s	6 Gbit/s	5 Gbit/s
PG3	7 Gbit/s	1 Gbit/s	1 Gbit/s

Zeitpunkt (time index): t_1		Zeitpunkt (time index): t_2	
Prioritätsgruppe (priority group)	Max. erreichbare Datenrate (max. achieved data rate)	Prioritätsgruppe (priority group)	Max. erreichbare Datenrate (max. achieved data rate)
PG1		PG1	
PG2		PG2	
PG3		PG3	

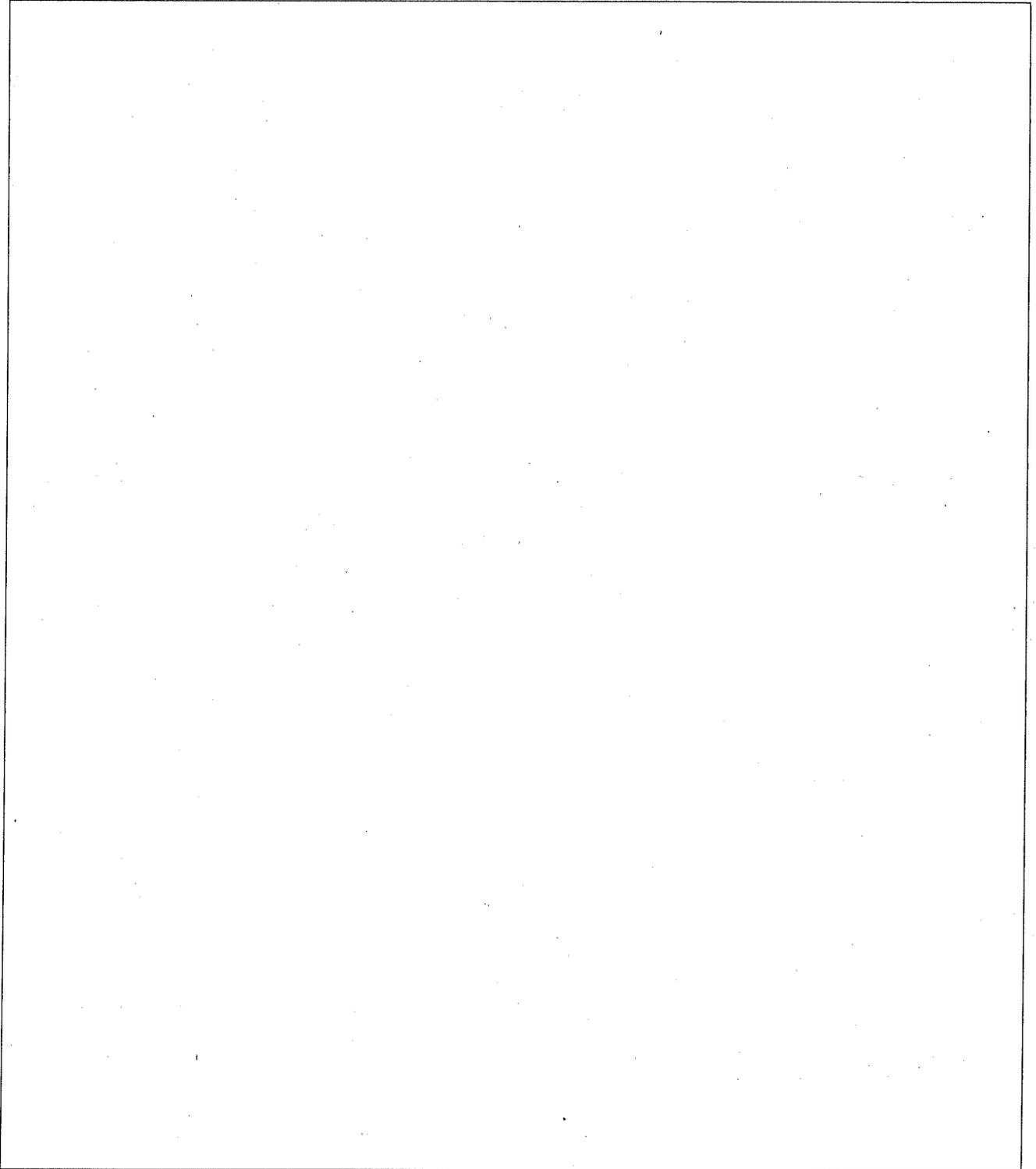
Zusätzlicher Platz für Lösungen – bitte markieren Sie deutlich die Zugehörigkeit zur jeweiligen Aufgabe und streichen Sie ungültige Lösungen! Bitte kennzeichnen Sie in den Lösungsfeldern der jeweiligen Aufgabe, dass Sie den Platz hier in Anspruch nehmen.

Additional space for solutions – please denote clearly, which task these solutions belong to and cross out invalid answers! Also, indicate that you are using this space inside the solution field of the respective problem section.



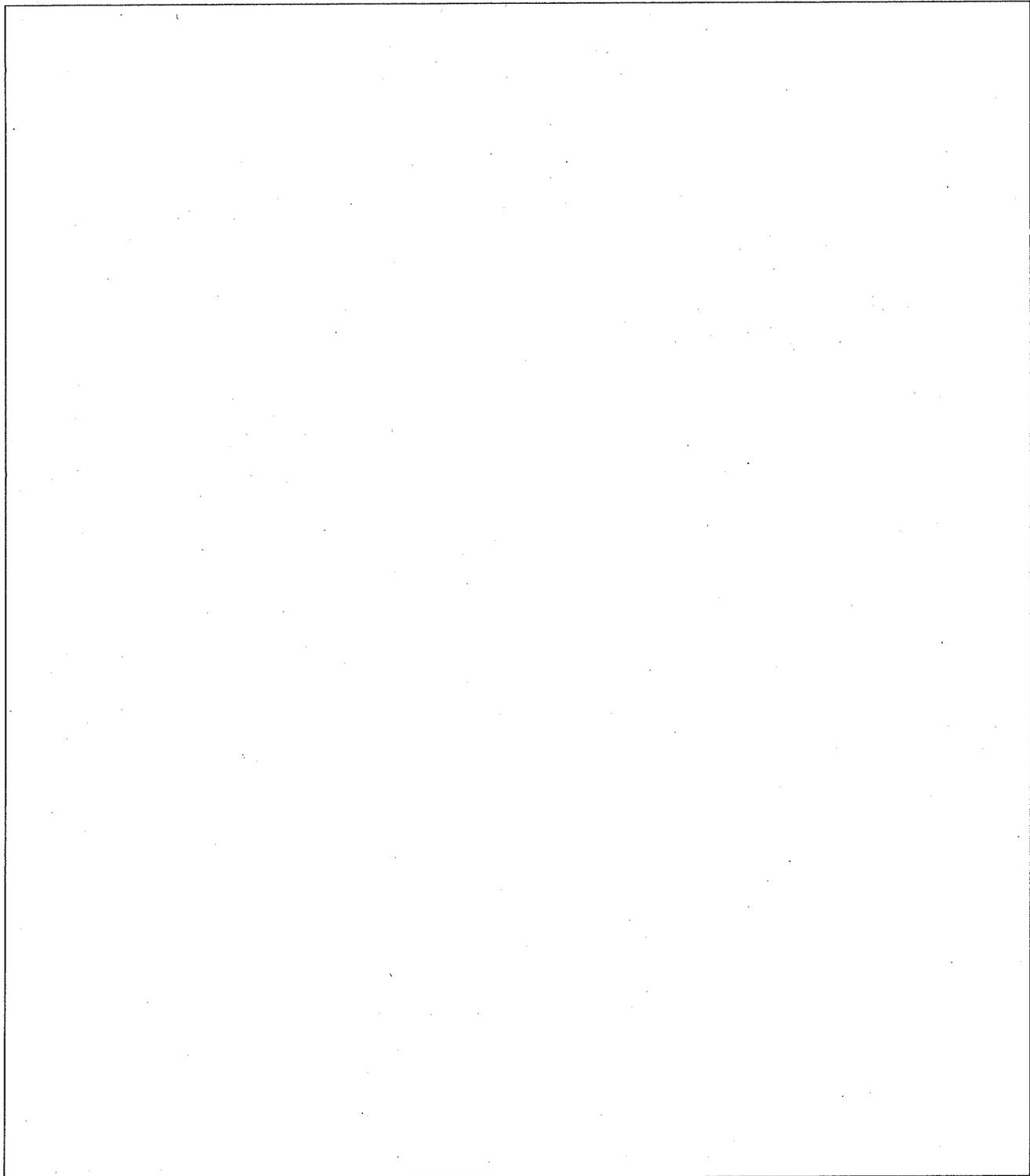
Zusätzlicher Platz für Lösungen – bitte markieren Sie deutlich die Zugehörigkeit zur jeweiligen Aufgabe und streichen Sie ungültige Lösungen! Bitte kennzeichnen Sie in den Lösungsfeldern der jeweiligen Aufgabe, dass Sie den Platz hier in Anspruch nehmen.

Additional space for solutions – please denote clearly, which task these solutions belong to and cross out invalid answers! Also, indicate that you are using this space inside the solution field of the respective problem section.



Zusätzlicher Platz für Lösungen – bitte markieren Sie deutlich die Zugehörigkeit zur jeweiligen Aufgabe und streichen Sie ungültige Lösungen! Bitte kennzeichnen Sie in den Lösungsfeldern der jeweiligen Aufgabe, dass Sie den Platz hier in Anspruch nehmen.

Additional space for solutions – please denote clearly, which task these solutions belong to and cross out invalid answers! Also, indicate that you are using this space inside the solution field of the respective problem section.



Klausur - Musterlösung Telematik

Prof. Dr. Martina Zitterbart.
Institut für Telematik
KIT-Fakultät für Informatik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Dienstag, 01.08.2023

- Diese Klausur umfasst **22 Seiten** und insgesamt **6 Aufgaben**. Bitte kontrollieren Sie jetzt, ob Sie eine vollständige Ausgabe erhalten haben.
- Sie dürfen Ihre Antworten in Deutsch oder Englisch formulieren. Der Wechsel der Sprache innerhalb einer Teilaufgabe ist nicht erlaubt.
- Schreiben Sie mit blauer oder schwarzer Farbe und mit einem permanenten Stift.
- Beachten Sie, dass die vorgegebenen Antwortfelder großzügig dimensioniert sind. In vorgedruckten Tabellen müssen nicht unbedingt alle freien Einträge für eine korrekte Lösung genutzt werden.
- **Es werden nur solche Ergebnisse gewertet, bei denen ein Lösungsweg eindeutig erkennbar ist.** Antworten sind **grundsätzlich zu begründen**, falls es in der jeweiligen Teilaufgabe nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.
- Wenn Sie Ergebnisse aus einer Teilaufgabe in eine andere Teilaufgabe übernehmen, machen Sie dies bitte kenntlich.
- Insgesamt sind **60 Punkte** zu erreichen.

- *This exam consists of 22 pages and a total of 6 tasks. Please check now if you have received a complete edition.*
- *You may provide your answers in German or English. Changing the language within a subtask is not allowed.*
- *Write in black or blue color and use a permanent pen.*
- *Note that the provided answer fields are generously dimensioned. In preprinted tables not all free entries have to be used for a correct solution.*
- *Only those results are evaluated in which the solution path is clearly recognizable. Answers have to be justified in principle unless explicitly stated otherwise in the respective subtask.*
- *If you transfer results from one subtask to another subtask, please indicate this.*
- *A total of 60 points can be achieved.*

A1	A2	A3	A4	A5	A6	Σ
10	10	10	10	10	10	60

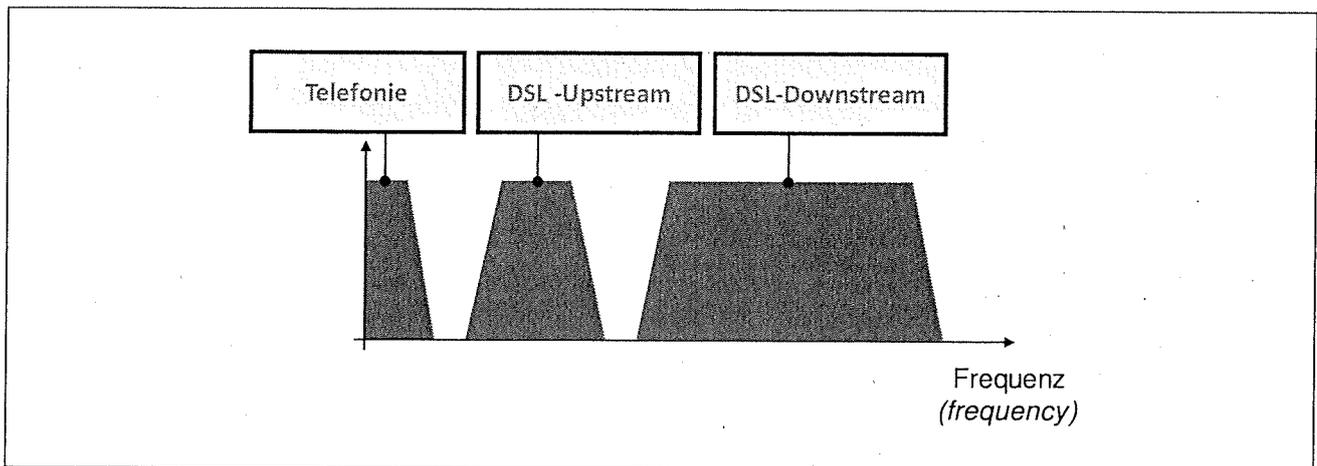
Aufgabe 1 Allgemein (10 Punkte)

10

a) Kennzeichnen Sie die Bereiche für DSL-Upstream, DSL-Downstream und Telefonie im dargestellten Frequenzspektrum eines DSL-Zugangs.

1

Mark the areas for DSL upstream, DSL downstream and telephony in the depicted frequency spectrum of a DSL access.



b) Erklären Sie kurz die in der Tabelle angegebenen Begriffe im Kontext autonomer Systeme.

1

Briefly explain the terms in the table in the context of autonomous systems.

Begriff	Bedeutung
Transit AS	Autonomes System das den Austausch von Transit-Verkehr ermöglicht
Stub AS	Autonomes System das nur mit einem einzelnen Upstream AS verbunden ist

c) Welche Informationen müssen in einer BGP-Routingtabelle zu jedem Präfix gespeichert werden?

1

Which information must be stored in a BGP routing table for each prefix?

- Next Hop
- AS-Path
- Präfix-Länge (optional)

2

d) Welche Weiterleitungsinformationen müssen Switching Devices in einer Label Switching Domäne für jeden Label-Switching-Pfad in der Label Forwarding Information Base speichern? Was muss bei der Wahl der Label für einen Label-Switching-Pfad berücksichtigt werden? Wo im Paket werden Labels üblicherweise übertragen?

What forwarding information do switching devices in a label switching domain need to store in their label forwarding information base for each label switching path? What needs to be considered when choosing labels for a label switching path? Where in the packet are labels usually transmitted?

Weiterleitungsinformationen:

Label In, Label Out, Interface Out [Optional: Interface In, Next Hop]

Berücksichtigungen bei der Label-Wahl: Input-Labels müssen lokal eindeutig sein an jedem Switch
Stelle im Paket: Zusätzlicher Header zwischen Layer 2 und Layer 3

2

e) Das Spanning Tree Protokoll verwendet sogenannte Root-Interfaces und Designated Bridges. Wie erfolgt die Auswahl des Root-Interfaces für eine Bridge bzw. der Designated Bridge für ein LAN?

The Spanning Tree Protocol uses so-called root interfaces and designated bridges. State how the root interface for a bridge and the designated bridge of a LAN are selected.

Auswahl des Root Interfaces:

Die Schnittstelle einer Bridge mit den geringsten Pfadkosten zur Root Bridge .

Auswahl der Designated Bridge:

Die Bridge eines LANs mit den geringsten Pfadkosten am Root Interface .

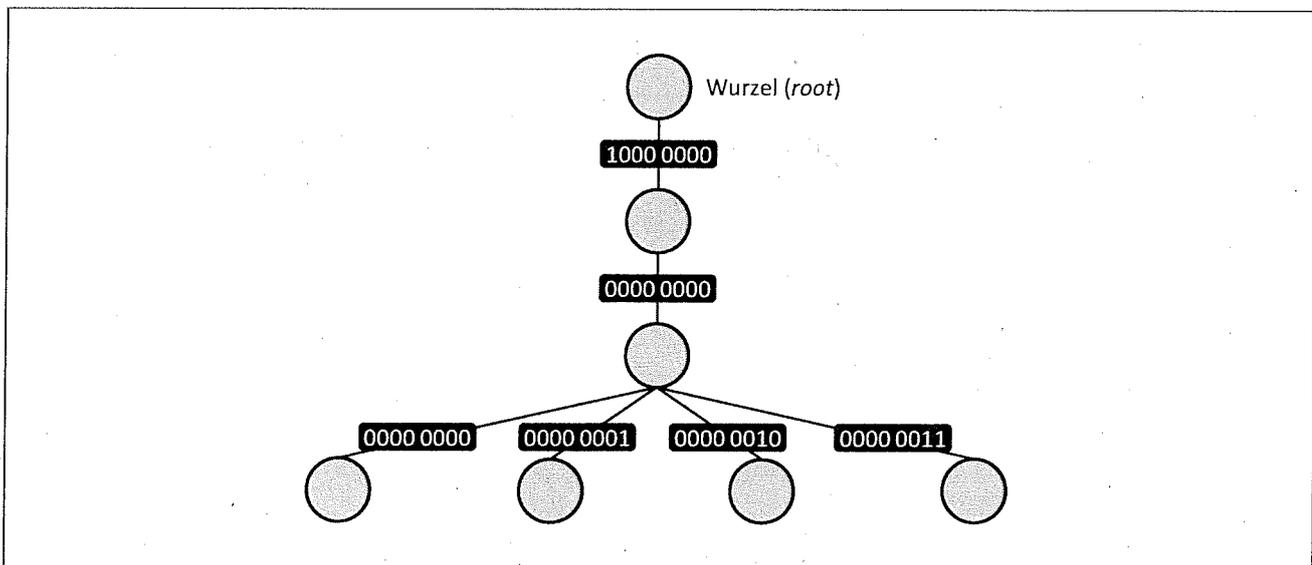
f) Wie viel Zeit steht einem Router maximal zur Verfügung, um ein Paket der Länge 250 Byte in Line Speed bei einer Datenrate von 10 Gbit/s weiterzuleiten?

How much time does a router have at most to forward a packet of length 250 bytes in line speed at a data rate of 10 Gbit/s?

$$t_s = \frac{250 \text{ byte} \cdot 8 \text{ bit/byte}}{10^{10} \text{ bit/s}} = \frac{2 \cdot 10^3 \text{ bit}}{10^{10} \text{ bit/s}} = 200 \text{ ns}$$

g) Das Präfix 128.0.0.0/22 wird in einen leeren Multibit Trie mit Stride $k = 8$ eingefügt. Prefix Expansion wird angewendet. Zeichnen Sie den daraus resultierenden Trie und beschriften Sie die Kanten mit den entsprechenden Bits des Präfix.

The prefix 128.0.0.0/22 is inserted into an empty multibit trie with stride $k = 8$. Prefix expansion is used. Draw the resulting trie and label the edges with the corresponding bits of the prefix.



h) Füllen Sie den untenstehenden HTTP/3-Protokollstack aus. Markieren Sie in welchem Protokoll immer eine Verschlüsselung stattfindet.

1

Fill in the HTTP/3 protocol stack below. Mark the protocol in which data is always encrypted.

Protokoll (protocol)	
HTTP	
QUIC	← Encryption
UDP	
IP	

Aufgabe 2 OSPF (10 Punkte)

10

a) Ist OSPF ein *Interior Gateway Protokoll* oder ein *Exterior Gateway Protokoll*? Welcher Algorithmus wird bei OSPF für die Berechnung kürzester Pfade verwendet?

1

Is OSPF an Interior Gateway Protocol or an Exterior Gateway Protocol? Which algorithm is used for calculating the shortest paths in OSPF?

OSPF ist ein Interior Gateway Protokoll
Dijkstras Algorithmus wird für die Berechnung kürzester Pfade verwendet.

b) Erklären Sie die Aufgaben des *Hello Protokolls* in OSPF.

1

Explain the tasks of the Hello Protocol in OSPF.

Aufbau der Nachbarschaftsbeziehungen (adjancencies) zwischen OSPF-Routern
Aufrechterhaltung der Nachbarschaftsbeziehungen durch Keep Alives.

c) Was ist der Zweck der Unterteilung eines Netzes in verschiedene OSPF Areas. Begründen Sie ihre Antwort.

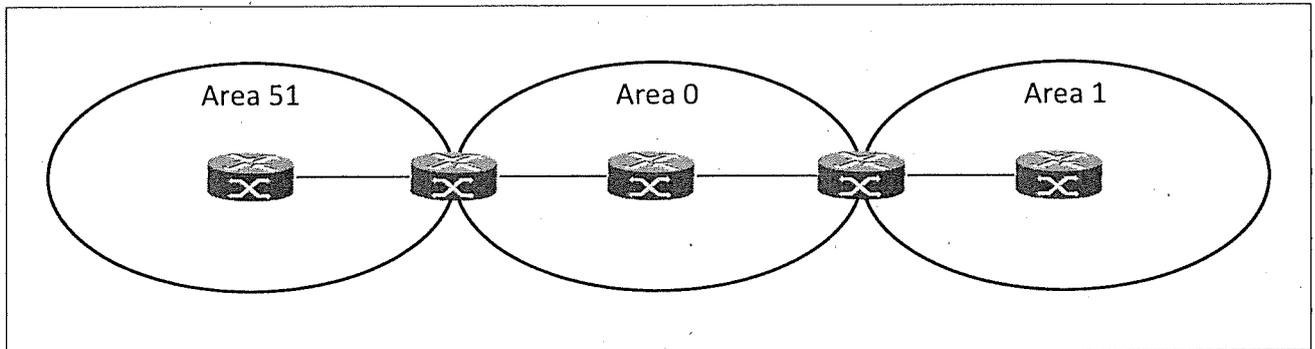
1

What is the purpose of dividing a network into different OSPF areas? Justify your answer.

Skalierbarkeit , da Router-LSAs nur innerhalb einer Area geflutet werden müssen .

2 d) Skizzieren Sie ein Autonomes System (AS), das OSPF nutzt und in dem genau drei Areas existieren. Nummerieren Sie die verschiedenen Areas gemäß OSPF. Es gibt ausschließlich physische Links. Von welchen Areas ist ein Anschluss an andere ASs möglich?

Draw an Autonomous System (AS) that uses OSPF and that has exactly three areas. Number the different areas according to OSPF. There are only physical links. From which areas is it possible to connect to other ASs?



1 e) Wofür wird bei OSPF ein Designated Router (DR) eingesetzt? Es existiert ein LSA-Typ, der ausschließlich vom DR gesendet wird. Was ist der Inhalt der LSAs diesen Typs?

For what purpose is a Designated Router (DR) used in OSPF? There is an LSA type that is sent exclusively by the DR. What is the content of the LSAs of this type?

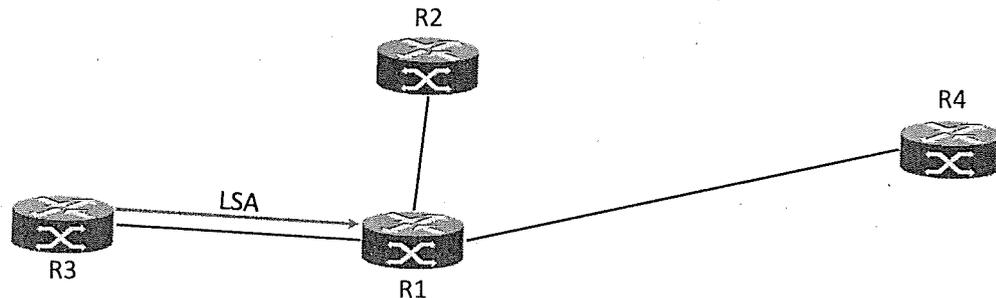
Skalierbarkeit. Adjacencies werden nur zwischen Routern und dem Designated Router gebildet (im Gegensatz zu Vollvermaschung). Spart Kommunikation, da LSAs nur zum DR gesendet und vom DR empfangen werden.

Das Network-LSA (Typ 2) wird ausschließlich vom Designated Router gesendet und es beinhaltet alle am NBMA/Broadcast Netz beteiligten Router.

f) Router R3 sendet ein Link-State Advertisement (LSA) an Router R1, wie in der nachfolgenden Abbildung angedeutet. Welche Protokolle der Schicht 3 und darüber werden für die Übertragung des LSAs verwendet? Was ist die Zieladresse des LSAs? Von welchen Routern in der Abbildung wird das LSA empfangen, wenn das abgebildete Szenario fortgeführt wird? Von welchen Routern in der Abbildung wird der Empfang des LSAs bestätigt? An wen wird die Bestätigung (ACK) gesendet?

3

Router R3 sends a link-state advertisement (LSA) to router R1, as indicated in the following figure. Which protocols of layer 3 and above are used for the transmission of the LSA? What is the destination address of the LSA? Which routers in the figure receive the LSA, if the illustrated scenario is continued? Which routers in the figure acknowledge the receipt of the LSA? To whom is the acknowledge (ACK) sent?



Protokolle der Schicht 3 und darüber für Übertragung des LSAs
(protocols of layer 3 and above for transmission of LSA):
OSPF-Protokoll und IP

Zieladresse (destination address):
"All OSPF-Routers"

Router, die LSA empfangen:
R1, R2, R4, wenn R1 LSA speichert, sonst nur R1.

Router die LSA ACK senden und an wen:
Router, die LSA speichern, bestätigen an Previous Hop.

g) Welche Link-State-Advertisements werden in einem Autonomen System mit nur einer einzigen Area nicht benötigt? Begründen Sie ihre Antwort.

1

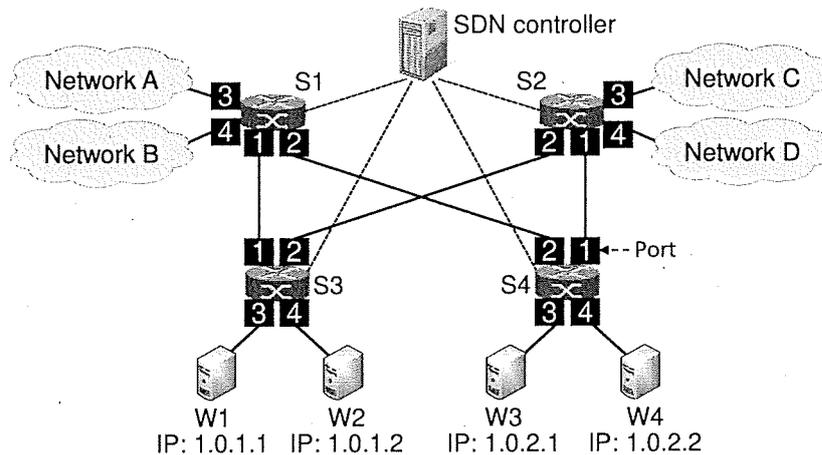
Which link-state advertisements are not needed in an autonomous system with only one area? Justify your answer.

Summary-LSAs, da diese ausschließlich für das Berechnen von Inter-Area Routen benötigt werden.

Aufgabe 3 Software Defined Networking (10 Punkte)

Im abgebildeten SDN-Netz mit den vier Switches S1 bis S4 sollen Anfragen aus den Netzen A bis D gleichmäßig auf die Webserver W1 bis W4 verteilt werden. Hierzu soll eine SDN-App programmiert werden, um die Weiterleitung von einem SDN-Controller steuern zu lassen.

In the depicted SDN network with the four switches S1 to S4, requests from networks A to D should be evenly distributed to the web servers W1 to W4. For this, an SDN app is to be programmed to control the forwarding by an SDN controller.



a) Geben Sie zunächst alle Einträge der abgebildeten Flowtables an, die von der folgenden onConnect-Methode erzeugt werden, nachdem die Switches S1 bis S4 sich mit dem Controller verbunden haben.

First, enter all entries of the depicted flow tables that are generated by the following onConnect method after the switches S1 to S4 have connected to the controller.

```
import S1, S2, S3, S4; // Switch references
getIp(switch, port) {
    // Returns the IP address of the server
    // connected to the switch and port
    if (switch == S3 and port == 3)
        return '1.0.1.1';
    if (switch == S3 and port == 4)
        return '1.0.1.2';
    if (switch == S4 and port == 3)
        return '1.0.2.1';
    if (switch == S4 and port == 4)
        return '1.0.2.2';
}
// Continued right ...
```

```
onConnect(switch) {
    r1 = Rule();
    r1.PRIORITY(0);
    r1.ACTION('DROP');
    r1.MATCH('*');
    send_rule(r1, switch);

    for port in (3, 4) { // Iterate over 3 and 4
        r2 = Rule();
        r2.PRIORITY(1);
        if (switch == S1 or switch == S2) {
            r2.MATCH('INPORT', port);
            r2.ACTION('CONTROLLER');
        }
        if (switch == S3 or switch == S4) {
            r2.MATCH('IP_DST', getIp(switch, port));
            r2.ACTION('OUTPUT', port);
        }
        send_rule(r2, switch);
    }
}
```

Flowtable von S1 (*flow table of S1*)

Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)
1	INPORT = 3	CONTROLLER
1	INPORT = 4	CONTROLLER
0	*	DROP

Flowtable von S2 (*flow table of S2*)

Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)
1	INPORT = 3	CONTROLLER
1	INPORT = 4	CONTROLLER
0	*	DROP

Flowtable von S3 (*flow table of S3*)

Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)
1	IP_DST = 1.0.1.1	OUTPUT 3
1	IP_DST = 1.0.1.2	OUTPUT 4
0	*	DROP

Flowtable von S4 (*flow table of S4*)

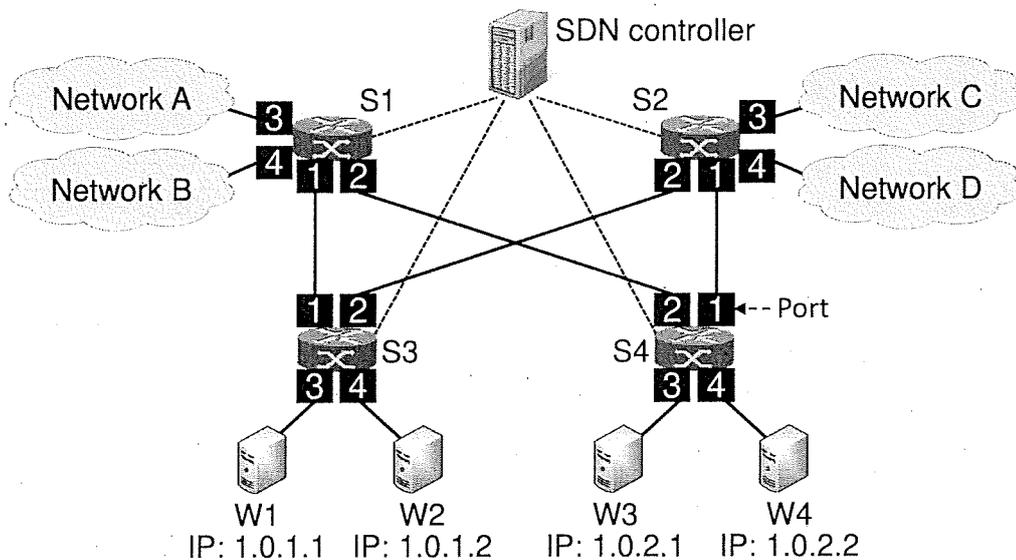
Priorität (<i>priority</i>)	Match-Felder (<i>match fields</i>)	Aktion (<i>action</i>)
1	IP_DST = 1.0.2.1	OUTPUT 3
1	IP_DST = 1.0.2.2	OUTPUT 4
0	*	DROP

b) Vervollständigen Sie die angegebene `onPacketIn`-Methode der SDN-App, um *bidirektionale* Kommunikation mit den Webservern zu ermöglichen. Zur Lastverteilung soll die App die Methode `getOutputPort` nutzen. Diese entscheidet anhand der IP-Quelladresse über welche Ports S1 und S2 IP-Datagramme weiterleiten. Beachten Sie dabei Folgendes:

1. Alle proaktiven Flowtable-Einträge der Switches S1 bis S4 wurden bereits von der `onConnect`-Methode aus Teilaufgabe a) programmiert.
2. Anfragen werden stets aus Netz A bis D initiiert, nie von den Webservern.
3. Vermeiden Sie Paketverluste.

Complete the provided `onPacketIn` method of the SDN app to enable bidirectional communication with the web servers. The app should use the `getOutputPort` method for load balancing. Based on the IP source address, this method decides via which ports S1 and S2 forward IP datagrams. Take note of the following:

1. All proactive flow table entries of switches S1 to S4 have already been programmed by the `onConnect` method from subtask a).
2. Requests are always initiated from network A through D, never from the web servers.
3. Avoid packet loss.



Wiederholung (*repetition*)

```
import S1, S2, S3, S4; // Switch references
import getOutputPort;
onPacketIn(packet, switch, inport) {
    // Determine output port for S1 and S2
    output = getOutputPort(packet.IP_SRC);
    // Forward to the next switch
    r1 = Rule();
    r1.PRIORITY( 2 );
    r1.MATCH( 'IP_SRC', packet.IP_SRC );
    r1.ACTION( 'OUTPUT', output );
    send_rule(r1, switch );
    // Forwarding rule for reverse direction
    r2 = Rule();
    r2.PRIORITY( 2 );
    r2.MATCH( 'IP_DST', packet.IP_SRC );
    r2.ACTION( 'OUTPUT', inport );
    send_rule(r2, switch );
    // Forwarding rule for remote switch (reverse direction)
    r3 = Rule();
    r3.PRIORITY( 2 );
    r3.MATCH( 'IP_DST', packet.IP_SRC );
    r3.ACTION( 'OUTPUT', output );
    if (switch == S1 and output == 1)
        send_rule(r3, S3 );
    if (switch == S1 and output == 2)
        send_rule(r3, S4 );
    if (switch == S2 and output == 1)
        send_rule(r3, S4 );
    if (switch == S2 and output == 2)
        send_rule(r3, S3 );
    send_packet(packet, switch) ;
}
```

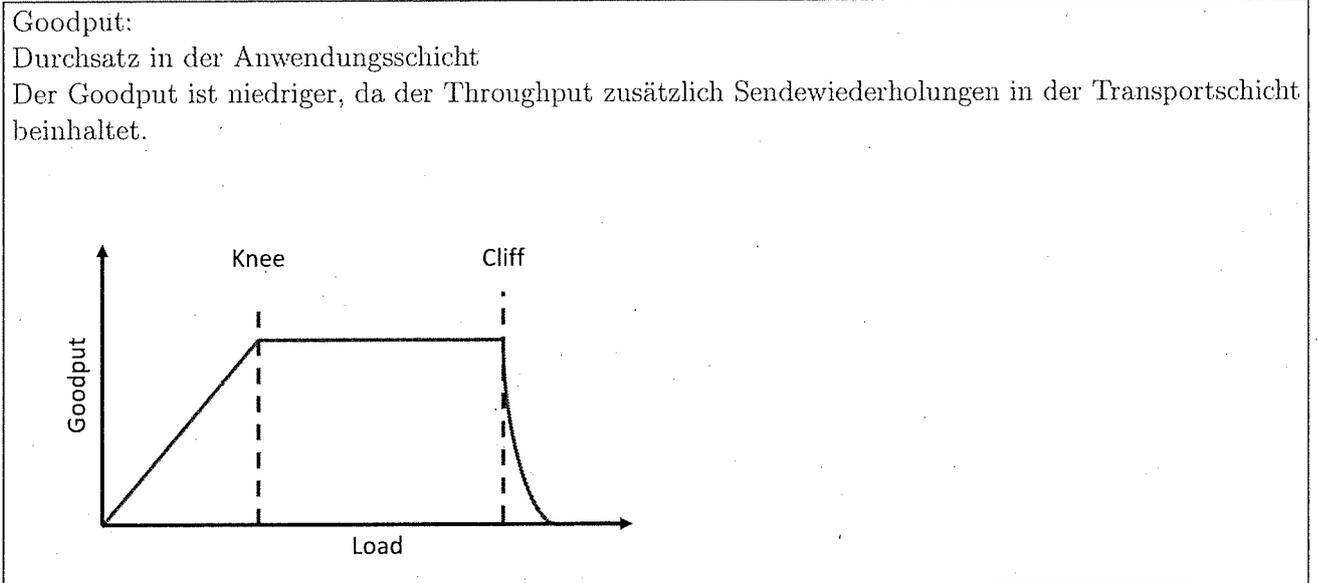
Aufgabe 4 TCP Staukontrolle (10 Punkte)

10

2

a) Was versteht man unter dem Begriff Goodput im Kontext der TCP-Staukontrolle? Ist der Goodput höher oder niedriger als der Throughput? Weshalb? Beschriften Sie die freien Felder in der Grafik.

What is meant by the term goodput in the context of TCP congestion control? Is the goodput higher or lower than the throughput? Why? Fill in the empty boxes in the figure.



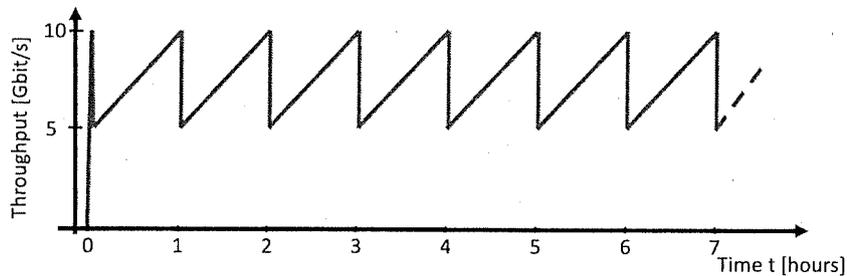
b) In der nachfolgenden Grafik ist der Throughput eines langlebigen TCP-Flows über einen Link mit hohem Bandbreiten-Verzögerungs-Produkt dargestellt.

2

1. Welches, der in der Vorlesung vorgestellten Staukontrollverfahren kommt hier zum Einsatz? Begründen Sie ihre Entscheidung kurz.
2. Wie groß ist die durchschnittliche Datenrate, die am Engpass unbenutzt bleibt?
3. Zeichnen Sie in die Abbildung im Lösungsfeld, ab $t = 0$, ein, wie sich die Datenrate entwickelt, wenn jeweils nach 15 Minuten ein Paketverlust auftritt. Achten Sie auf die veränderte x-Achse. In grau ist die Datenrate aus der vorangegangenen Abbildung erneut eingezeichnet.

The figure below shows the throughput of a long-living TCP connection over a link with a high bandwidth-delay-product.

1. Which of the congestion control algorithms presented in the lecture is used? Justify your answer briefly.
2. How much of the bottleneck data rate remains unused on average?
3. Draw the development of the data rate, if a packet loss occurs after every 15 minutes, in the figure in the solution box starting at $t = 0$. Pay attention to the changed x-axis. In grey the data rate from the previous figure is plotted again.



TCP-Reno: Congestion-Avoidance-Phasen und kein Reset auf Slow Start
 Die durchschnittliche freie Bottleneck-Datenrate beträgt 2.5 Gbit/s.

c) TCP-CUBIC verwendet die folgende kubische Funktion zur Berechnung des aktuellen Staukontrollfensters:

$$W(t) = C(t - K)^3 + W_{max} \quad \text{with} \quad K = \sqrt[3]{\frac{W_{max}(1 - \beta)}{C}} \quad \text{and} \quad \beta = 0.7$$

1. Erläutern Sie die Parameter t und W_{max} .
2. Zeichnen Sie die Entwicklung des Staukontrollfensters nach dem Empfang eines Stausignals bei t_0 bis das Staukontrollfenster 13 MSS erreicht in die Grafik ein. Gehen Sie davon aus, dass keine weiteren Stausignale empfangen werden.
3. Erklären Sie die Funktionsweise der TCP-friendly Region von TCP-CUBIC. Was wird dadurch erreicht?

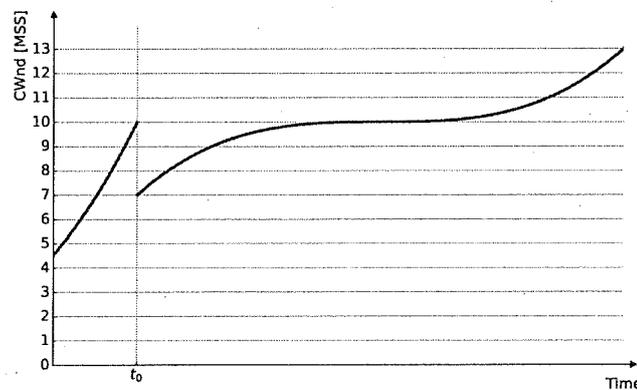
TCP-CUBIC uses the following cubic function to calculate the current congestion window.

$$W(t) = C(t - K)^3 + W_{max} \quad \text{with} \quad K = \sqrt[3]{\frac{W_{max}(1 - \beta)}{C}} \quad \text{and} \quad \beta = 0.7$$

1. *Explain the parameters t and W_{max} .*
2. *Draw the development of the congestion window after the reception of a congestion signal (at t_0) until the congestion window reaches 13 MSS, in the figure. Assume that no further congestion signals are received.*
3. *Explain how the TCP-friendly region of TCP-CUBIC works. What does it achieve?*

Parameter t : Zeit seit dem letzten Stausignal

Parameter W_{max} : Staukontrollfenstergröße als das letzte Stausignal empfangen wurde.



TCP-friendly region:

TCP-CUBIC schätzt das Staukontrollfenster, wenn TCP-Reno verwendet wurde und benutzt die geschätzte Staukontrollfenstergröße, falls diese größer ist. Dadurch erreicht TCP-CUBIC mindestens die gleiche Performanz wie TCP-Reno.

d) Sie sind Empfänger einer größeren Datenübertragung. Die Verbindung nutzt TCP-Reno. Sie, als unfairer Empfänger, wissen, dass das sendende System die TCP-Erweiterung Appropriate Byte Counting nicht implementiert und nutzen dies aus:

3

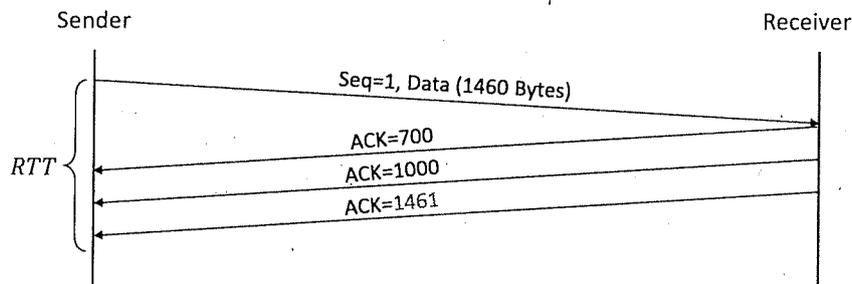
1. Wie können Sie für ihre Datenübertragung einen höheren Anteil der Linkkapazität des Engpasses erhalten als vorgesehen? Wieso ist dies möglich?
2. Zeichnen Sie einen möglichen zeitlichen Verlauf bei unfaiem Empfängerverhalten dieser Art in das Weg-Zeit-Diagramm unten ein.
3. Erklären Sie wie dies durch die Umsetzung von Appropriate Byte Counting verhindert werden kann. Warum funktioniert dieser Angriff dann nicht mehr?

You are the receiver of a large data transmission over a connection using TCP-Reno. You, as an unfair receiver, know that the sending system does not implement the TCP extension appropriate byte counting and exploit that:

1. *How can you get a higher than intended share of the bottleneck link capacity for your connection? Why is that possible?*
2. *Draw a possible chronological sequence with this kind of unfair receiver behaviour in the figure below.*
3. *Explain how this is prevented by implementing appropriate byte counting. Why does the exploit no longer work?*

1. Inkonsistenz in der TCP-Spezifikation (sequence number counts bytes vs. CWnd counts segments)
Bestätigung (acknowledgement) eines einzelnen TCP-Segments in mehreren Teilen öffnet das Staukontrollfenster des Senders schneller.

2. Abbildung:



3. Gegenmaßnahme:

Der Sender verwendet die tatsächlich neu bestätigten Bytes, um die Erhöhung des Staukontrollfensters zu berechnen. Eine einzelnes ACK für das gesamte Segment und mehrere ACKs für dasselbe Segment erhöhen CWnd um denselben Betrag.

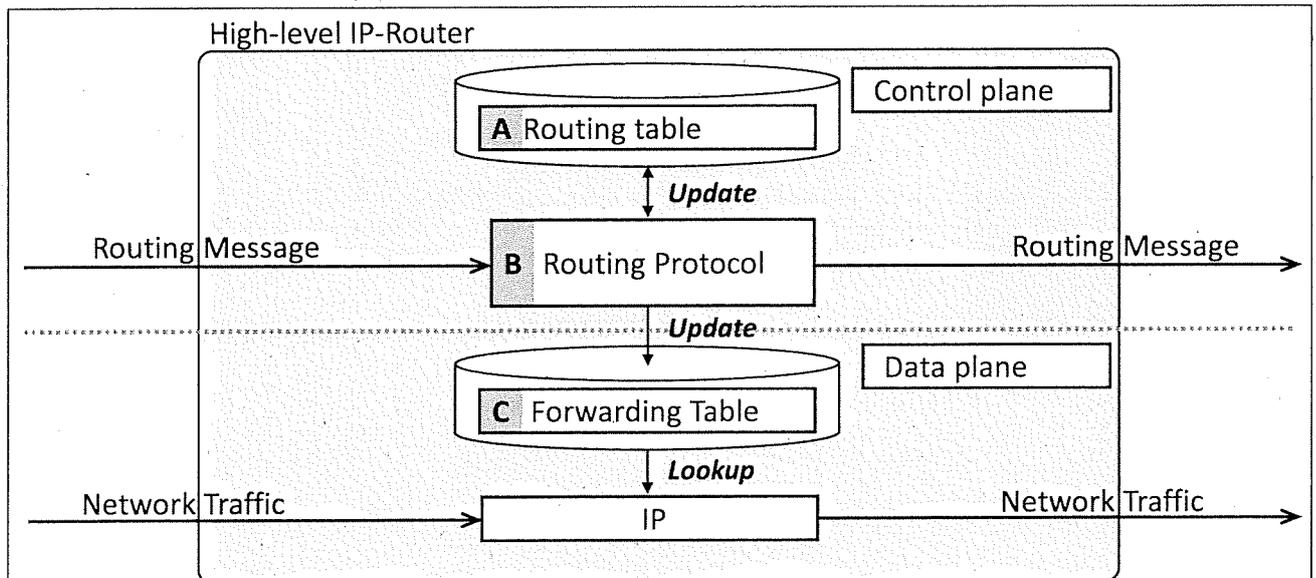
Aufgabe 5 Router Architecture (10 Punkte)

10

- a) Die folgende Abbildung zeigt die High-Level Architektur eines IP Routers. Beschriften Sie die leeren Felder. Geben Sie in der untenstehenden Tabelle für die Komponenten A, B und C an, ob diese im Kontext von Software Defined Networking einem SDN-Controller oder Switch zuzuordnen sind.

4

The following figure shows a high-level architecture of an IP router. Assign labels to the empty fields. In the table below, assign the components A, B, and C to either an SDN controller or switch in the context of Software Defined Networking.



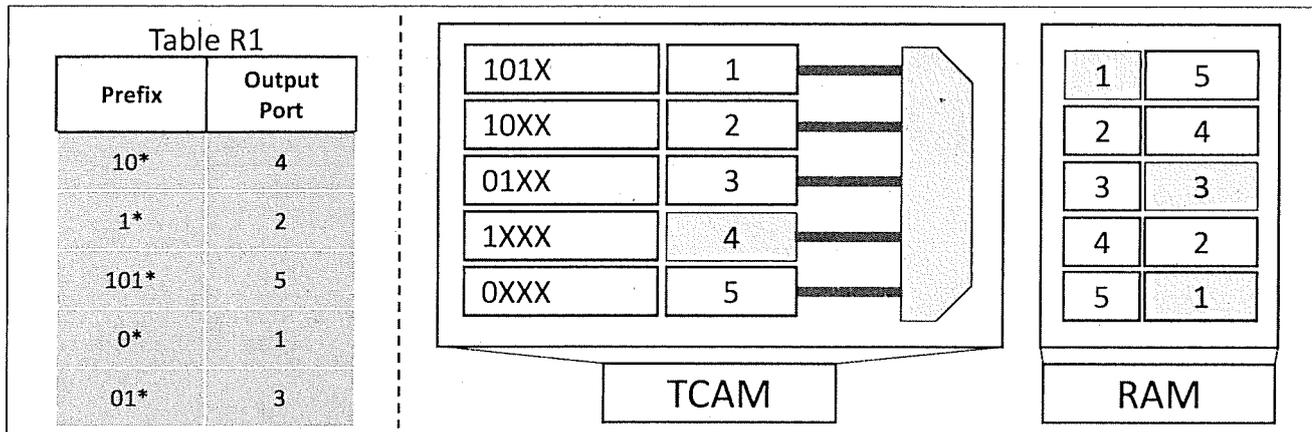
Zuordnung von A, B und C in SDN
(Assignment of A, B, and C in SDN)

Komponente (component)	Zuordnung zu SDN-Controller / Switch (assignment to SDN controller / switch)
A	SDN-Controller
B	SDN-Controller
C	SDN-Switch

b) Befüllen Sie in der nachfolgenden Abbildung die leeren Felder, sodass Longest-Prefix-Matching mit den Regeln aus Tabelle R1 in Hardware umgesetzt wird. Beschriften Sie außerdem die einzelnen Komponenten in den dafür vorgesehenen Feldern A und B. Adressen haben eine Länge von vier Bit. Welchen Vorteil bringt der Einsatz der Umsetzung in Hardware?

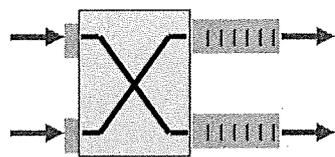
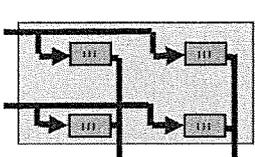
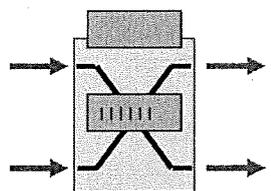
3

Fill the empty fields in the following figure, such that longest-prefix matching is implemented in hardware with the rules from table R1. Also label the individual components in the provided fields A and B. Addresses are four bits in length. What is the advantage of implementing the matching in hardware?



c) Benennen Sie die drei dargestellten Strategien der Pufferplatzierung, sowie jeweils einen Nachteil.

3 Name the three illustrated strategies for buffer placement, as well as one disadvantage for each of them.

<p>1)</p> 	<p>2)</p> 	<p>3)</p> 
<p>Name</p> <p>Output buffer</p>	<p>Name</p> <p>Distributed buffer</p>	<p>Name</p> <p>Central buffer</p>
<p>Nachteil / disadvantage</p> <p>1. Requires fast memory access</p>	<p>Nachteil / disadvantage</p> <p>1. High memory requirements 2. High wiring</p>	<p>Nachteil / disadvantage</p> <p>1. Fast memory access required</p>

Aufgabe 6 Datacenter (10 Punkte)

10

3

a) Beim Aufbau einer neuen k-Pod Fat-Tree Topologie wurden die Switches fehlerhaft verkabelt. Helfen Sie dabei die Probleme zu lösen:

1. Geben Sie für die Geräte A, E und G an um welche Art Switch es sich handelt.
2. Korrigieren Sie die Verkabelung der Switches. Tragen Sie dazu in die entsprechende Tabelle ein welche falschen Kabel Sie entfernen und welche fehlende Kabel Sie neu hinzufügen. Geben Sie dazu jeweils die beiden Geräte an den Kabelenden an. Geben Sie dabei nur solche Kabel an, an denen mindestens eines der Geräte E, F, G oder H beteiligt ist.
3. Zeichnen Sie alle Server in die Abbildung im Lösungsfeld ein, die am ersten Pod angeschlossen sein können.

While setting up a new k-pod fat-tree topology some errors were made when connecting the switches. Help correct these problems:

1. Specify the type of switch for the devices A, E and G.
2. Correct the wiring of the switches by entering in the respective tables which incorrect cables you remove and which missing cables you add. To do this, specify the two devices at the ends of each cable. Specify only those cables that involve at least one of the devices E, F, G, or H.
3. In the figure in the solution box, add all servers that can be connected to the first pod.

A	Core-Switch	E	Aggregation-Switch	G	Edge Switch
---	-------------	---	--------------------	---	-------------

Fehler bei der Verkabelung:

<p>Falsche Verbindungen (<i>incorrect connections</i>):</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Erstes Gerät (E-H) (<i>first device (E-H)</i>)</th> <th style="width: 50%;">Zweites Gerät (A-T) (<i>second device (A-T)</i>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>E</td><td>F</td></tr> <tr><td>G</td><td>H</td></tr> <tr><td>F</td><td>A</td></tr> <tr><td>F</td><td>B</td></tr> </tbody> </table>	Erstes Gerät (E-H) (<i>first device (E-H)</i>)	Zweites Gerät (A-T) (<i>second device (A-T)</i>)	E	F	G	H	F	A	F	B	<p>Fehlende Verbindungen (<i>missing connections</i>):</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Erstes Gerät (E-H) (<i>first device (E-H)</i>)</th> <th style="width: 50%;">Zweites Gerät (A-T) (<i>second device (A-T)</i>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>E</td><td>G</td></tr> <tr><td>F</td><td>H</td></tr> <tr><td>F</td><td>C</td></tr> <tr><td>F</td><td>D</td></tr> </tbody> </table>	Erstes Gerät (E-H) (<i>first device (E-H)</i>)	Zweites Gerät (A-T) (<i>second device (A-T)</i>)	E	G	F	H	F	C	F	D
Erstes Gerät (E-H) (<i>first device (E-H)</i>)	Zweites Gerät (A-T) (<i>second device (A-T)</i>)																				
E	F																				
G	H																				
F	A																				
F	B																				
Erstes Gerät (E-H) (<i>first device (E-H)</i>)	Zweites Gerät (A-T) (<i>second device (A-T)</i>)																				
E	G																				
F	H																				
F	C																				
F	D																				

Abbildung: Je zwei Server angeschlossen an G und H.

1 b) Sie planen eine Erweiterung ihres Datacenter von einer 4-pod Fat-Tree auf eine 6-pod Fat-Tree Topologie. Wie viele neue Switches müssen Sie bestellen? Begründen Sie Ihre Antwort.

You plan to upgrade your data-center from a 4-pod fat-tree topology to a 6-pod fat-tree topology. How many new switches do you need to order? Justify your answer.

Es werden 45 $\left(\left(\frac{k}{2}\right)^2 + k^2\right)$ neue Switches benötigt, da die alten Switches nur 4 Ports statt den benötigten 6 haben.

1 c) Vor der Erweiterung vergleichen Sie die Länge der kürzesten Pfade in der bestehenden 4-pod und der geplanten 6-pod Fat-Tree Topologie: Wie viele Switches liegen jeweils auf dem kürzesten Pfad zwischen zwei an unterschiedlichen Pods angeschlossenen Servern? Wie viele solcher kürzesten Pfade existieren zwischen zwei solcher Server in einer k-pod Fat-Tree Topologie?

Before the upgrade you compare the length of the shortest paths in the existing 4-pod and the planned 6-pod fat-tree topology. How many switches are on the shortest path between two servers connected to different pods in each topology? How many different shortest paths between two such servers exist in k-pod fat-tree topology?

Es liegen immer 5 Switches zwischen den Servern unabhängig von der Größe der Topologie. Es gibt $\frac{k^2}{4}$ verschiedene kürzeste Pfade.

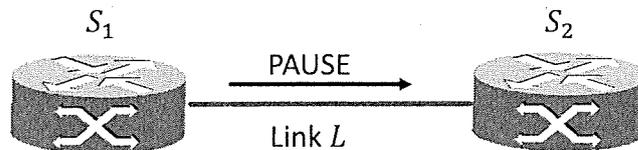
1 d) Was bedeuten die Begriffe North-South-Traffic und East-West-Traffic?

What do the terms North-South-Traffic and East-West-Traffic mean?

North-South-Traffic: Verkehr zwischen Servern und externen Clients
East-West-Traffic: Verkehr zwischen internen Servern

e) Switch S_1 und Switch S_2 sind über einen Vollduplex-Ethernet-Link verbunden. Switch S_1 versendet nun einen PAUSE-Rahmen an S_2 um Paketverluste zu vermeiden. Beschreiben Sie die Reaktion von Switch S_2 . Welchen Nachteil hat dieser Ansatz gegenüber der Ethernet-Erweiterung priority-based flow-control? Welche zusätzliche Funktionalität bietet diese Erweiterung? In welchem Paketkopf werden die für diese Erweiterung notwendigen Informationen übertragen?

Switch S_1 and Switch S_2 are connected by a full-duplex Ethernet-Link. Switch S_1 sends a PAUSE frame to switch S_2 to avoid packet losses. Describe the reaction of switch S_2 . Which disadvantage does this approach have compared to the Ethernet extension priority-based flow-control? What additional functionality does the extension offer? In which header is the information for this extension transmitted?



Reaktion: Switch S_2 stoppt den gesamten ausgehenden Verkehr an diesem Port für die im PAUSE Rahmen angegebene Zeit.

Nachteil: Der gesamte Verkehr eines Ports wird pausiert. Keine Differenzierung möglich.

Priority-based flow-control: Senden eines PAUSE-Rahmens um den Verkehr genau einer einzelnen Prioritätsklasse zu pausieren.

Header: Q-Header

2 f) Zur Sicherstellung der Performanz wichtiger Anwendungen kommt auf dem 10 Gbit/s Link L von S_1 nach S_2 , aus Aufgabenteil e), Enhanced Transmission Selection mit den Prioritätsgruppen PG1 bis PG3 zum Einsatz. S_1 empfängt die unten aufgeführten Datenraten zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 . Zur Weiterleitung werden die ebenfalls aufgeführten Reservierungen herangezogen. Welche Datenraten können für PG1 bis PG3 an t_1 und t_2 maximal erzielt werden?

To ensure the performance of important applications Enhanced Transmission Selection is employed on the 10 Gbit/s link L between S_1 and S_2 , in subproblem e), with the priority groups PG1 to PG3. S_1 receives the data rates listed below for PG1 to PG3 at time index t_1 and t_2 . Forwarding over L uses the specified reservations. What is the maximum data rate that can be achieved on the link L for PG1 to PG3 at t_1 and t_2 ?

Prioritätsgruppe (priority group)	An S_1 empfangene Datenrate (data rate received by S_1)		Reservierte Datenrate (reserved data rate)
	t_1	t_2	
PG1	3 Gbit/s	3 Gbit/s	4 Gbit/s
PG2	4 Gbit/s	6 Gbit/s	5 Gbit/s
PG3	7 Gbit/s	1 Gbit/s	1 Gbit/s

Zeitpunkt (time index): t_1		Zeitpunkt (time index): t_2	
Prioritätsgruppe (priority group)	Max. erreichbare Datenrate (max. achieved data rate)	Prioritätsgruppe (priority group)	Max. erreichbare Datenrate (max. achieved data rate)
PG1	3 Gbit/s	PG1	3 Gbit/s
PG2	4 Gbit/s	PG2	6 Gbit/s
PG3	3 Gbit/s	PG3	1 Gbit/s