

Klausur - Musterlösung Telematik

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

Freitag, 30.07.2021

- Diese Klausur umfasst **23 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 23 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	9	11	10	10	10	60

Aufgabe 1 Allgemeine Fragen (General Questions) (10 Punkte)

10

a) Welche Eigenschaft müssen Ethernet-Rahmen aufweisen, damit Kollisionen erkannt werden können? Wie und wo wird diese Eigenschaft im Ethernet-Rahmen bei Datenraten bis zu 100 Mbit/s sichergestellt?

1

Which property must Ethernet frames have so that collisions can be detected? How and where is this property ensured in an Ethernet frame at data rates of up to 100 Mbit/s?

Ethernet-Rahmen müssen eine Mindestlänge aufweisen.

Um die Mindestlänge sicherzustellen, wird das Padding-Feld eines Rahmens mit zusätzlichen Daten aufgefüllt.

b) Wie hoch ist die maximale Anzahl an TCP-Segmenten, die ein Sender aufgrund von Fast Retransmit und Fast Recovery innerhalb einer einzigen RTT erneut senden kann? Eine Begründung ist nicht erforderlich.

1

What is the maximum number of TCP segments that a sender can retransmit within a single RTT due to Fast Retransmit and Fast Recovery? A justification is not required.

Innerhalb einer einzigen RTT wird maximal ein Segment aufgrund von Fast Retransmit und Fast Recovery erneut gesendet.

c) Nennen Sie vier Kriterien nach denen verschiedene Platzierungsoptionen von Puffern in Routern im Rahmen der Vorlesung bewertet wurden. Monetäre Kosten spielen hierbei keine Rolle.

2

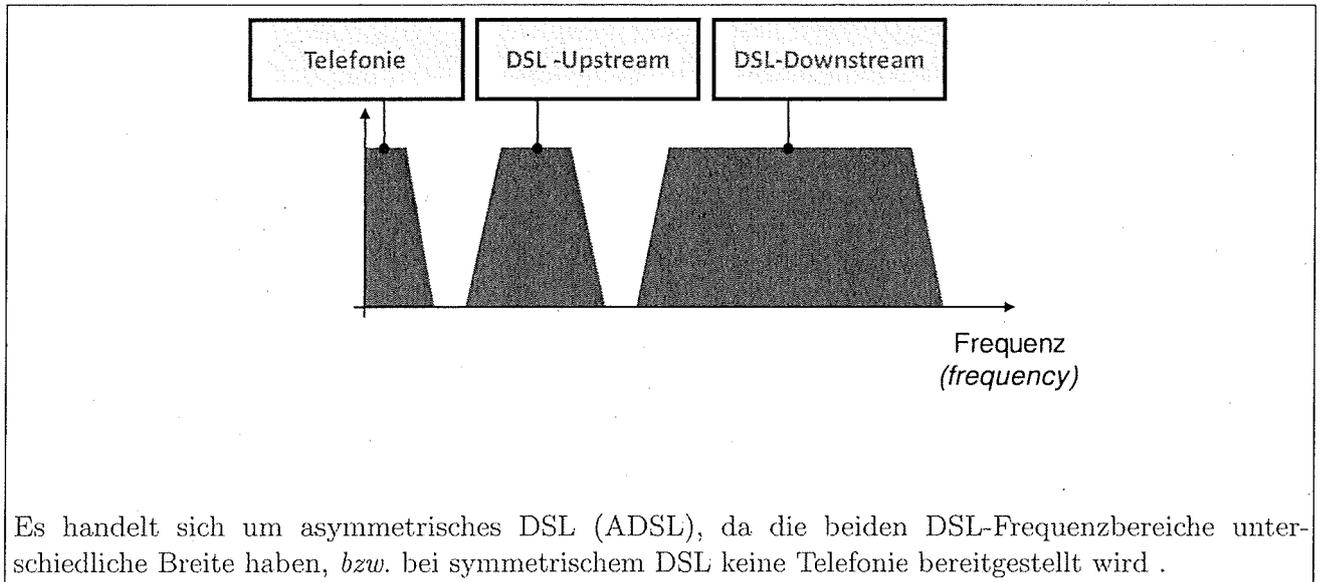
Name four criteria that were used in the lecture to evaluate different placement options for buffers in routers. Monetary costs are irrelevant here.

Mögliche Kriterien:

- Erforderliche Speicherkapazität der Puffer
- Speedup-Faktor der Switch Fabric
- Zykluszeit des Speicherzugriffs
- Erzielbarer Durchsatz (Throughput)
- Möglichkeit des Auftretens von Head-of-Line-Blocking
- Delay
- Jitter
- Notwendigkeit zusätzlicher Input-Puffer
- Komplexität der Implementierung

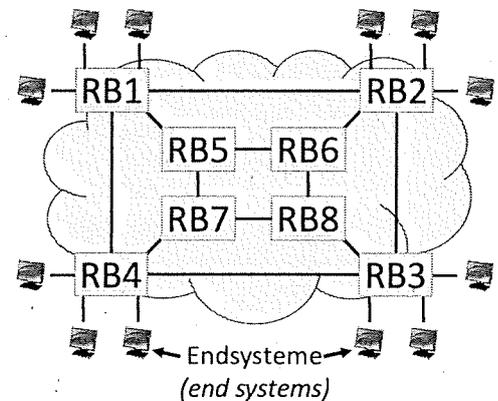
d) Kennzeichnen Sie die Bereiche für DSL-Upstream, DSL-Downstream und Telefonie im dargestellten Frequenzspektrum eines DSL-Zugangs. Zeigt die Abbildung symmetrisches oder asymmetrisches DSL? Begründen Sie Ihre Antwort.

Mark the areas for DSL upstream, DSL downstream and telephony in the depicted frequency spectrum of a DSL access. Does the image show symmetric or asymmetric DSL? Justify your answer.



e) In dem dargestellten Netz soll das Protokoll TRILL eingesetzt werden. Schätzen Sie die zu erwartende Auslastung der Routing Bridges RB5 bis RB8 ab, wenn Endsysteme nur an RB1 bis RB4 angeschlossen werden und alle Links die gleichen Kosten haben. Begründen Sie Ihre Antwort.

The TRILL protocol is to be used in the depicted network. Estimate the expected utilization of routing bridges RB5 to RB8 if end systems are only connected to RB1 to RB4 and all links have the same costs. Justify your answer.



Da in TRILL kürzeste Pfade verwendet werden, erfolgt jegliche Kommunikation lediglich über den äußeren Ring zwischen RB1 bis RB4 mit maximaler Pfadlänge von 2. Somit erfahren RB5 bis RB8 keinerlei Auslastung.

f) Wie viele Kabel werden zwischen den Edge- und Aggregation-Switches eines einzigen Pods in einem 8-Pod-Fat-Tree eingesetzt? Wie viele Server können maximal an den gesamten Tree angeschlossen werden?

How many cables are used between the edge and aggregation switches of a single pod in an 8-pod fat tree? What is the maximum number of servers that can be connected to the whole tree?

Anzahl Kabel eines Pods: 16.

Maximale Anzahl Server: 128.

g) Welche Pakete werden im Spanning Tree Protocol ausgetauscht, um einen Spannbaum zu etablieren? Nennen Sie drei Informationen, die in diesen Paketen enthalten sein müssen.

Which packets are exchanged in the Spanning Tree Protocol in order to establish a spanning tree? Name three pieces of information that must be included in these packets.

Es werden sogenannte BPDUs (Bridge Protocol Data Units) ausgetauscht.

Notwendige Informationen:

- Identifikator der sendenden Brücke
- Identifikator der vermuteten Root-Brücke
- Pfadkosten von sender Brücke zur Root-Brücke

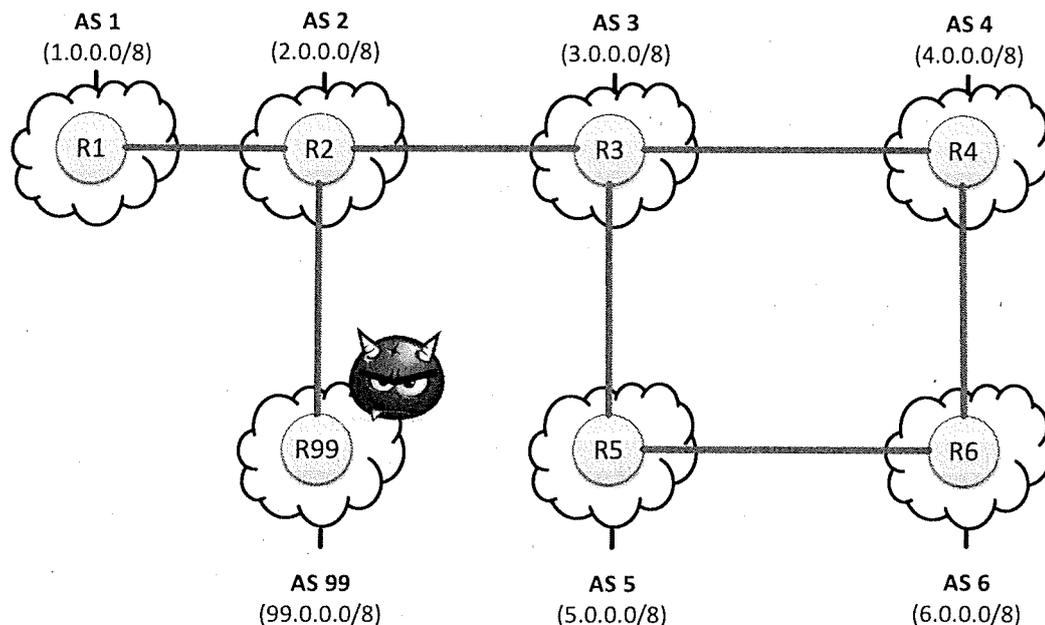
Aufgabe 2 Border Gateway Protocol (9 Punkte)

Gegeben ist die folgende Netztopologie mit autonomen Systemen (AS1, AS2, ...) und BGP-Routern (R1, R2, ...). Die durchgezogenen Verbindungen zwischen den BGP-Routern kennzeichnen sowohl die physische Verbindung zwischen den BGP-Routern als auch aktive BGP-Sitzungen. Es gilt für alle Teilaufgaben:

- Jedes AS ist für das ihm zugewiesene Präfix verantwortlich.
- Die (besten) Routen werden allen Nachbarn bekanntgegeben.
- AS99 will alle IP-Pakete mitlesen, die aus dem Subnetz 1.0.0.0/8 nach AS4 geschickt werden. Für diesen Angriff wird von R99 aus eine UPDATE-Nachricht für das Präfix 4.0.0.0/8 nach R2 geschickt.

The following network topology is given, consisting of autonomous systems (AS1, AS2, ...) and BGP routers (R1, R2, ...). The solid lines between the BGP routers indicate both the physical connection between the BGP routers and active BGP sessions. The following applies to all subtasks:

- *Each AS is responsible for the prefix assigned to it.*
- *The (best) routes are propagated to all neighbours.*
- *AS99 wants to read all IP packets sent from subnet 1.0.0.0/8 to AS4. For this attack an UPDATE message for the prefix 4.0.0.0/8 is sent from R99 to R2.*



a) Betrachten Sie das erste IP-Paket einer TCP Verbindung, dass von AS1 aus nach AS4 geschickt wird. Falls dieses Paket AS4 erreicht, wird ein Antwortpaket von AS4 nach AS1 zurückgeschickt. Beschreiben Sie, wie diese Pakete vor und nach dem Angriff weitergeleitet werden. Geben Sie dazu alle Router an, die an der Weiterleitung jeweils beteiligt sind.

Look at the first IP packet of a TCP connection that is sent from AS1 to AS4. If this packet reaches AS4, an answer packet is sent back from AS4 to AS1. Describe how these packets are forwarded before and after the attack. To do so, specify all routers that are involved in the forwarding.

	An der Weiterleitung beteiligte Router (routers involved in forwarding)
Paket von AS 1 nach AS 4 vor dem Angriff (packet from AS 1 to AS 4 before the attack)	R1 R2 R3 R4
Antwort von AS 4 nach AS 1 vor dem Angriff (packet from AS 4 to AS 1 before the attack)	R4 R3 R2 R1
Paket von AS 1 nach AS 4 nach dem Angriff (packet from AS 1 to AS 4 after the attack)	R1 R2 R99
Antwort von AS 4 nach AS 1 nach dem Angriff (packet from AS 4 to AS 1 after the attack)	Es gibt kein Antwortpaket!

b) Geben sie die besten Routen in der Routing Tabelle von Router R2 an (nach dem Angriff).

3

Specify the best routes in the routing table of R2 (after the attack).

Vor dem Angriff (after the attack):			
Zielnetz (target network)	Next Hop	Pfad (path)	
1.0.0.0/8	R1	1	
3.0.0.0/8	R3	3	
4.0.0.0/8	R99	99 4	
5.0.0.0/8	R3	3 5	
6.0.0.0/8	R3	3 4 6 oder 3 5 6	
99.0.0.0/8	R99	99	

2 c) Könnte derselbe Angriff – d.h. die böswillige Bekanntgabe des Präfixes 4.0.0.0/8 – auch aus AS6 statt aus AS99 erfolgreich durchgeführt werden? Begründen Sie ihre Antwort.

Could the same attack – i.e., the malicious announcement of prefix 4.0.0.0/8 – also be done successfully from AS6 instead of AS99? Justify your answer.

Nein. Der Angriff setzt voraus, dass der Weg vom Angreifer (AS99/AS6) zum Angriffsziel (AS1) kürzer ist, als der Weg vom Angriffsziel zum eigentlichen Kommunikationspartner (AS4). Diese Voraussetzung ist hier nicht gegeben.

1 d) Erklären Sie, warum AS99 in der gegebenen Topologie mit der hier eingesetzten Methode keinen funktionierenden Man-in-the-Middle Angriff durchführen kann.

Explain why AS99 cannot perform a working man-in-the-middle attack in the given topology with the described method.

Man-in-the-Middle ist hier nicht möglich weil die abgefangenen Pakete nicht an das ursprüngliche Ziel (AS4) zugestellt werden können. Wenn AS99 die Antwort zu R2 schickt (seinem einzigen Weg ist Netz), dann kommen die Pakete aufgrund der Routingtabellen-Einträge einfach wieder zurück (oder werden verworfen).

1 e) Wie kann AS4 den Angriff mithilfe von BGP abwehren? Geben Sie ein konkretes Beispiel an.

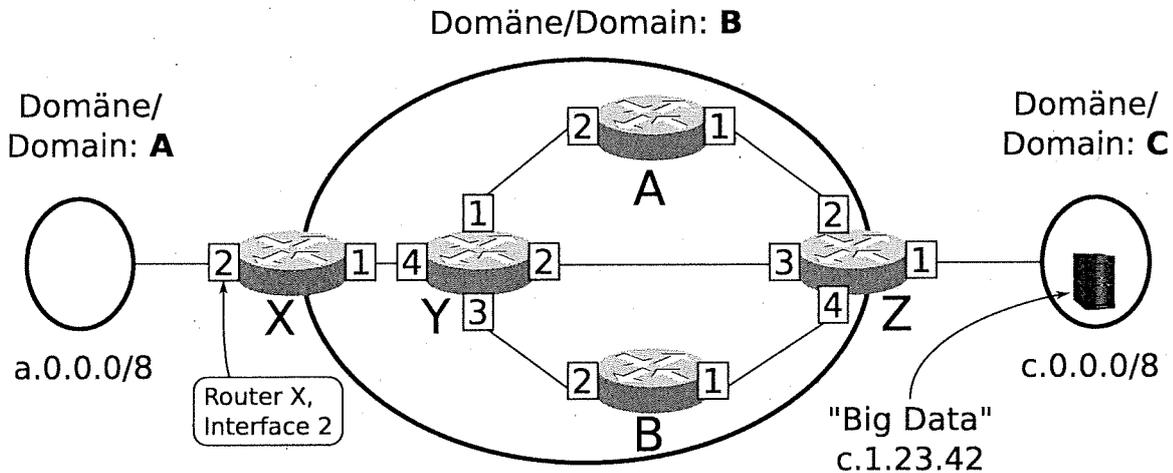
How can AS4 defend against the attack using BGP? Give a concrete example.

AS4 kann spezifischere Präfixe bekanntgeben als 4.0.0.0/8 die den gleichen Adressraum abdecken. Zum Beispiel 4.0.0.0/9 und 4.128.0.0/9.

Aufgabe 3 Label Switching (11 Punkte)

Gegeben ist das folgende klassische IP-Netz:

The following classic IP network is given:



In der Domäne B sollen die folgenden Policies für Verkehr von Domäne A nach Domäne C etabliert werden:

1. Verkehr zum Big-Data Server wird immer über Router A weitergeleitet.
2. Videokonferenzen werden immer direkt von Router Y nach Router Z weitergeleitet.
 - Videokonferenzen seien in dieser Aufgabe eindeutig daran zu erkennen, dass sie UDP Port 10 000 nutzen.
 - „Big-Data“ führt keine Videokonferenzen durch und muss hier nicht berücksichtigt werden.
3. Aller sonstiger Verkehr soll über Router B weitergeleitet werden.

In Domain B the following policies for traffic from Domain A to Domain C shall be established:

1. Traffic destined to the Big-Data server is always routed over router A.
2. Videoconferences are always routed directly from router Y to router Z.
 - In this task videoconferences are unambiguously recognizable on the usage of UDP port 10 000.
 - “Big-Data” does no video conferencing and, therefore, does not have to be considered here.
3. All other flows are routed over router B.

- 1 a) Können diese Anforderungen mittels klassischem IP-Routing umgesetzt werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

Can these requirements be fulfilled with classic IP routing? Justify your answer.

Nein, die Anforderungen können nicht umgesetzt werden, da IP-Routing nur auf Basis von IP-Präfixen routen kann, nicht jedoch auf Basis von UDP Port-Nummern.

- 3 b) Die oben stehenden Anforderungen sollen jetzt mittels MPLS umgesetzt werden. Dafür wird jeder Router der Domäne B durch einen MPLS-Knoten ersetzt.

Nennen Sie zunächst welche Arten von Knoten es in einem MPLS-Netz gibt und erklären Sie kurz deren Funktion.

Nennen Sie für jeden Router (X, Y, Z, A, B) durch welche Art MPLS-Knoten dieser ersetzt wird.

The requirements stated above now shall be implemented by the use of MPLS. Therefore, each router of domain B is replaced by an MPLS node.

First, state which kinds of nodes exist in an MPLS network and briefly explain their function.

State for each router (X, Y, Z, A, B) by which kind of MPLS node it is replaced.

- Label edge router (LER) sitzen am Rand der Domäne und können verschiedene Header-Felder nutzen, um Datenströme zu klassifizieren
- Label switching router (LSR) sitzen innerhalb der Domäne und nutzen ausschließlich MPLS-Labels zur Weiterleitung
- Ersetzungen:
 - LER: X, Z
 - LSR: Y, A, B

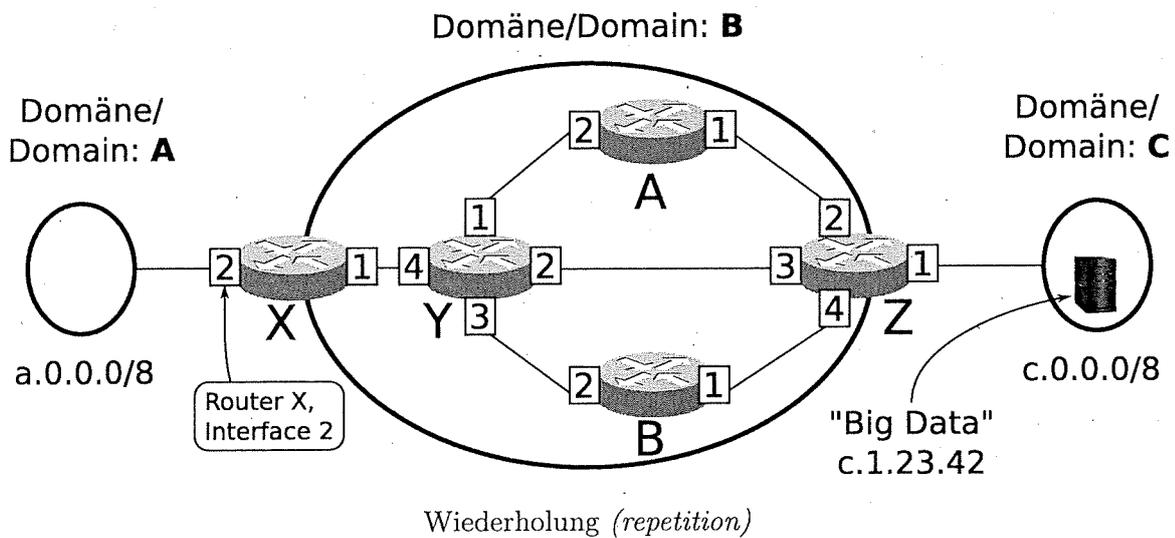
5

c) Ein Kollege hat versucht die oben genannten Anforderungen manuell umzusetzen (siehe Tabelle im Lösungsfeld). Korrigieren Sie wo nötig die gemachten Einträge und haken Sie korrekte Einträge im Feld „OK?“ ab. Nehmen Sie jedoch nur notwendige Änderungen vor und geben Sie für jede Änderung eine kurze Erklärung an, warum diese nötig ist. Ergänzen Sie außerdem die notwendigen Einträge für Knoten Z (hier ist keine Erklärung erforderlich).

Geben Sie für die drei Policies jeweils die zutreffenden Matches (Spalte “#”) an.

A colleague tried to implement the above stated requirements manually (see table in the solution box). Please correct the entries where necessary and mark correct entries in the field “OK?” with a checkmark. Only make necessary changes and explain why they are required. Also please complement the necessary entries for node Z (here, no explanations are required).

State the applicable matches (column “#”), for all three policies.



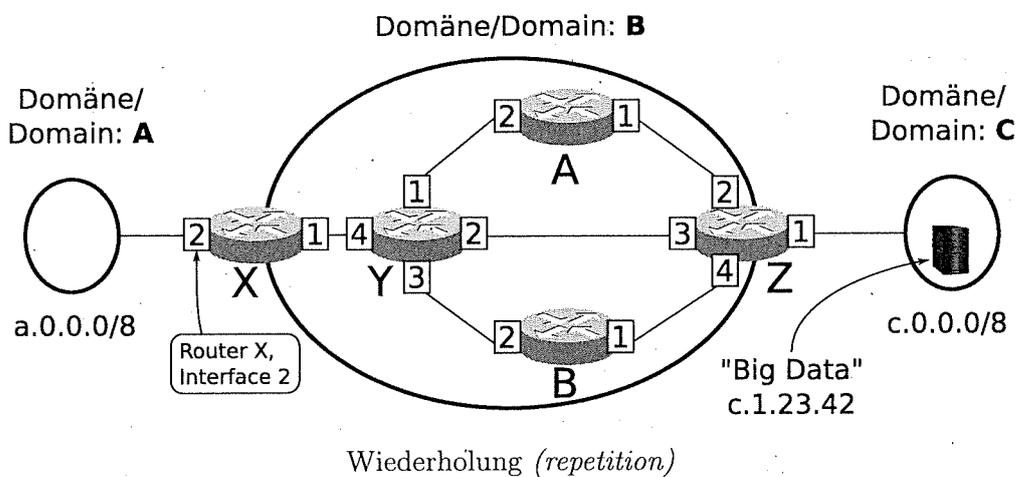
Node	#	Inter- face In	Match	Label Out	Inter- face Out	OK?
X	1	2	IP-Dst: c.1.23.42/32	1	1	✓
	2	2	IP-Dst: a.0.0.0/8 && Protocol: UDP && Port: 10 000 IP-Dst: c.0.0.0/8 && — ” — && — ” —	2 — ” —	1 — ” —	—
	3	2	IP-Dst: c.0.0.0/8 — ” —	1 3	1 — ” —	—
Y	4	4	Label: 1	10	1	✓
	5	4	Label: 2	20	2	✓
	6	4	Label: 1 Label: 3	30 — ” —	3 — ” —	—
A	7	2	Label: 10	100	1	✓
B	8	2	Label: 30	300	1	✓
Z	9	2	Label: 100	—	1	
	10	3	Label: 20	—	1	
	11	4	Label: 300	—	1	

Begründung der Änderungen (*explanation for changes*):

- #2: IP-Dst Präfix falsch, Zieldomäne liegt in c.0.0.0/8
- #3 und #6: Label auf dem Link zwischen Knoten X und Y müssen eindeutig sein.

Zutreffende Matches (*applicable matches*):

- Big Data: #1, #4, #7, #9
- Videoconferences: #2, #5, #10
- Sonstig (*other*): #3, #6, #8, #11



- 2 d) Der Kollege schlägt vor für die Einträge #4,#5 und #6 jeweils „1“ für „Label Out“ zu nutzen. Ist damit eine korrekte Umsetzung der von Domäne B gewünschten Policies möglich? Wenn ja, geben Sie an, ob bzw. welche weiteren Änderungen nötig sind. Wenn nein, erklären Sie kurz warum eine korrekte Umsetzung hierdurch ausgeschlossen ist.

Your colleague now suggests to use "1" as "Label Out" for entry #4,#5 and #6, respectively. Is it still possible to correctly implement the policies desired by domain B? If so, please state which additional changes are necessary and explain why this approach does not cause conflicts. If not, please explain briefly why a correct implementation is impossible.

Ja , die Policies können korrekt umgesetzt werden. Hierfür müssen lediglich in den Einträgen #7, #8 und #10 der Match in "Label: 1" geändert werden.

Labels haben nur eine lokale Gültigkeit. Das Label „1“ wird zwar mehrfach genutzt, jedoch sind die Labels auf jedem Link (direkte Verbindung zwischen zwei MPLS-Nodes) eindeutig vergeben.

Aufgabe 4 Software Defined Networking (10 Punkte)

Sie sollen eine *Tracking-App* entwickeln, die erlernt, über welchen Port eines SDN-Switches angeschlossene Server erreichbar sind. Hierzu steht Ihnen bereits der abgebildete Code zur Verfügung, der für die Verwendung mit einem *einzigem* Switch ausgelegt ist. Für Ihre App ist Flow-Table 2 reserviert, die alle relevanten Pakete automatisch aus Flow-Table 1 empfängt.

You are tasked with developing a tracking app that learns on which port of an SDN switch connected servers can be reached. The code shown is already available for this purpose, which is designed for use with a single switch. Flow table 2 is reserved for your app and receives all relevant packets automatically from flow table 1.

a) Vervollständigen Sie die `onPacketIn`-Methode wie folgt:

```
import clearFlowTable;
import servers;

onConnect(switch) {
    // Remove all flows in table 2
    clearFlowTable(switch, 2);

    r = Rule();
    r.TABLE(2);
    r.PRIORITY(1);
    r.MATCH('*');
    r.ACTION('CONTROLLER');

    send_rule(switch, r);
}

onPacketIn(packet, switch, inport) {
    // Identify servers by MAC addresses
    mac = packet.MAC_SRC;
    // Store switch and port of a server
    servers[mac] = (switch, inport);

    // TODO: continue programming ...
}
```

10

3

1. Es muss ein Eintrag in Flow-Table 2 programmiert werden, der alle weiteren Pakete mit der MAC-Quelladresse des sendenden Servers zur anschließenden Weiterleitung an Flow-Table 3 übergibt.
2. Das empfangene Paket muss wieder an den Switch zurückgesendet werden.

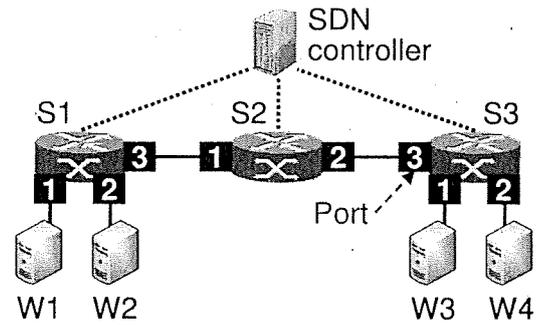
Complete the `onPacketIn` method as follows:

1. *An entry must be programmed in flow table 2, which directs all further packets with the MAC source address of the sending server to flow table 3 for subsequent forwarding.*
2. *The received packet must be sent back to the switch.*

```
// TODO: continue programming ...
r = Rule();
r.TABLE(2);
r.PRIORTIY(2);
r.MATCH('MAC_SRC', packet.MAC_SRC);
r.ACTION('GOTO', 3);
send_rule(switch, r);

send_packet(packet, switch, r);
```

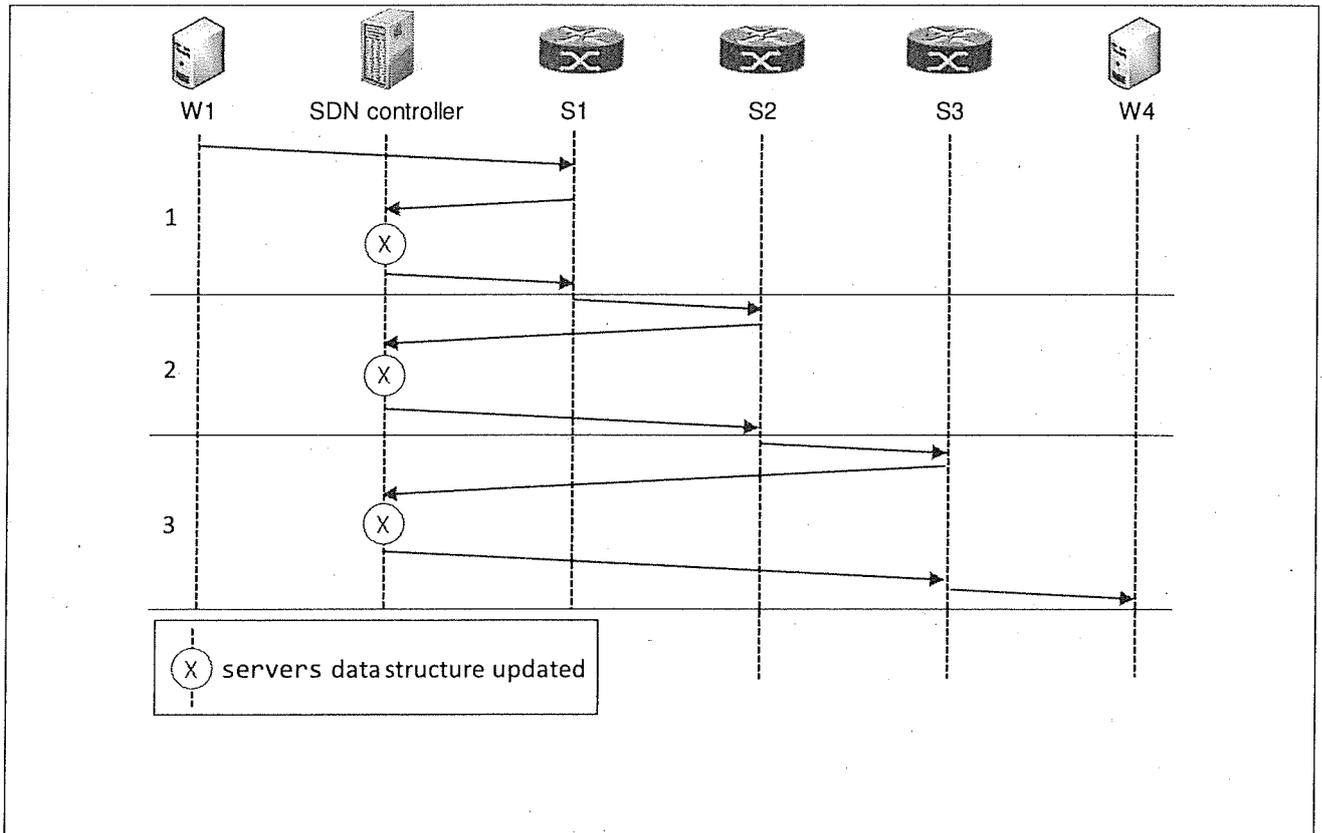
Wider Erwarten wird die App im abgebildeten SDN-Netz mit mehreren Switches (S1-S3) eingesetzt. Die onPacketIn-Methode funktioniert im Folgenden weiterhin wie in Aufgabenteil a) beschrieben.



Contrary to expectations, the app is used in the depicted SDN network with multiple switches (S1-S3). The onPacketIn method continues to work as described in sub-task a).

- 3 b) Skizzieren Sie die Weiterleitung eines Pakets, das unmittelbar nach dem Start der App von W1 an W4 gesendet wird, im vorgegebenen Weg-Zeit-Diagramm. Kennzeichnen Sie außerdem alle Zeitpunkte, an denen die servers-Datenstruktur aktualisiert wird. Gehen Sie davon aus, dass Flow-Table 3 Pakete stets zum nächsten Hop auf dem Weg zum Empfänger weiterleitet.

Draw the forwarding of a packet that is sent from W1 to W4 immediately after the app is started in the given path-time diagram. Also mark all times at which the servers data structure is updated. Assume that flow table 3 always forwards packets to the next hop on the way to the recipient.



c) Passen Sie die `onConnect`-Methode der Tracking-App für den Einsatz im abgebildeten Netz an, damit Einträge in der `servers`-Datenstruktur immer auf den korrekten Switch und Port eines Servers verweisen. Vervollständigen Sie hierzu den bereitstehenden Code und beachten Sie dabei folgendes:

1. Pakete sollen ausschließlich von Port 1 und 2 von S1 und S3 an den Controller weitergeleitet werden, da nur dort Server angeschlossen werden.
2. Für die korrekte Weiterleitung müssen Pakete stets von Flow-Table 2 an Flow-Table 3 übergeben werden.

Adjust the `onConnect` method of the tracking app for use in the depicted network so that entries in the `servers` data structure always refer to the correct switch and port of a server. To do this, complete the code provided and note the following:

1. *Packets should only be forwarded to the controller from port 1 and 2 of S1 and S3, since servers are only connected there.*
2. *For correct forwarding, packets must always be passed from flow table 2 to flow table 3.*

```
import clearFlowTable;
import S1, S2, S3; // References to switches S1, S2, S3

onConnect(switch) {
  // Remove all flows in table 2
  clearFlowTable(switch, 2);

  if (switch == S1 or switch == S3) {
    for port in (1, 2) { // Iterate over the port numbers in the brackets
      r = Rule();
      r.TABLE(2);
      r.PRIORITY(1);
      r.MATCH('IN_PORT', port);
      r.ACTION('CONTROLLER');

      send_rule(switch, r);
    }
  }

  r = Rule();
  r.TABLE(2);
  r.PRIORITY(0);
  r.MATCH('*');
  r.ACTION('GOTO', 3);

  send_rule(switch, r);
}
```

Aufgabe 5 WWW (10 Punkte)

10

Sie beraten einen Webserver-Betreiber, der den Seitenaufbau seiner Webseite (s. unten) beschleunigen will. Ein typischer (unzufriedener) User hat eine RTT von 100 ms.

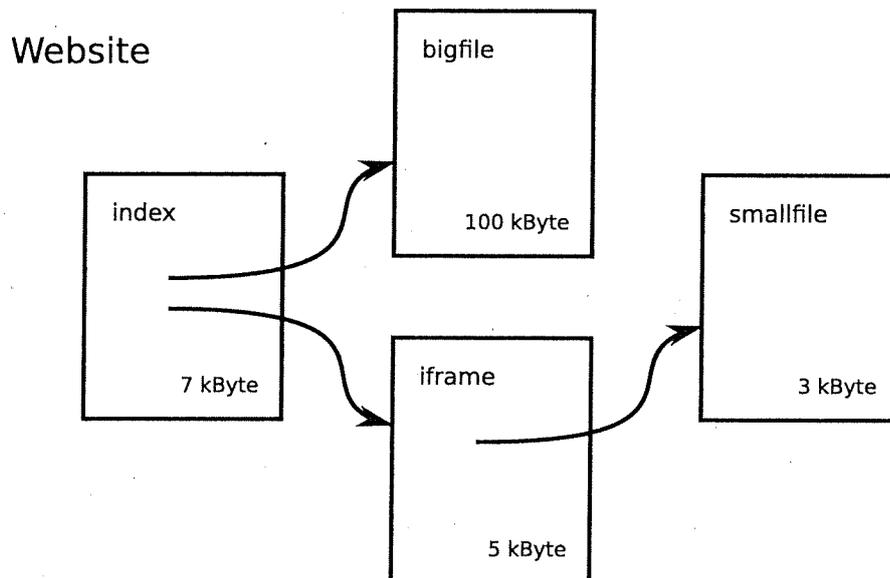
Es gelten die folgenden Annahmen bzw. Vereinfachungen:

- Jedes Objekt wird über eine separate TCP-Reno-Verbindung heruntergeladen.
- Nachdem ein Objekt vollständig empfangen wurde, werden alle darin verlinkten Objekte parallel heruntergeladen.
- Verarbeitungszeiten und Sendezeiten, sowie die Größe der Header und ACKs werden vernachlässigt.
- Die initiale Größe des Staukontrollfensters (CWnd) beträgt 1 MSS := 10 kByte.
- Es kommt zu keinerlei Stausituationen und es treten auch keine sonstigen Fehler auf.

You advise a web server operator who wants to speedup the loading time of its web site (see below). A typical (unhappy) user has an RTT of 100 ms.

The following assumptions / simplifications are applied:

- *Each object is downloaded by a separate TCP Reno connection*
- *After a object is fully received, all linked objects are downloaded in parallel.*
- *Processing times and sending times, as well as the size of headers and ACKs are neglected.*
- *The initial congestion control window (CWnd) size is 1 MSS := 10 kByte.*
- *There are no congestion situations or other errors.*



a) Betrachten Sie zunächst den Download der Datei „bigfile“ (Größe 100 kByte) losgelöst von den restlichen Teilen der Webseite. Nehmen Sie an, dass der Download unmittelbar nach dem Aufbau der TCP-Verbindung startet, die zugehörige Kommunikation auf HTTP-Ebene wird vernachlässigt.

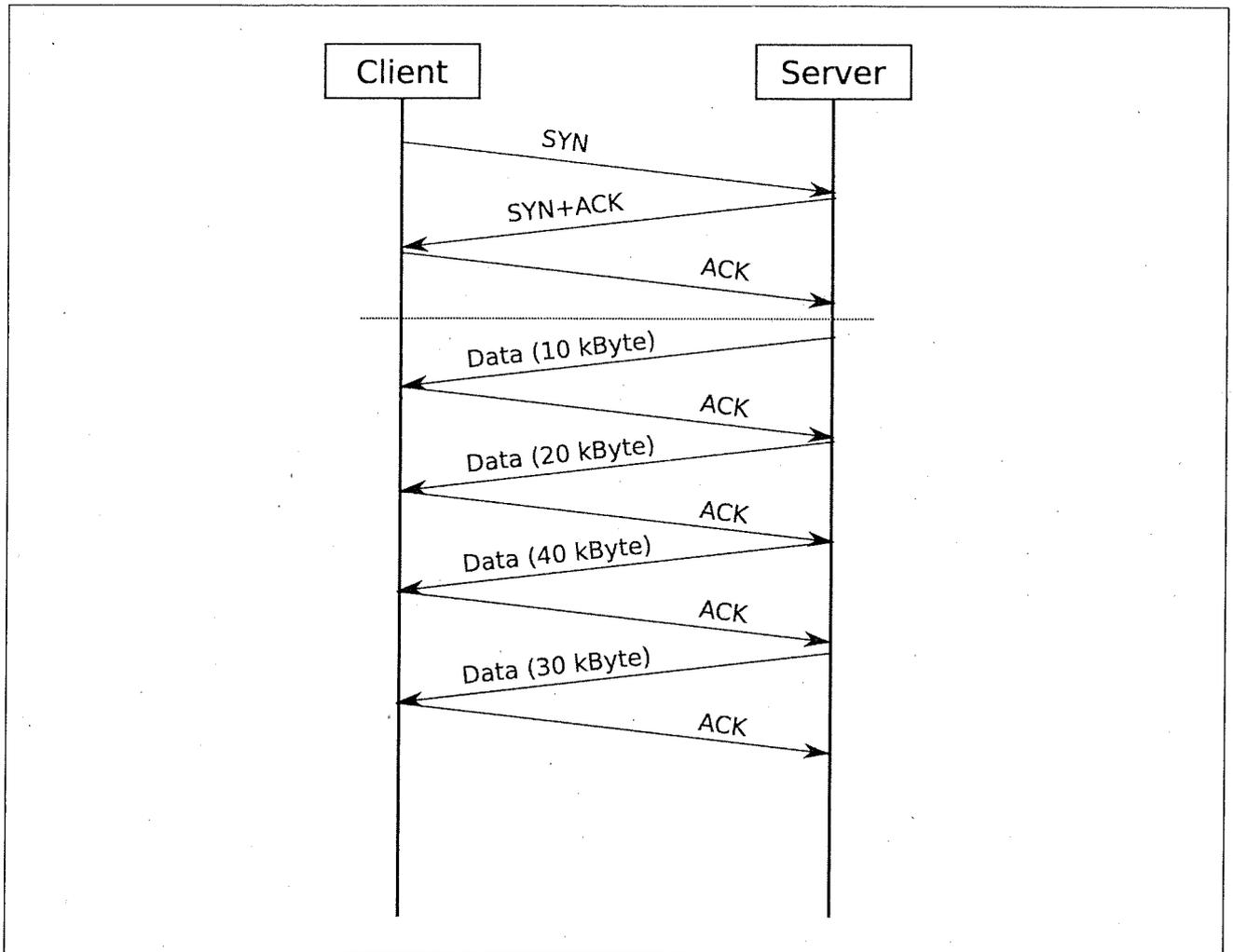
Zeichnen Sie ein Weg-Zeit-Diagramm für die genutzte TCP-Verbindung inklusive Verbindungsaufbau (ohne Verbindungsabbau)

- Alle Pakete die in der selben RTT in die selbe Richtung geschickt werden, können zu jeweils einem Pfeil zusammengefasst werden.
- Machen Sie pro Pfeil kenntlich, was hier übertragen wird [z.B. SYN, ACK, Data(Datenmenge in kByte)]. Die Angabe von Sequenznummern u.ä. ist nicht erforderlich.

First, consider a download of the file "bigfile" (size 100 kByte) independently from the remaining parts of the website. Assume that the download starts immediately after the TCP connection is established, communication on HTTP level is neglected.

Draw a Time Sequence Diagram of the TCP connection including connection establishment (without connection termination)

- *All packets that are sent within the same RTT in the same direction can be combined to a single arrow.*
- *Mark on each arrow what kind of message(s) is/are transmitted [e.g., SYN, ACK, Data(size in kByte)]. Sequence numbers etc. are not required.*



b) Ermitteln Sie wie lange es dauert, bis die Webseite vollständig geladen ist (Page-Load-Time). Füllen Sie hierzu das Diagramm im Lösungsfeld aus.

3

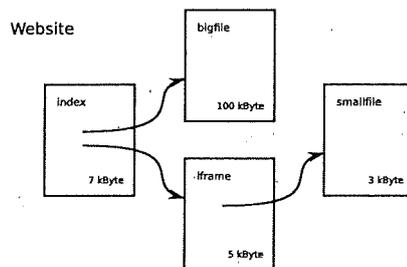
- Markieren Sie für jede Datei den Bereich ab dem Beginn des Verbindungsaufbaus, bis sie vollständig empfangen wurde. Die Zeitmessung startet mit dem Beginn des Aufbaus der ersten TCP-Verbindung.
- Wann ist die gesamte Webseite vollständig geladen?

Determine how long does it takes until the website is fully downloaded (Page-Load-Time). Therefore, fill out the diagram in the solution box.

- Mark for each file the area from connection establishment until it is fully received. The time measurement starts with the beginning of the establishment of the first TCP connection.
- When is the entire website fully loaded?

index	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
bigfile	□	□	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	
iframe	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
smallfile	□	□	□	□	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	
	RTT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Webseite geladen (Website loaded):
 Die gesamte Webseite ist nach 7 RTTs / 700 ms vollständig geladen.



Wiederholung (repetition)

- 1 c) Sie schlagen vor, die Dienste eines CDNs zu nutzen. Hierdurch verringert sich die RTT für die entsprechenden Nutzer auf 10 ms. Welchen Einfluss hat das auf die Page-Load-Time (Anzahl benötigter RTTs und Dauer in Millisekunden)?

You suggest to use the services of a CDN. This would reduce the RTT of said customers to 10 ms. How would this affect the Page-Load-Time (number of RTTs required and duration in milliseconds)?

Die Anzahl der benötigten RTTs wird durch die Nutzung des CDNs nicht verändert. Durch die verringerte RTT sinkt die Page-Load-Time jedoch von 700 ms auf 70 ms.

d) Der CDN Betreiber regt an, alle Daten ausschließlich TLS-verschlüsselt auszuliefern. Nehmen Sie an, dass ein TLS-Handshake immer 2 RTTs benötigt.

Füllen Sie erneut das Diagramm im Lösungsfeld aus, schlüsseln Sie hierbei auf in welchen RTTs ein Verbindungsaufbau (A), ein TLS-Handshake (T), bzw. Nutzdatentransfer (D) stattfinden, indem Sie A, T oder D in das jeweilige Feld eintragen. Endet einer dieser Schritte parallel mit dem Beginn eines darauffolgenden Schritts, genügt es den neu beginnenden anzugeben.

Um wieviele RTTs hat sich die Page-Load-Time im Vergleich zu Aufgabenteil b) verlängert?

The operator of the CDN suggests to encrypt all data transfers with TLS. In this task a TLS handshake always takes 2 RTTs.

Again, fill out the diagram in the solution box, breakdown in which RTT a connection establishment (A), a TLS handshake (T), or transfer of payload data (D) happen by filling A, T, or D into the respective fields. If a step ends in parallel to the start of a subsequent step, it suffices to write down the latter one.

By how many RTTs is the Page-Load-Time increased, compared to subtask b)?

index	A	T	T	D											
bigfile					A	T	T	D	D	D	D				
iframe					A	T	T	D							
smallfile									A	T	T	D			
	RTT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Verlängerung Page-Load-Time (*Page-Load-Time increase*):

Die Page-Load-Time hat sich um 5 RTTs verlängert (von 7 RTTs auf 12 RTTs).

Aufgabe 6 Tries, TCAM (10 Punkte)

10

Gegeben ist die folgende Liste mit Präfixen P1 bis P6.

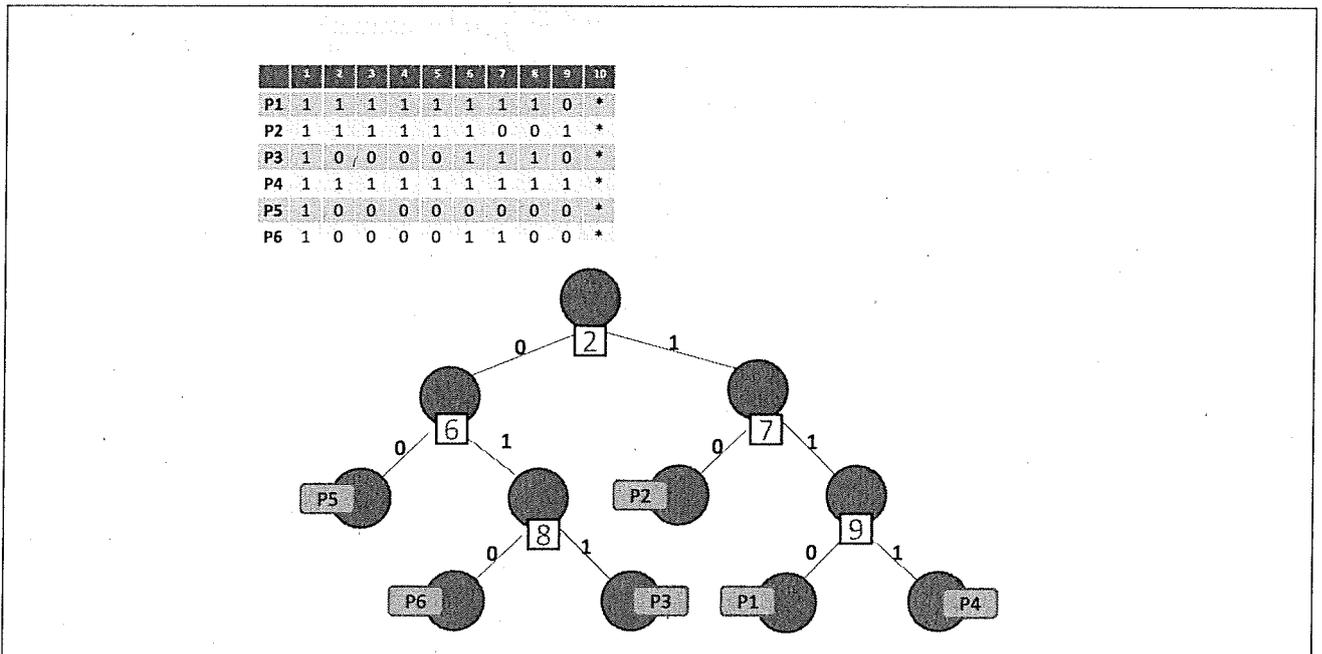
The following list is given with prefixes P1 to P6.

P1	111111110*
P2	111111001*
P3	100001110*
P4	111111111*
P5	100000000*
P6	100001100*

5,5

a) Zeichnen Sie einen Binary Trie mit Path Compression für die angegebenen Präfixe. Beschriften Sie die Kanten und tragen Sie ein, in welchem Knoten welches Präfix (P1-P6) abgespeichert wird. Machen Sie in der Skizze außerdem deutlich, welche zusätzlichen Informationen für Path Compression benötigt werden.

Draw a binary trie with path compression for the given prefixes. Label the edges and make clear in which Node which prefix (P1-P6) is stored. Also make clear in the sketch which additional information is required for path compression.



b) Gegeben ist der Trie aus dem vorherigen Aufgabenteil und das 12-bit lange Suchwort 100001110111. Erklären Sie den Ablauf des Lookup-Algorithmus schrittweise in Textform. Geben Sie hierzu an, welche Informationen genutzt werden und welche Vergleiche stattfinden. Geben Sie außerdem in der dafür vorgesehenen Spalte an, welches zum jeweiligen Zeitpunkt der "Best Match" ist. 2,5

Given is the trie from the previous subtask and the 12-bit long search word 100001110111. Explain the lookup algorithm step by step in text form. Specify which information is used and which comparisons take place. Also indicate in the column provided which is the "Best Match" at the time.

Schritt	Erklärung	Best Match
1	Zweites bit wird angeschaut. Gehe nach links im Trie da zweites bit=0.	-
2	Sechstes bit wird angeschaut. Gehe nach rechts im Trie da sechstes bit=1	-
3	Achstes bit wird angeschaut. Gehe nach rechts im Trie da achtes bit=1	-
4	Vergleiche ob Präfix 3 (100001110*) ein gültiges Präfix des Suchworts ist. Das ist der Fall also wird der Best Match aktualisiert.	P3
5	Keine Verzweigung mehr. Algorithmus terminiert mit P3 als Ausgabe.	P3

c) Erklären Sie den Unterschied zwischen RAM und CAM, indem Sie angeben, was diese beiden Konzepte jeweils als Ein- und Ausgabe verwenden. 1

Explain the difference between RAM and CAM by specifying what these two concepts use as input and output respectively.

RAM: Nimmt Adresse und gibt die Daten zurück CAM: Nimmt Daten und gibt Adresse zurück

d) Gehen Sie davon aus, dass der Lookup für die Präfixe aus der Aufgabenstellung mittels TCAM organisiert werden soll. In welcher Reihenfolge müssen die Präfixe dafür im TCAM angeordnet werden für dieses konkrete Beispiel? Begründen Sie ihre Antwort. 1

Assume that the lookup for the prefixes from the task should be organized in a TCAM. For this concrete example, what order is required among the prefixes in the TCAM? Justify your answer.

Reihenfolge ist egal. Spielt nur dann eine Rolle, wenn die Präfixe nicht gleich lang sind (im Beispiel sind alle gleich lang).