



Zitterbart

Telematik

Dauer: 120 min. **Lösung:** offiziell **Bestanden Mit:** 30
Bemerkungen: Antworten auf Deutsch und Englisch möglich

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

a) Aus welchem Grund benötigt ISDN am Basisanschluss einen Echo-Kanal?

Why does ISDN need an Echo channel for basic access?

b) Warum benötigt Ethernet im Gegensatz zu ISDN keinen Echo-Kanal?

Why is no Echo channel required for Ethernet (unlike ISDN)?

c) Welche Aufgabe hat der PAUSE-Rahmen bei Ethernet?

What is the purpose of the PAUSE frame in Ethernet?

d) Nennen Sie einen Vorteil und einen Nachteil von TCAMs.

Name one advantage and one disadvantage of TCAMs.

e) Welche Informationen müssen in einer BGP-Routingtabelle auf jeden Fall gespeichert werden?

Which information must be stored in a BGP routing table?

f) Erklären Sie, wofür CIDR Address Aggregation bei BGP eingesetzt werden kann. Geben Sie ein Beispiel an.

Explain for what purpose CIDR Address Aggregation can be used by BGP. Give an example.

g) Erklären Sie den Unterschied zwischen einem Micro-Flow und einem Macro-Flow.

Explain the difference between a micro-flow and a macro-flow.

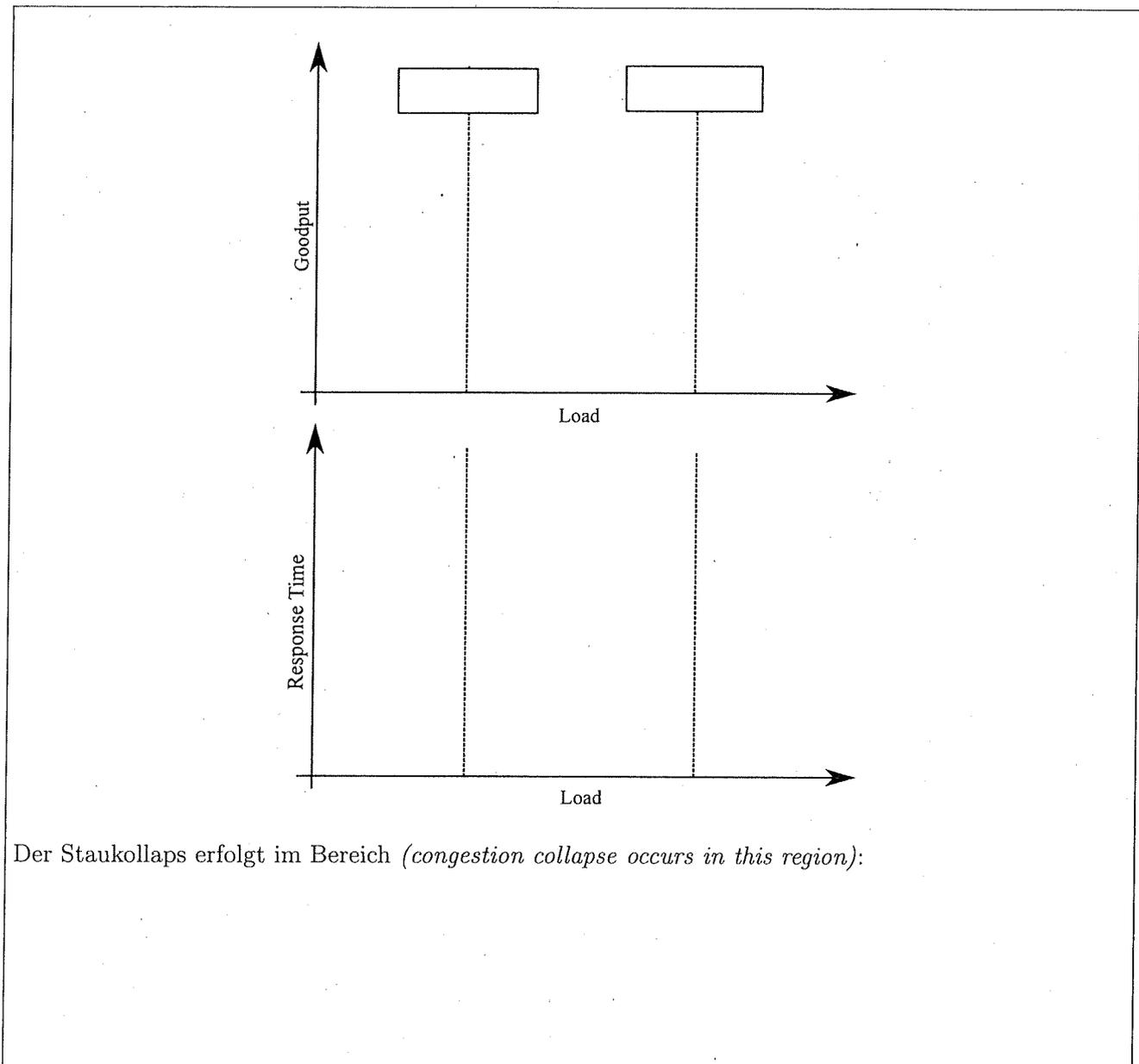
h) Nennen Sie zwei wesentliche Unterschiede zwischen TCP und QUIC und erläutern Sie diese.

Name two major differences between TCP and QUIC and explain them.

Aufgabe 2 Staukontrolle (*Congestion Control*) (11 Punkte)

a) Im Zusammenhang mit dem Staukollaps (*congestion collapse*) wurde ein bestimmtes Verhalten von TCP beobachtet. Skizzieren Sie den beobachteten Zusammenhang zwischen Last (*load*) und *Goodput*. Nutzen Sie hierfür die vorgegebenen (gestrichelten) Hilfslinien und beschriften Sie die leeren Kästen mit den entsprechenden Begriffen, die in der Vorlesung eingeführt wurden. Skizzieren Sie weiterhin den damit einher gehenden Verlauf der *Response Time*. Welcher Bereich der Graphen zeigt den Staukollaps?

In the context of congestion collapse a certain behavior of TCP was observed. Sketch the observed relationship between load and goodput. Use the given (dashed) lines and label the empty boxes with the corresponding terms introduced in the lecture. Further, sketch the corresponding behavior of response time. Which region of your plot shows congestion collapse?



In den folgenden Teilaufgaben soll eine TCP-Verbindung nach dem periodischen Modell analysiert werden.

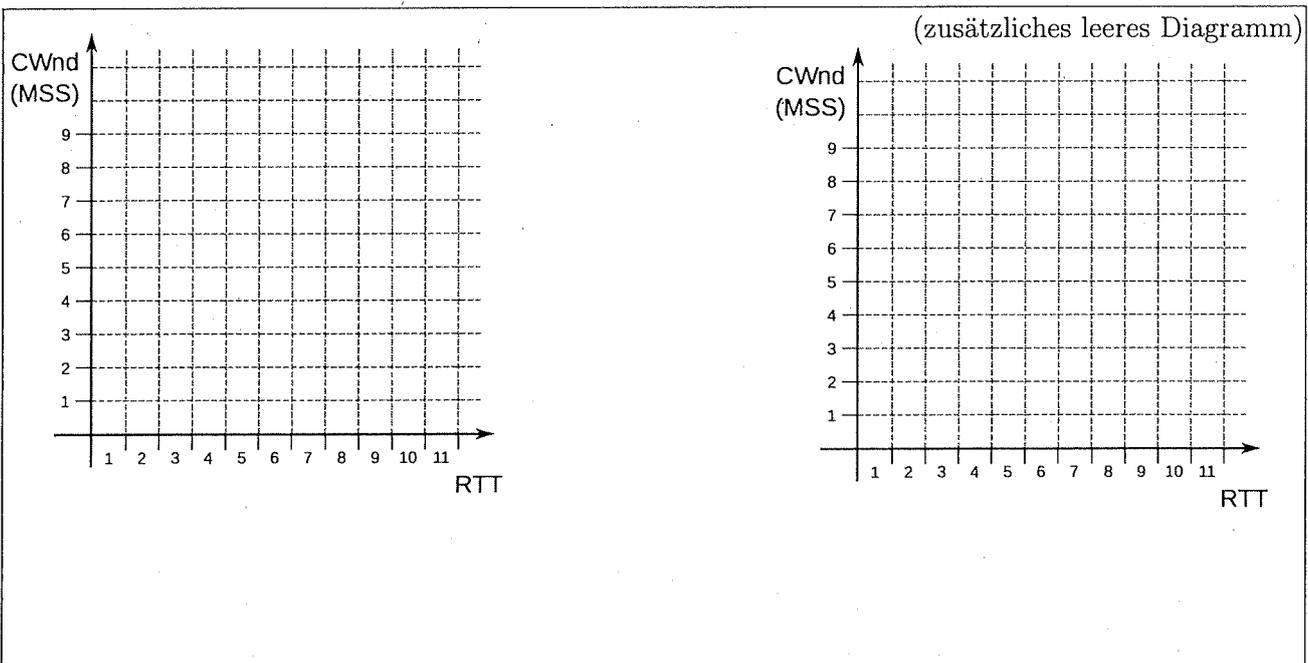
In the following subtasks a TCP connection is to be analyzed according to the periodic model.

b) Welche Annahme über Verluste wird im periodischen Modell getroffen?

Which assumption is made about the losses in the periodic model?

c) Der maximale Wert des Staukontrollfensters sei $W = 6$. Zeichnen Sie den kontinuierlichen Verlauf des Staukontrollfensters über die Anzahl der Runden (in RTT) entsprechend dem periodischen Modell (als Linie, nicht in Stufenform). Stellen Sie dabei zwei Durchläufe (*Cycles*) dar.

The maximal value of the congestion window is $W = 6$. Draw the continuous evolution of the congestion window over rounds (in RTT) in accordance to the periodic model (as lines, not as step shape). Show two complete cycles.



d) Leiten Sie den Zusammenhang zwischen der mittleren Datenrate D , der Umlaufzeit RTT und der Verlustwahrscheinlichkeit p her. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

Derive the relationship between the average data rate D , the round-trip time RTT , and the loss probability p . Proceed as follows:

1. Geben Sie die Formel für die Dauer eines Durchlaufs t in Abhängigkeit von W und RTT an.

Give a formula for the duration of a cycle t in dependency of W and RTT .

2. Berechnen Sie die Anzahl der Segmente pro Durchlauf N in Abhängigkeit von W . Erklären Sie zudem, wie diese Formel aus dem Graphen in Teilaufgabe c) hergeleitet werden kann.

Calculate the number of segments sent in one cycle N in dependency of W . Additionally, explain how to derive this formula based on your plot in subtask c).

3. Beschreiben Sie, wie die mittlere Datenrate D unter Verwendung von Werten aus Schritt 1. und 2. bestimmt werden kann.

Describe how to calculate the average data rate from values calculated in step 1. and 2.

4. Leiten Sie den Zusammenhang zwischen N und p sowie zwischen W und p her.

Derive the relationship between N and p as well as W and p .

5. Bestimmen Sie nun D in Abhängigkeit von RTT und p .

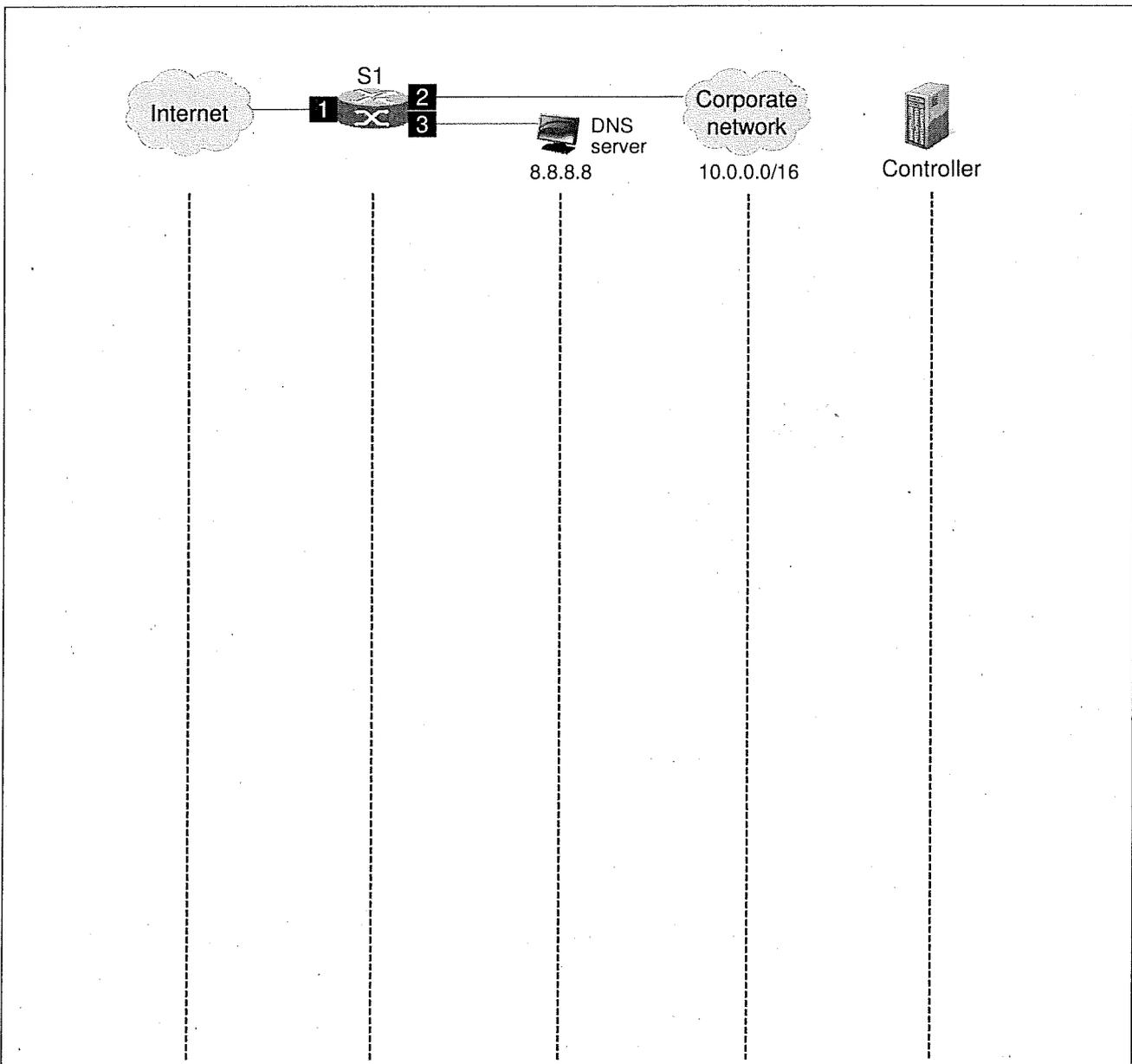
Derive now D as a function of RTT and p .

b)

Das Netz wird so betrieben wie in Teilaufgabe a) beschrieben. Es wurden noch keine Regeln durch die `onPacketIn`-Methode programmiert. Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm für die in der Tabelle angegebenen IP-Datagramme und markieren Sie die Pfeile mit der Nummer des jeweiligen Datagramms. Machen Sie außerdem kenntlich, wann eine neue Flow-Regel programmiert wird und wann IP-Adressen ersetzt werden.

Nr.	Eingangs-port	IP-Quell-adresse	IP-Ziel-adresse
1	1	129.13.0.10	75.1.4.9
2	2	10.0.0.1	129.13.0.1
3	2	10.0.0.1	8.8.8.8
4	3	8.8.8.8	10.0.0.1

The network is operated as outlined in subtask a). No flow rules have been programmed by the `onPacketIn` method yet. Draw the time-sequence diagram for the IP datagrams given in the table and label each arrow with the number of the corresponding datagram. Also denote when a new flow rule is programmed and when IP addresses are replaced.



Aufgabe 6 Datacenter (*Data Center*) (10 Punkte)

a) Für die Weiterleitung von Paketen innerhalb eines Datacenter-Netzes können unterschiedliche Adressen verwendet werden. Nennen Sie diesbezüglich einen Vor- und Nachteil von MAC-Adressen gegenüber IP-Adressen.

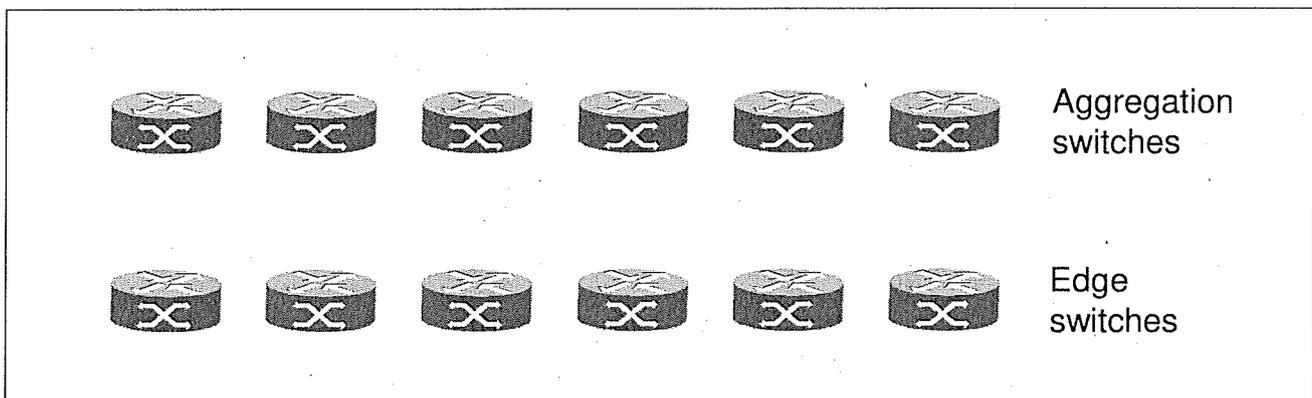
Different addresses can be used to forward packets within a data center network. In this regard, name an advantage and a disadvantage of using MAC addresses instead of IP addresses.

b) Erläutern Sie die Begriffe East-West-Traffic und North-South-Traffic.

Explain the terms east-west traffic and north-south traffic.

c) Skizzieren Sie die Verkabelung zwischen den dargestellten Edge- und Aggregation-Switches in einem k-Pod-Fat-Tree, in dem jeder Switch mit 6 Schnittstellen ausgestattet ist. Markieren Sie außerdem die unterschiedlichen Pods.

Draw the cable connections between the depicted edge and aggregation switches in a k Pod Fat Tree, which uses switches that have 6 interfaces each. Also mark the different pods.



d) Beantworten Sie die folgenden Fragen für einen k-Pod-Fat-Tree dessen Switches jeweils k Schnittstellen haben:

Answer the following questions with respect to a k Pod Fat Tree whose switches have k interfaces each:

1. Wie viele Pods hat der k-Pod-Fat-Tree?

How many pods does the k Pod Fat Tree have?

2. Wie viele Server-Racks können gleichzeitig an den k-Pod-Fat-Tree angeschlossen werden?

How many server racks can be simultaneously connected to the k Pod Fat Tree?

3. Wie viele Core-Switches hat der k-Pod-Fat-Tree?

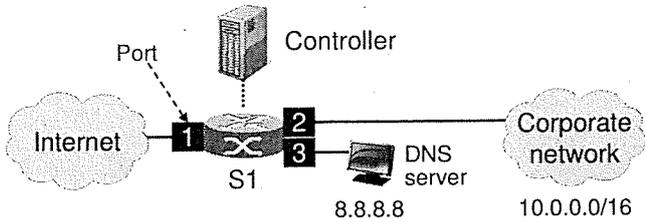
How many core switches does the k Pod Fat Tree have?

1. Wie viele Kabel werden für die Verkabelung des k-Pod-Fat-Trees (ohne Server-Racks) benötigt?

How many cables are required for the cabling of the k Pod Fat Tree (without server racks)?

Aufgabe 5 Software Defined Networking (10 Punkte)

Der Switch S1 ist mit dem Internet, einem DNS-Server mit IP-Adresse 8.8.8.8 und einem Firmennetz (*Corporate Network*) mit privaten IP-Adressen aus dem Bereich 10.0.0.0/16 wie unten dargestellt verbunden. S1 verfügt über genau eine Flowtable, in die der SDN-Controller benötigte Flow-Regeln programmiert.



Die privaten IP-Adressen werden im Internet nicht geroutet, daher sollen sie mit Hilfe von Flow-Regeln ersetzt werden, die durch die rechts dargestellte onPacketIn-Methode programmiert werden. Die dort importierte translateAddress-Methode bildet private IP-Adressen auf unterschiedliche öffentliche IP-Adressen ab.

```
import translateAddress

onPacketIn(packet, switch, inport) {
  r1, r2 = Rule()
  internal = packet.IP_SRC
  external = translateAddress(internal)

  r1.MATCH(INPORT, 2)
  r1.MATCH(IP_SRC, internal)
  r1.ACTION(SET_FIELD, IP_SRC, external)
  r1.ACTION(OUTPUT, 1)
  r1.PRIORITY(2)
  send_rule(r1, switch)

  r2.MATCH(INPORT, 1)
  r2.MATCH(IP_DST, external)
  r2.ACTION(SET_FIELD, IP_DST, internal)
  r2.ACTION(OUTPUT, 2)
  r2.PRIORITY(2)
  send_rule(r2, switch)

  send_packet(packet, switch)
}
```

Switch S1 is connected to the Internet, a DNS server with IP address 8.8.8.8 and a corporate network with IP addresses from the private address range 10.0.0.0/16 as depicted above. S1 has exactly one flow table, into which the SDN controller programs required flow rules.

The private IP addresses are not routed in the Internet. Consequently, the given onPacketIn method programs flow rules that replace the private addresses. For this, the imported translateAddress method maps private IP addresses to distinct public IP addresses.

a) Implementieren Sie eine zu der onPacketIn-Methode passende onConnect-Methode, welche die Flowtable von S1 initialisiert und folgendes gewährleistet:

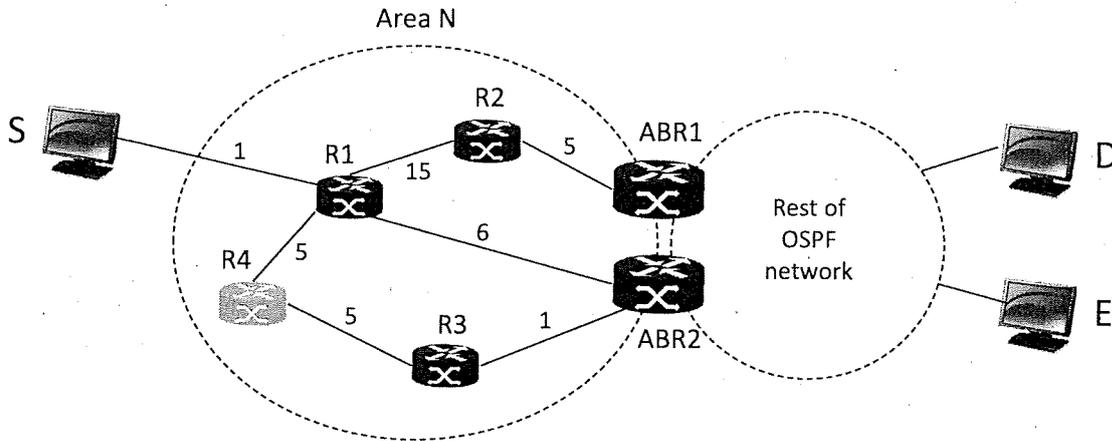
1. Auf Port 2 empfangene IP-Datagramme werden an den Controller weitergeleitet.
2. IP-Datagramme mit der IP-Zieladresse des DNS-Servers werden immer unmittelbar von S1 an den DNS-Server weitergeleitet.
3. IP-Datagramme mit der IP-Quelladresse des DNS-Servers werden immer unmittelbar von S1 an das Internet weitergeleitet.
4. Pakete werden verworfen, sofern sie von keiner anderen Flow-Regel behandelt werden.

Implement a corresponding onConnect method for the given onPacketIn method that initializes the flow table of S1 and ensures the following:

1. IP datagrams received on port 2 are forwarded to the controller.
2. S1 always forwards IP datagrams with the IP destination address of the DNS server to the DNS server immediately.
3. S1 always forwards IP datagrams with the IP source address of the DNS server to the Internet immediately.
4. Packets are dropped when they are not processed by any other flow rule.

d) Area N ist über die Area Border Router ABR1 und ABR2 mit dem Rest des OSPF-Netzes verbunden. Im Folgenden wird die Routingtabelle von Router R4 betrachtet. Vervollständigen Sie diese. Berücksichtigen Sie die dargestellten Summary LSAs, die Router R4 erhalten hat.

Area N is connected to the remaining part of the OSPF network via the area border routers ABR1 and ABR2. In the following, we consider the routing table of router R4. Complete this routing table. Take into account the presented summary LSAs, which router R4 has already received.



Summary LSA from ABR1	
Destination	Cost
D	10
E	15

Summary LSA from ABR2	
Destination	Cost
D	75
E	15

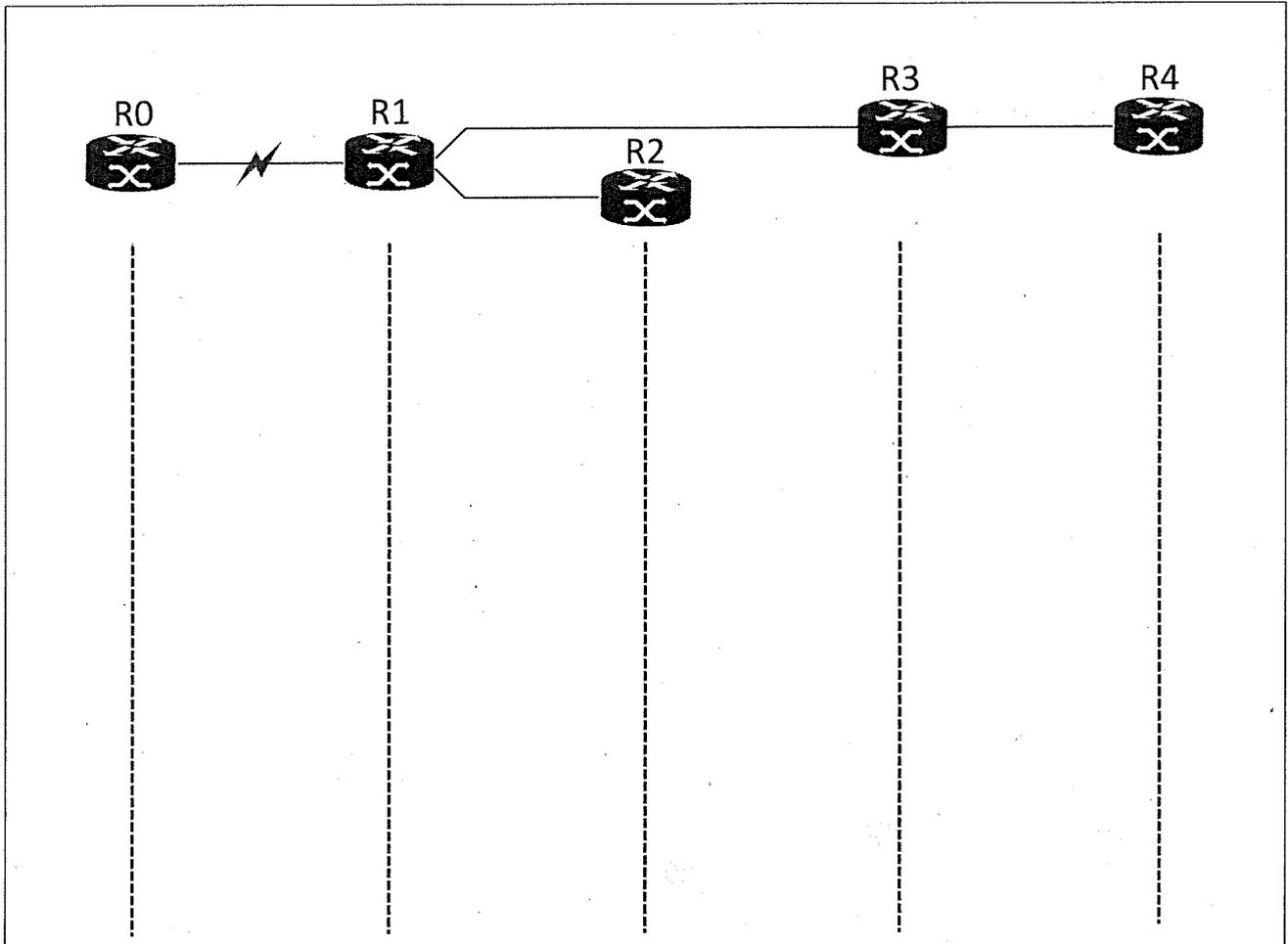
Hinweis: Nicht alle Zeilen der Tabelle sind unbedingt erforderlich.

Hint: Not all rows of the table may be necessary.

Destination	Next Hop	Cost
ABR1	R1	
ABR2		
D		

3. Router R1 hat den Ausfall des Links zu R0 erkannt und versendet das entsprechende Link State Advertisement (LSA). Zeichnen Sie die resultierende Kommunikation in das vorgegebene Weg-Zeit-Diagramm ein. Beschriften Sie die Namen der Nachrichten. Geben Sie bei den LSAs jeweils Werte für die Sequenznummer und das LS Age an. Falls diese nicht fest vorgegeben sind, wählen Sie sinnvolle Werte.

Router R1 has detected the failure of its link to router R0 and sends the corresponding link state advertisement (LSA). Draw the resulting communication into the provided time-sequence diagram. Annotate the arrows with the names of the messages. For LSAs provide values for the sequence number and LS age. If these are not predetermined, choose meaningful values.



e) Zeichnen Sie den Multibit Trie (fester Stride $k=2$), der sich für die angegebene Liste mit Präfixen ergibt. Beschriften Sie die Kanten des Tries und tragen Sie ein, in welchem Knoten welches Präfix (P1-P3) abgespeichert wird.

Draw the multibit trie (fixed stride $k=2$) that matches the given list of prefixes. Label the edges of the trie and mark which prefixes (P1-P3) are stored in which node.

Liste mit Präfixen (List of prefixes)

Name	Präfix (Prefix)
P1	101*
P2	0*
P3	11*

Aufgabe 4 OSPF (9 Punkte)

a) Handelt es sich bei OSPF um ein Inter- oder Intra-Domain-Protokoll?

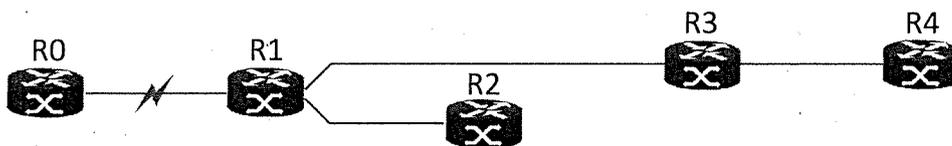
Is OSPF an inter- or intra-domain protocol?

b) Welche Information gehört bei OSPF zu einem Link State eines Router-Interfaces?

Which information belongs to the link state of a router interface regarding OSPF?

c) Im unten dargestellten Ausschnitt eines Netzes fällt der Link zwischen Router R0 und R1 aus.

In the excerpt of a network depicted below the link between router R0 and R1 fails.



1. Wie wird dieser Ausfall von Router R1 erkannt?

How will router R1 detect this failure?

2. Muss Router R2 über diesen Ausfall informiert werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

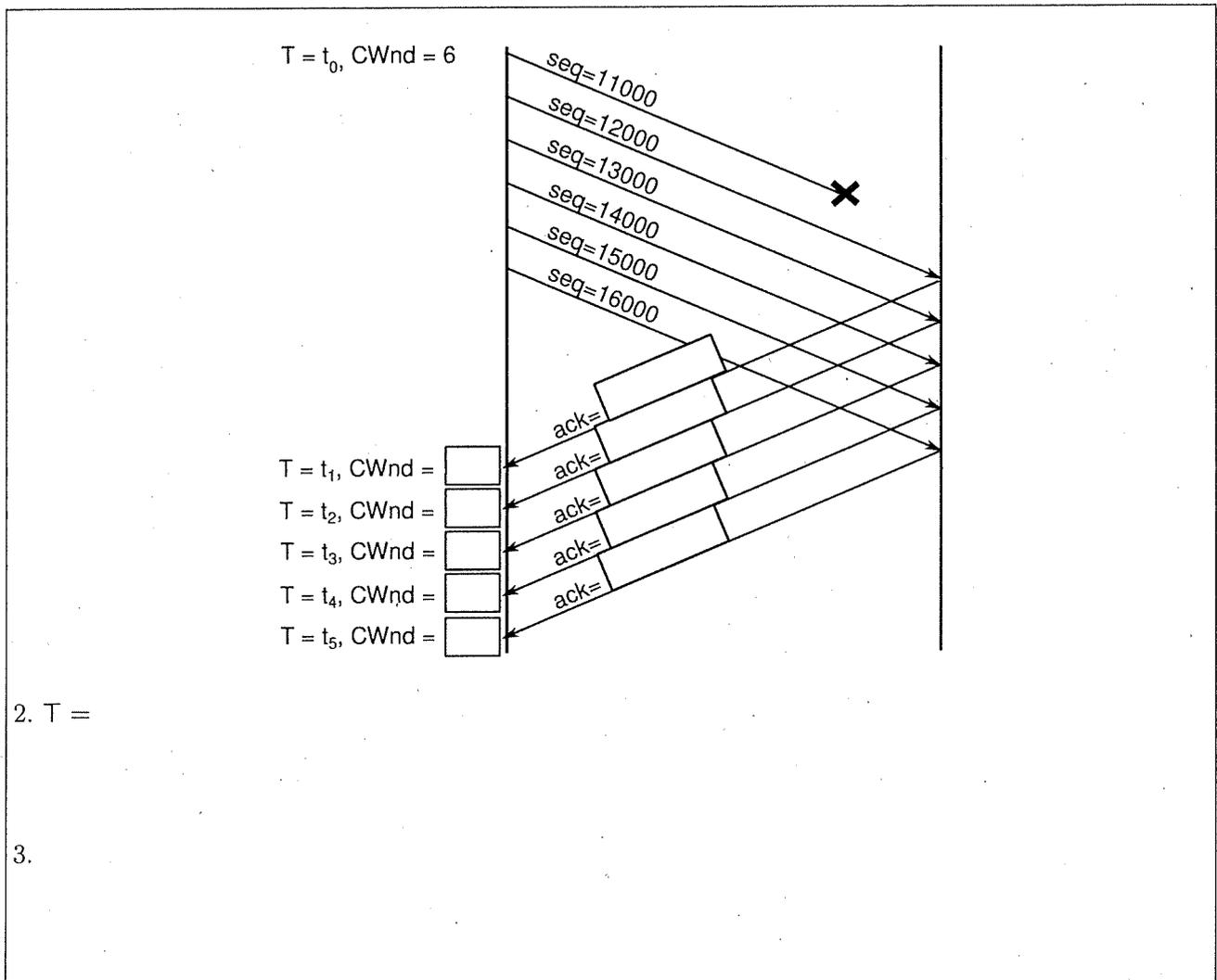
Does router R2 need to be informed about this failure? Explain your answer.

e) Gegeben sei folgendes Weg-Zeit-Diagramm einer TCP-Verbindung. Der Sender verwendet TCP-Reno mit *Fast Retransmit* und *Fast Recovery*. Zum Zeitpunkt t_0 betrage das Staukontrollfenster $CW_{nd} = 6 MSS$. Der Sender nutzt das komplette Fenster. Das erste Segment dieses Fensters geht verloren.

1. Vervollständigen Sie die Quittungsnummern (ACKs) im Diagramm.
2. Zu welchem Zeitpunkt t_i löst der Sender *Fast Retransmit* aus? Begründen Sie ihre Antwort.
3. Welchen Wert nimmt das Staukontrollfenster unmittelbar nach dem Start von *Fast Recovery* an? Geben Sie den Wert und Rechenweg an.
4. Vervollständigen Sie die Werte des Staukontrollfensters zu den Zeitpunkten $t_1 - t_5$ nach der Bearbeitung der jeweils empfangenen Quittung.

Consider the following time-sequence diagram of a TCP connection. The sender employs TCP Reno including fast retransmit and fast recovery. At time t_0 the congestion window is $CW_{nd} = 6 MSS$. The sender makes use of the full window size. The first segment from this window gets lost.

1. Fill out the ACK fields in the diagram.
2. At what time t_i will the sender trigger fast retransmit? Explain your answer.
3. What is the value of the congestion window immediately after entering fast recovery? Give the formula as well as the value.
4. Fill out the values of the congestion window at each distinct time $t_1 - t_5$ after processing the corresponding acknowledgement.



Aufgabe 3 Routing-Architektur (*Routing Architecture*) (10 Punkte)

a) Ein IP-Router besteht aus den drei unten angegebenen Basiskomponenten. Erläutern Sie die Aufgaben dieser drei Komponenten.

An IP router consists of the three basic components listed below. Explain the tasks of these three components.

b) In der Vorlesung wurde Input-Buffering und Output-Buffering besprochen. Erklären Sie die Funktionsweise beider Methoden jeweils mit einer aussagekräftigen Skizze und beschriften Sie diese. Bei welcher Methode kann Head-of-Line Blocking auftreten?

In the lecture, input buffering and output buffering were discussed. Explain the operation of both methods with a meaningful sketch. Label the sketches. Which method can cause head-of-line blocking?

c) Erklären Sie Head-of-Line Blocking, indem Sie ein Szenario skizzieren, in dem das Problem auftritt. Verwenden Sie für dieses Szenario 6 Pakete und geben Sie zu jedem Paket explizit an, an welchem Input Port es ankommt und zu welchem Output Port es weitergeleitet werden soll. Hinweis: Eine ausführliche Erklärung in Textform ist verlangt. Ergänzende Abbildungen sind erlaubt.

Explain head-of-line blocking by sketching a scenario where the problem occurs. For this scenario, use 6 packets and explicitly state for each packet which input port it arrives at and to which output port it should be forwarded to. Note: A detailed explanation in writing is required. Supporting figures are allowed.

d) In der Vorlesung wurde das Prefix Expansion Verfahren vorgestellt. Warum wird es benötigt? Wenden Sie das Verfahren nun auf ein geeignetes Beispiel-Präfix aus der unten stehenden Liste an. Nehmen Sie dafür an, dass diese Präfixe in einen Multibit Trie mit festem Stride von $k=2$ eingetragen werden sollen.

In the lecture the prefix expansion procedure was presented. Why is this procedure required? Now apply the procedure to a suitable example prefix from the list below. Assume that the prefixes should be inserted into a multibit trie with a fixed stride $k=2$.

Liste mit Präfixen (*List of prefixes*)

Name	Präfix (<i>Prefix</i>)
P1	101*
P2	0*
P3	11*

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

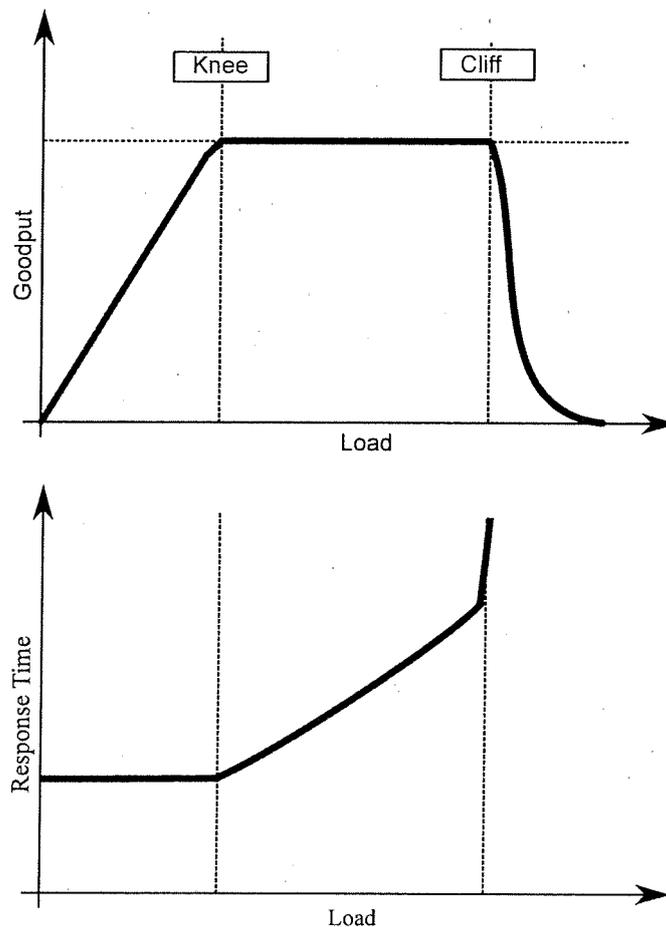
- a) Für die Kollisionserkennung
- b) Kollisionen können bei Ethernet nur bei Verwendung eines gemeinsam genutzten Übertragungsmediums auftreten. Diese werden mit Hilfe von CSMA/CD durch gleichzeitiges Senden und Abhören des Mediums erkannt, weshalb kein zusätzlicher Kanal zur Kollisionserkennung erforderlich ist.
- c) Next hop sendet für eine bestimmte Zeitspanne keine Rahmen mehr, wenn er einen PAUSE Rahmen empfängt
- d) Vorteile:
- Schneller Lookup (statisch in einem Taktzyklus, unabhängig von der Anzahl der Einträge)
 - Unterstützt ternäre Matches (don't care bits)
- Nachteile:
- Hoher Energiebedarf
 - Hohe Anzahl an Transistoren (*cost*) im Vergleich zur Speicherkapazität (*density*)
 - Für *Longest Prefix Matching* müssen die Einträge eines TCAMs strikt geordnet sein, deshalb kann das Einfügen neuer Einträge eine Umordnung der bestehenden erfordern.
- e)
- Präfix
 - Next Hop
 - AS-Path
- f)
- Mehrere Adressbereiche können zu einem einzigen Präfix zusammengefasst werden, um Routing-Nachrichten einzusparen (verbessert die Skalierbarkeit)
 - Beispiel: AS1 empfängt UPDATES mit mehreren Präfixen (204.71.0.0/17, 204.71.128.0/17). Es fasst diese in einem einzigen Präfix zusammen (204.71.0.0/16) und leitet nur ein einzelnes UPDATE an AS2 weiter.
- g)
- Macro-flow hat höheres Abstraktionslevel als Micro-flow
 - Micro-flow betrachtet einen einzelnen Datenstrom, Macro-Flow betrachtet ein Aggregat aus mehreren Datenströmen

h) Folgende Antworten sind möglich:

- Multiplexing: QUIC erlaubt Multiplexing ohne Head-of-Line Blocking, TCP nicht
- Verbindungs-Migrationen: QUIC erlaubt das Migrieren von Verbindungen, TCP nicht
- Multipath: QUIC erlaubt das Nutzen mehrerer Pfade, TCP nicht
- Sicherheit: QUIC bietet verbesserte Sicherheit (TLS 1.3 by default)
- Acks: QUIC hat keine kumulativen ACKs
- Verbindungen: werden bei QUIC nicht wie bei TCP nur über das 5-Tupel identifiziert
- Sequenznummern: Bei QUIC werden Pakete nummeriert, nicht die Daten wie bei TCP
- Sendewiederholungen: Daten einer Sendewiederholung werden bei QUIC als neues Paket versendet (keine "echten" Sendewiederholungen)
- Staukontrollfenster: QUIC zählt in bytes, TCP in MSS

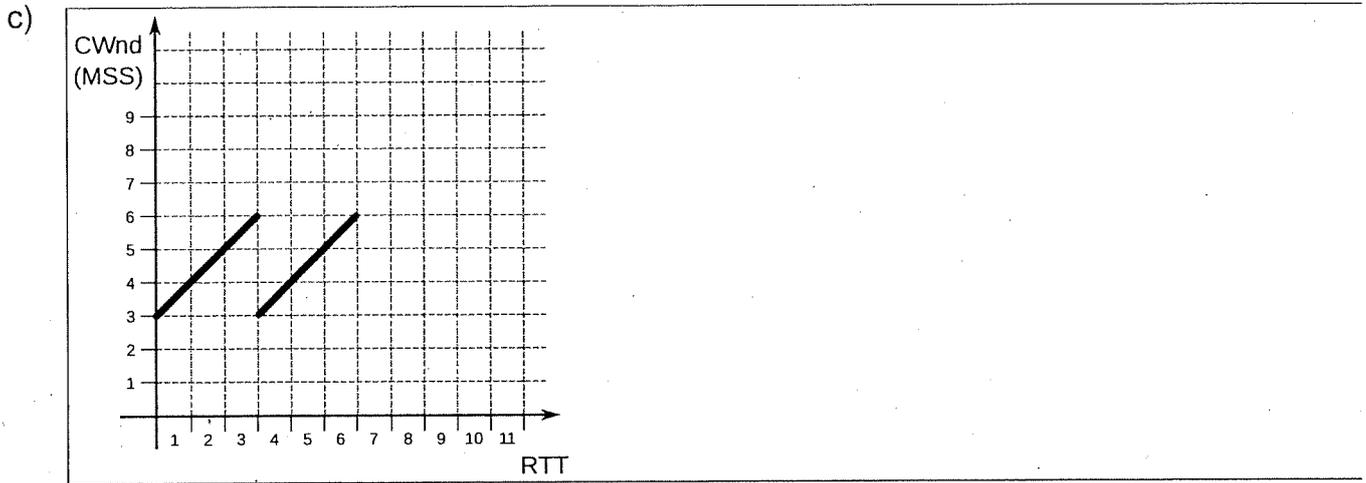
Aufgabe 2 Staukontrolle (*Congestion Control*) (11 Punkte)

a)



Der Staukollaps erfolgt im Bereich nach der Klippe.

b) Paketverluste erfolgen periodisch in gleichen Abständen.



d)

1) Die Dauer eines Durchlaufs t beträgt $W/2 \cdot RTT$.

2) Die Anzahl der Segmente entspricht der Fläche unter der Kurve in der Abbildung aus Teilaufgabe d).

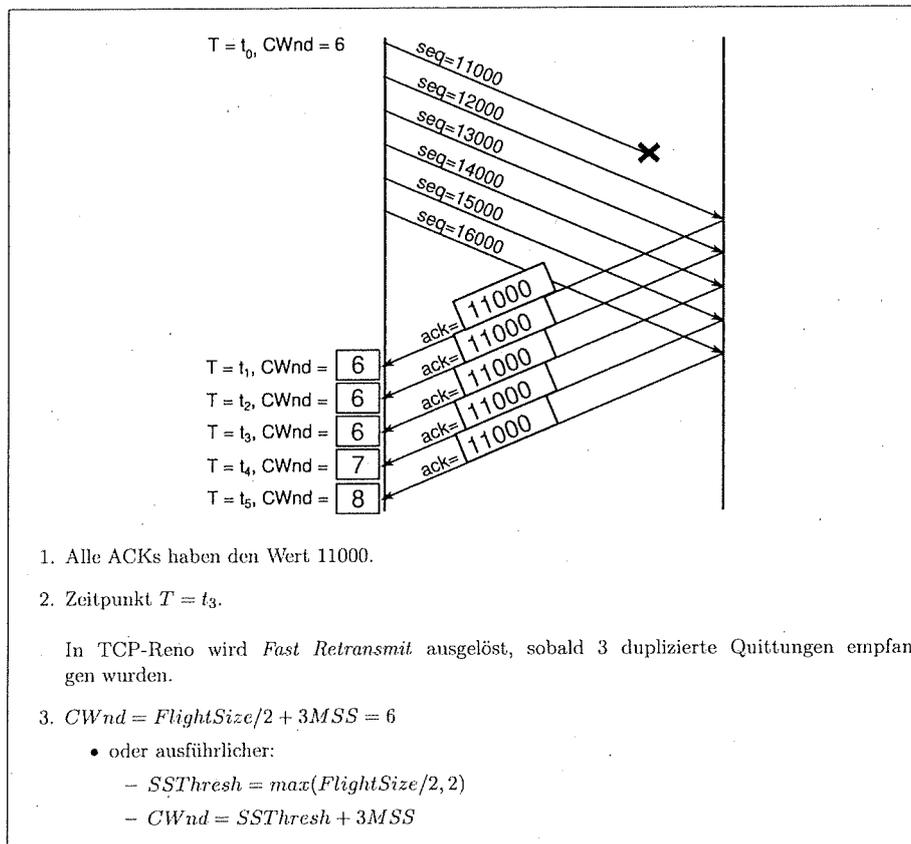
$$N = \left(\frac{W}{2}\right)^2 + 0.5\left(\frac{W}{2}\right)^2 = \frac{3}{8}W^2.$$

3) $D = \left[\frac{\text{Datenmenge pro Durchlauf}}{\text{Dauer eines Durchlaufs}} \right] = \frac{N}{t}$

4) $N = \frac{1}{p}$ und $W = \sqrt{\frac{8}{3p}}$ (oder $p = \frac{8}{3W^2}$)

5) $D = \frac{N}{t} = \frac{N}{W/2 \cdot RTT} = \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{8}{3p}} \cdot RTT} = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{1}{RTT \sqrt{p}}$

e)



Aufgabe 3 Routing-Architektur (*Routing Architecture*) (10 Punkte)

- a)
- **Network Interfaces:** Zugriff auf eines der angeschlossenen Netze; Umfasst Funktionen von Schicht 1+2 sowie „minimal“ zur Weiterleitung erforderliche IP-Funktionen (einschließlich Forwarding Table Lookup)
 - **Routing processor:** Routingprotokoll, Management Funktionalität
 - **Switch fabric:** realisiert die Switch-interne Weiterleitung von Paketen vom Eingangsport zum Ausgangsport

b) Input-Buffering und Output-Buffering :

Input-Buffering

Output-Buffering

Head-of-line Blocking kann auftreten bei: Input-Buffering

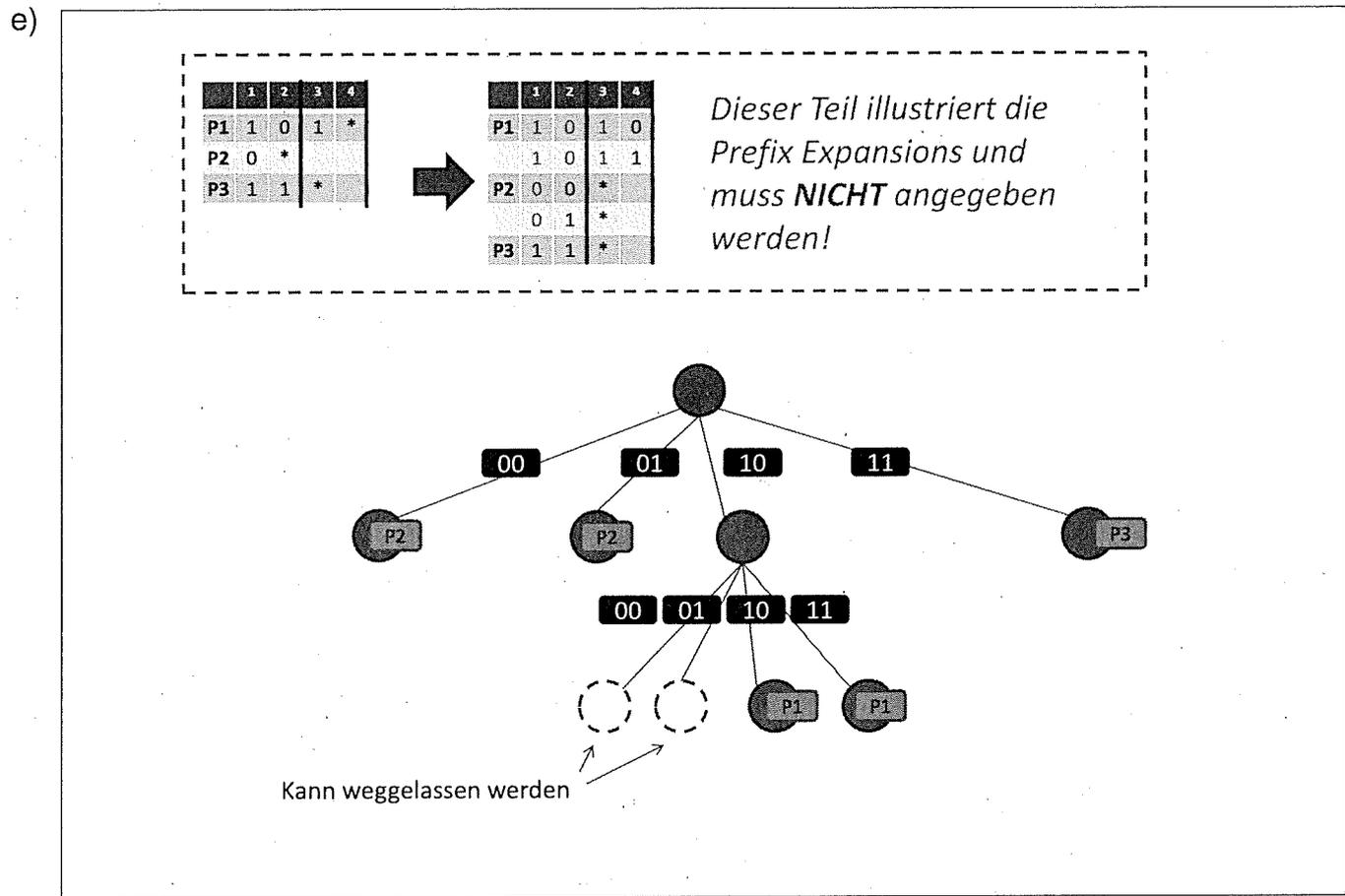
c) Beispiel 1:

- Szenariobeschreibung
 - Router mit zwei Eingangspuffern E1, E2 und zwei Ausgängen A1, A2 (ohne Puffer)
 - Die Pakete P1, P2 und P3 befinden sich in Puffer E1, die Pakete P4, P5, P6 in E2
 - P1 und P4 sollen als nächstes verarbeitet werden (“sind vorne im Puffer”)
- Zuordnung : P1, P4, P5, P6 → A1 und P2, P3 → A2
- E2 wird zuerst abgearbeitet; dann sind P2 und P3 von HoL betroffen

Beispiel 2:

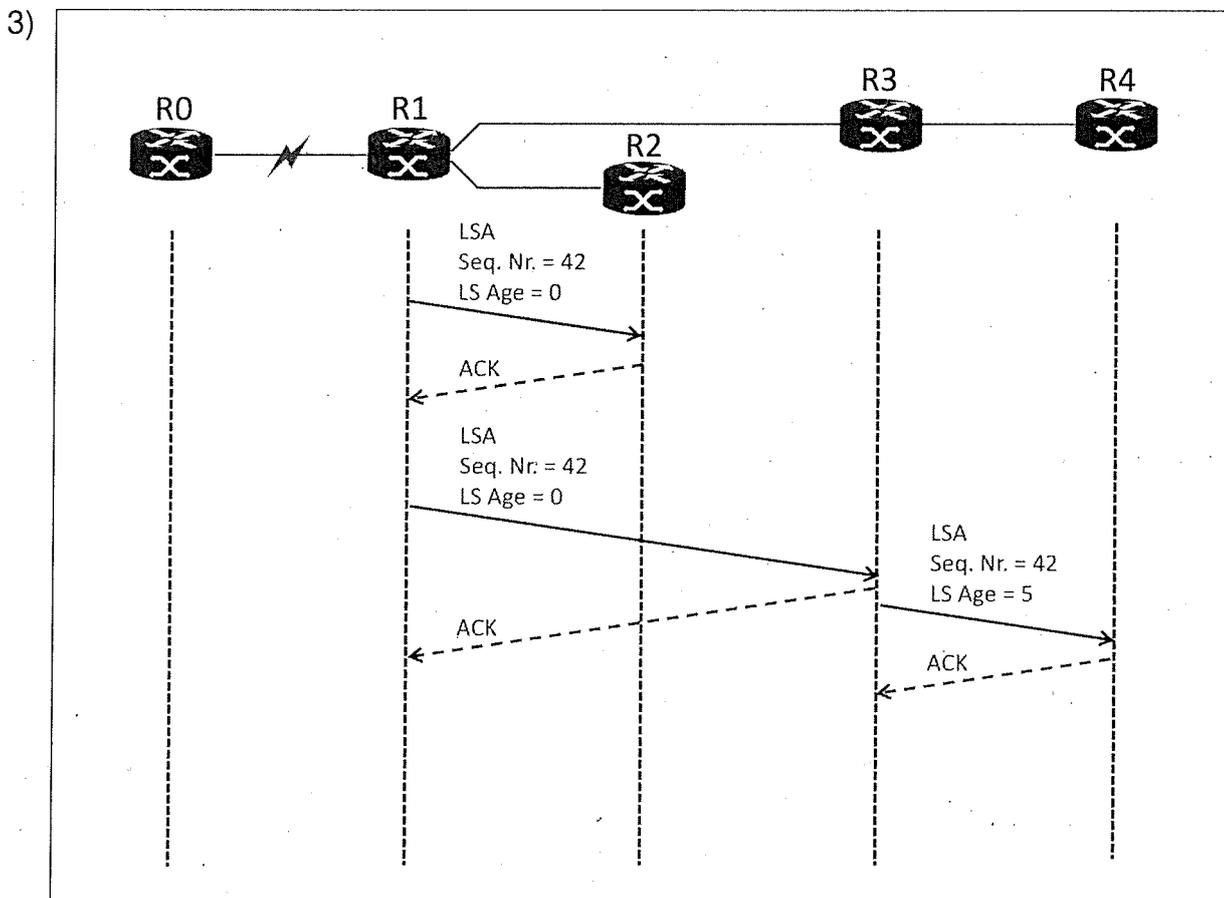
- Weiterleitung : P1, P4, P5, P6 → A1 und P2, P3 → A2
- E2 wird zuerst abgearbeitet; dann sind P2 und P3 von HoL betroffen

- d)
- Wird benötigt weil: im Multibit Trie werden die Bits abhängig vom stride "am Stück" abgefragt. Präfixe können aber eine beliebige Länge haben. Deshalb ist die Expansion nötig.
 - Beispiel:
 - P1 -> Aufspaltung in 1010* und 1011*
 - P2 -> Aufspaltung in 00* und 01*



Aufgabe 4 OSPF (9 Punkte)

- a) Ein Intra-Domain Protokoll.
- b) IP-Adresse des Interfaces
Kosten des Interfaces
Typ (Point-to-Point, Broadcast)
- c) 1) Router R1 erhält keine Hello-Nachrichten mehr von Router R0 über diesen Link. (Dies wird durch den Ablauf des entsprechenden Timers erkannt.)
2) Ja, Router R2 muss darüber informiert werden, denn er muss die komplette Topologie eines Netzes kennen.



d)

Destination	Next Hop	Cost
ABR1	R1	25
ABR2	R3	6
D	R1	35
E	R3	21
S	R1	6

Aufgabe 5 Software Defined Networking (10 Punkte)

```

a) onConnect(switch) {
    r1, r2, r3, r4 = Rule()

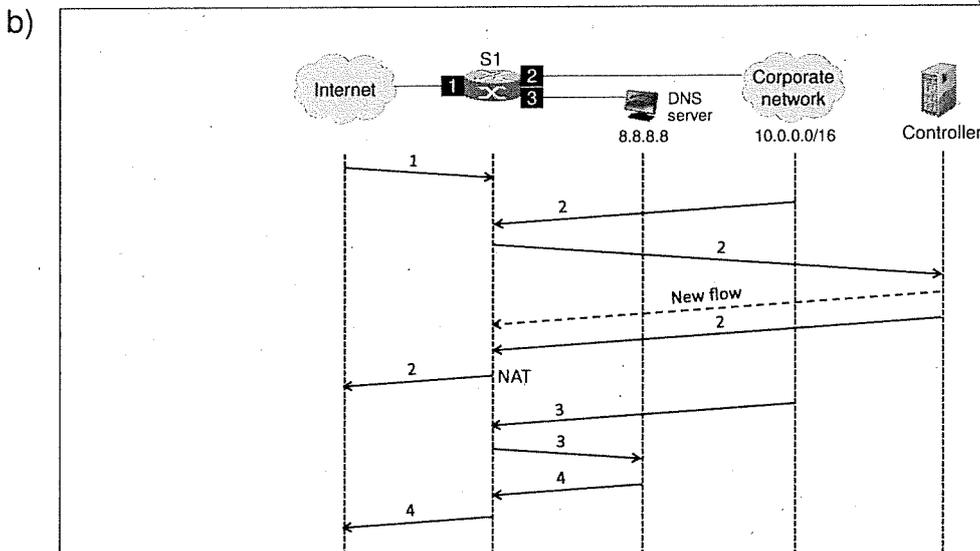
    r1.MATCH(IP_DST, 8.8.8.8)
    r1.ACTION(OUTPUT, 3)
    r1.PRIORITY(3)
    send_rule(r1, switch)

    r2.MATCH(IP_SRC, 8.8.8.8)
    r2.ACTION(OUTPUT, 1)
    r2.PRIORITY(3)
    send_rule(r2, switch)

    r3.MATCH(INPORT, 2)
    r3.ACTION(CONTROLLER)
    r3.PRIORITY(1) // optional
    send_rule(r3, switch)

    r4.MATCH(*)
    r4.ACTION(DROP)
    r4.PRIORITY(0)
    send_rule(r4, switch)
}

```



Weiterleitungen:

- IP-Datagramm 1: *Internet* → *S1* gemäß Regel 4. Das IP-Datagramm wird verworfen.
- IP-Datagramm 2: *Corporate Network* → *S1* → *Controller* gemäß Regel 2.
- IP-Datagramm 2: *Controller* → *S1* gemäß `send_packet`-Methode.
- IP-Datagramm 2: *S1* → *Internet* gemäß neu programmierter Flow-Regeln. Hier findet eine Ersetzung der IP-Adressen statt.
- IP-Datagramm 3: *Corporate Network* → *S1* → *DNS-Server* gemäß Regel 2. Hierbei werden keine IP-Adressen ersetzt, da Regel 2 höhere Priorität als die von der `onPacketIn`-Methode programmierten Flow-Regeln besitzt.
- IP-Datagramm 4: *DNS-Server* → *S1* → *Internet* gemäß Regel 3.

Aufgabe 6 Datacenter (*Data Center*) (10 Punkte)

a) Mögliche Vorteile der Verwendung von MAC-Adressen:

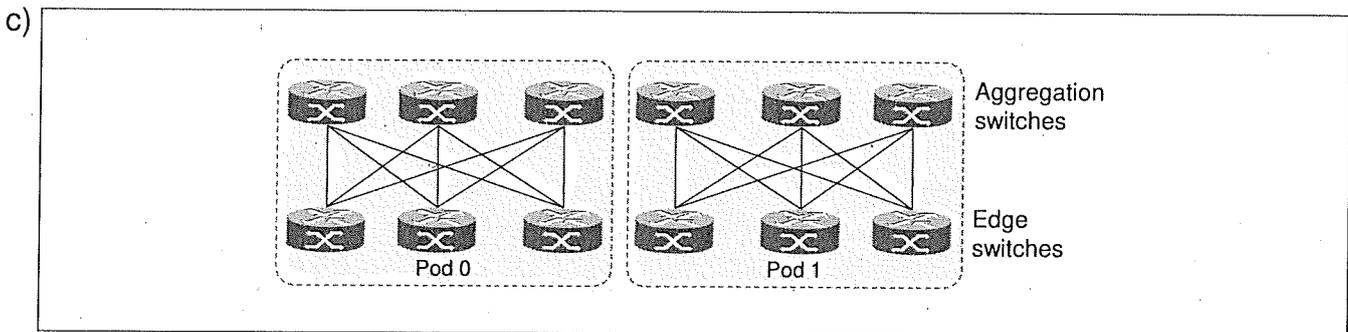
- Plug and Play
- Nahtlose VM-Migration / Keine Notwendigkeit zur Änderung von Adressen bei Topologieänderungen

Mögliche Nachteile der Verwendung von MAC-Adressen:

- Schlechte Skalierbarkeit
- Hohe Zustandshaltung in Switches

b) East-West-Traffic: Verkehr zwischen internen Servern und Server-Racks eines Datacenters

North-South-Traffic: Verkehr zwischen externen Endsystemen und internen Servern eines Datacenters



d)

- 1) k
- 2) $k^3/4$
- 3) $k^2/4$
- 4) $k^3/2$

e) Die Erläuterung muss folgendes enthalten:

1. Mehrere Server senden (kurze) Flows an ein Endsystem (*Many-To-One*).
2. Die Flows treffen gleichzeitig an einem Switch ein.
3. Infolge dessen kann ein Pufferüberlauf im Switch verursacht werden.

Den Engpass bildet hierbei der Puffer derjenigen Schnittstelle eines Switches, über den das Endsystem erreichbar ist.

f) Bedeutung von M : Anteil an Bytes, die eine Stausituation erfahren haben während eines Beobachtungsfensters (*Observation Window*).